

Mémoire

Présenté par

Morgane Blanchard

Master Sciences et Technologies du Vivant
Mention SAGEP
Spécialité de recherche Agronomie

**CONTRIBUTION À L'ÉVALUATION DES SYSTÈMES DE CULTURE
PLURISPÉCIFIQUES EN MILIEU TROPICAL
CAS DES AGROFORÊTS À BASE DE CACAOYERS AU CAMEROUN**

Pour l'obtention du diplôme de Master Sciences et Technologies du Vivant

Enseignant responsable du stage : Safia MEDIENNE

Maître de stage : Patrick JAGORET

Co-encadrant : Eric Malézieux

Soutenu le 30 juin 2008

1
CIRAD-DIST
Unité bibliothèque
Lavalette



000103655

REMERCIEMENTS

Tout d'abord je tiens à remercier Patrick Jagoret et Eric Malézieux qui m'ont offert la possibilité de réaliser ce stage. Merci à Patrick Jagoret, agronome du CIRAD et maître de ce stage pour la qualité de son encadrement, ses conseils, sa bienveillance et les efforts consentis pour faciliter mes séjours en brousse ! Je tiens à remercier Eric Malézieux, co-encadrant stage pour ses précieux conseils et remarques lors de la rédaction du mémoire. Merci également à Safia Medienne, enseignante-chercheur à l'AgroParisTech pour son encadrement et pour avoir veillé au bon déroulement de ce stage. Merci pour leurs disponibilités.

Mes remerciements vont aussi à l'encontre de Todem Ngnogue Hervé, de Messie Anicet Charly et de Mbouambi Emmanuel, membres de l'équipe Plantes Stimulantes de l'IRAD, merci pour l'accueil chaleureux qu'ils m'ont réservé au sein de l'équipe, travailler avec eux a été un réel plaisir ! Merci pour leur patience et parfois leur soutien. Merci aussi à Félix et Essomo, chauffeurs de l'IRAD pour la bonne humeur qui règne dans leurs véhicules.

Merci à l'ensemble des planteurs avec lesquels j'ai eu l'occasion de travailler, merci pour leur disponibilité et l'intérêt qu'ils portent à nos travaux. Je pense spécialement à Onana Athanaz, à Tsanga Fabien, à Nkodo Mathias, à Essomba Cosmas et à Bidias Jean-Paul ; je tiens à les remercier sincèrement pour m'avoir guidé dans les parcelles de leurs villages respectifs et pour les connaissances qu'ils m'ont apporté, tant sur les cacaoyers que sur leurs cultures.

Merci à tous mes colocataires et voisins de la résidence IRD pour la bonne ambiance grâce à laquelle ce séjour à Yaoundé a été si agréable. Merci à Bijou, à West, à Opongo ; merci à Valentin, à Yolande et à Dim. La liste ne peut être exhaustive. Merci à tous pour ce qu'ils m'ont appris de leur pays et pour les joyeux moments passés ensemble. Merci à Julien qui a bien souvent su me motiver durant ces dernières années de formation.

Enfin, un grand merci à ma famille et particulièrement à mes parents pour m'avoir soutenue et encouragée tout au long des mes études.

SOMMAIRE

Liste des acronymes et principales abréviations.....	5
Introduction.....	6
Matériel et Méthode.....	7
I. Matériel.....	7
1. Caractérisation des régions d'étude.....	7
2. Les données.....	7
i. Variables descriptives de l'état du peuplement cacaoyer et de ses individus.....	7
ii. Itinéraires techniques.....	8
iii. États du milieu.....	8
iv. États des espèces associées.....	9
v. Estimation des productions potentielles.....	9
II. Méthode.....	9
1. Comment évaluer la productivité de ces systèmes ?.....	9
i. Le diagnostic agronomique régional (DAR).....	9
ii. Limites de l'applicabilité aux systèmes agroforestiers.....	9
iii. Démarche appliquée.....	10
2. Échelle de la parcelle.....	10
i. Analyse descriptive du peuplement.....	10
ii. Évaluation à dire d'acteur.....	10
3. Diagnostic du rendement des cacaoyers.....	12
i. Échelle de la population : la composante cacaoyère.....	12
ii. Les facteurs de rendement à l'échelle individuelle.....	12
4. Analyses statistiques.....	12
i. Les tests sur les moyennes.....	12
ii. Les analyses multivariées.....	12
Résultats.....	14
I. Analyse descriptive.....	14
1. Évolution des caractéristiques des cacaoyers suivant les chronoséquences.....	14
i. Description générale du peuplement.....	14
ii. Caractéristique des peuplements de cacaoyer.....	15
2. Mise en évidence de la diversité intra-parcellaire.....	17
II. Échelle de la parcelle : analyse des productivités globales.....	17
1. Hiérarchisation des usages.....	17
i. Les profils fonctionnels.....	17
ii. Participation du cacao aux revenus issus des parcelles.....	18
2. Hiérarchisation des espèces et diversité intra-parcellaire.....	18
III. Diagnostic du rendement des cacaoyers.....	19
1. À l'échelle de la population.....	19
i. Les déterminants du rendement cacaoyer.....	19
ii. L'effet des espèces associées.....	19
iii. Zoom sur les densités de plantation.....	20
iv. Modélisation de ces interactions.....	20
2. À l'échelle individuelle.....	20
i. Étude des relations entre variables bio-morphologiques et rendement potentiel.....	20
ii. Influence des états du milieu.....	21

iii. Identification des décisions techniques responsables des états du peuplement limitant le rendement cacaoyer	21
Discussion	23
I. Les structures des peuplements	23
II. Schéma conceptuel de l'élaboration du rendement cacaoyer	23
1. Les composantes du rendement à l'échelle de la parcelle	23
2. Les facteurs influençant la production par arbre	23
III. Regard sur l'évaluation	24
1. Tentative de validation de la MDC	24
2. Proposition de protocoles pour l'évaluation des performances des systèmes de culture	24
Conclusion	26
Références bibliographiques	27
Liste des figures et tableaux	30
Liste des annexes	32
Annexes	55
Résumé	74
Summary	74

LISTE DES ACRONYMES ET PRINCIPALES ABRÉVIATIONS

ACM	Analyse des Correspondances Multiples
ACP	Analyse en Composante Principale
ANOVA	ANalyse Of VAriance
CIRAD	Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
DAR	Diagnostic Agronomique Régional
IRAD	Institut de Recherche Agricole pour le Développement
IF _j	Importance de la Fonction j
ISG _i	Importance Spécifique Globale pour une espèce i
MDC	Méthode de Distribution des Cailloux
MO	Matière Organique
SAFC	Système Agro-Forestier à base de Cacaoyers
VR	Valeur moyenne accordée à une espèce à l'échelle de la Région

INTRODUCTION

Le travail de ce stage s'inscrit dans le cadre du projet de renforcement des partenariats dans la recherche agronomique au Cameroun (FSP REPARAC) débuté en juillet 2006 et financé par le Ministère des Affaires étrangères français.

Le cacaoyer (*Theobroma cacao*) est la troisième culture pérenne d'exportation dans les zones forestières humides (Donald 2004). Au Cameroun en particulier il s'agit d'une ressource agricole essentielle pour 400 000 agriculteurs qui pratiquent la cacaoculture sur des exploitations familiales de petites tailles (de 3,5 à 6,8 hectares sur nos zones d'étude, Jagoret et Nyassé 2003). La perte des parts du Cameroun sur le marché international force à remettre en question les systèmes de cacaoculture tels qu'ils étaient conçus jusqu'à présent. Dans ce contexte l'identification des systèmes de cacaoculture compétitifs et durables est essentielle pour la relance de la filière cacaoyère camerounaise et la diminution des risques encourus par ses acteurs. Dans le Centre Cameroun, la cacaoculture est pratiquée sur des systèmes agroforestiers à base de cacaoyers (SAFC). Ce type de cacaoculture correspond à un système « traditionnel » : le plus souvent la forêt est défrichée, les cultures vivrières (manioc, ignames, bananier ...) sont mises en place puis les fèves de cacao sont semées dans ce mélange, elles sont parfois semées directement sous un couvert forestier légèrement éclairci ou encore sur des savanes par reproduction d'un modèle agroforestier. Ainsi à terme les cacaoyers sont protégés par une strate d'ombrage composée d'espèces conservées lors de défrichage ou insérées, celles-ci pouvant être indigènes ou exotiques. Les SAFC sont des systèmes dits complexes car (i) ce sont des **associations temporelles** avec la présence simultanée d'espèces annuelles et pérennes (ii) ce sont aussi des associations **spatiales** avec des structures complexes autant sur le plan horizontal (répartition et densités de plantation très variables) que sur le plan vertical avec la présence de 3 strates principales (Jagoret *et al.* 2006) et d'épiphytes, (iii) la **diversité spécifique** peut être très importante avec jusqu'à 23 espèces ligneuses dans 1000m². (iv) Ces systèmes fournissent des **productions variées** mais aussi des avantages non-productifs (fourniture de bois de chauffe, maintien de la fertilité du sol, formation d'ombrage, etc.) (v) enfin les différentes espèces fonctionnent sur des **pas de temps différents**. Nous verrons que ces caractéristiques limitent l'application des méthodes d'évaluation des systèmes de cultures classiques, établies pour des agrosystèmes monospécifiques et équiennes des milieux tempérés, tel le diagnostic agronomique régional (DAR, Doré *et al.* 1997 et 2004).

Dans ce cadre **l'objectif de ce stage est de mettre en place une méthode d'évaluation des performances des SAFC** en nous appuyant sur un réseau de 60 cacaoyères du Centre-Cameroun réparties dans trois zones aux conditions pédoclimatiques distinctes. **Pour atteindre cet objectif nous porterons un regard sur leur productivité globale puis plus particulièrement sur le rendement cacaoyer. Nous aborderons trois niveaux d'analyse : la parcelle, la composante cacaoyère et enfin des groupes homogènes d'individus.**

L'évaluation se définit comme la mesure du degré d'atteinte d'un objectif ou d'un ensemble d'objectifs (Doré *et al.* 2007), dans ce cadre nous identifierons et quantifierons les objectifs des planteurs à l'échelle de la parcelle. Pour cela nous avons adapté une méthode d'évaluation de *l'importance relative* à dire d'acteurs (Méthode de Distribution des Cailloux, Sheil *et al.* 2004) qui se base sur le fait que les populations locales sont les mieux placées pour savoir ce qui est bon pour elles. Ces travaux nous permettront de hiérarchiser à la fois les objectifs visés par les planteurs et l'importance avec laquelle ils considèrent les espèces présentes dans leur(s) parcelle(s). Ce travail aboutira à proposer des protocoles d'évaluation des fonctions des principales espèces. Malgré l'importance économique et sociale des SAFC peu de choses sont connues quant à l'élaboration du rendement des cacaoyers en conditions agroforestières. Le préalable au diagnostic est donc l'établissement d'un modèle conceptuel de l'élaboration du rendement du peuplement cacaoyer en situation agroforestière. Ceci sera fait tout d'abord à l'échelle de la parcelle, avec prise en compte de l'effet du peuplement associé, puis nous verrons comment le niveau de l'individu agit sur l'échelle supérieure. Enfin, nous identifierons les pratiques culturelles et les états du milieu influençant la production de l'arbre.

I. Matériel

1. Caractérisation des régions d'étude

Trois zones de production de cacao (voir Figure 1) ont été sélectionnées en 2003 de manière à couvrir un maximum de diversité : elles sont différentielles quant à leurs histoires cacaoyères, conditions pédoclimatiques, végétations et reliefs. La zone de Ngomedzap (département du Nyong et So'o) est située au sud de Yaoundé dans une zone forestière dense où la cacaoculture est en déclin. La zone Zima subit une forte pression foncière, la cacaoculture y est ancienne et la production stabilisée. Enfin, à Bokito les conditions pédoclimatiques sont sub-optimales pour la cacaoculture, c'est une zone de mosaïque forêt-savane. On y rencontre donc des cacaoyères installées sur savane sur le modèle agroforestier par implantation d'arbres en association. Le détail de leurs caractéristiques respectives figure en Annexe 2).

2. Les données

Dans le cadre des travaux entrepris par le FSP REPARAC un grand nombre de données a été relevé par les membres de l'équipe du programme « Plantes stimulantes » de l'IRAD en 2007. Elles portent sur les caractéristiques de 60 parcelles de cacaoculture réparties dans trois régions de la province du Centre Cameroun choisies de manière à (i) tester la pérennité des productions des SAFC (ii) mettre en évidence les différences de production selon un gradient pédoclimatique. Outre les critères présentés dans le

Tableau 1 l'objectif lors du choix des parcelles était de disposer d'une gamme de cacaoyères représentative des différents stades de développement : 4 classes d'âges sont considérées (inférieur à 8 ans, de 9 à 20 ans, de 21 à 40 ans, et supérieur à 40 ans). L'identification des chronoséquences se fait grâce à l'âge dominant des cacaoyers de la parcelle. Il y a au total 20 parcelles par régions, soit 60 parcelles suivies, réparties chez 42 exploitants et sur 5 villages. Le dispositif est asymétrique en terme d'âge, mais le sera aussi dans l'analyse des données car pour des contraintes techniques et temporelles l'ensemble des données n'a pas pu être relevé sur l'ensemble des parcelles (voir liste des données relevées et critères d'échantillonnage en Annexe 3).

Les données sont relevées sur des placettes de 1000m² (31,6m² × 31,6m²) matérialisées sur les parcelles à l'aide de jalons. Les cacaoyers y sont numérotés par une pancarte. Les informations récoltées concernant les cacaoyers sont relatives à leurs caractéristiques morphologiques et aux productions potentielles. Celles relatives à l'état des espèces ligneuses associées sont l'abondance et les caractéristiques dendrométriques principales. Concernant les états du milieu nous prendrons en compte l'ombrage et la teneur en matière organique (MO) du sol. Nous nous intéresserons uniquement à la strate ligneuse en y incluant les palmiers à huile (*Elaeis guineensis*). Les espèces herbacées et donc aussi les bananiers (genre *Musa*) sont négligés. Pour chacune de ces placettes un plan parcellaire a été réalisé : y sont notées les positions des différents individus et l'encombrement de leurs houppiers (voir exemple en Annexe 4).

i. Variables descriptives de l'état du peuplement cacaoyer et de ses individus

Pour chaque cacaoyer sont relevées les données suivantes :

- la **hauteur** du bas de frondaison est relevée au gabarit (préalablement marqué tous les mètres) ;
- le **nombre de troncs** issus d'une même souche ;
- les **circonférences** sont relevées au mètre ruban pour les arbres de hauteur supérieure à 1m et pour les arbres de taille inférieure à 1m les **diamètres** sont pris au pied à coulisse. Ces données sont relevées pour chacun des troncs d'une même souche et serviront à calculer les surfaces terrières de chaque individu ;

- la **densité de plantation** sera exprimée sous deux formes : nous testerons d'une part l'effet des densités dites « globales », c'est-à-dire le nombre d'individus par hectare et d'autre part celui des « densités individuelles ». La première s'applique au niveau de la parcelle. Les densités de plantation au sein d'une même parcelle étant très variables nous avons mesuré la densité individuelle pour chacun des individus, elle représente le nombre de cacaoyers compris dans les 100m² environnants ;

- une **estimation de la biomasse** est faite par produit des surfaces terrières et hauteurs individuelles.

ii. Itinéraires techniques

Les données relatives aux itinéraires techniques concernent l'action des planteurs sur la structure du peuplement cacaoyer, soit les choix de taille et de gestion de la densité. Les traitements phytosanitaires sont négligés car le travail se base sur le rendement potentiel qui n'inclue pas les pertes dues aux nuisibles. Voici la liste des données relevées :

- la **date de plantation** est fournie par le planteur ;

- parmi les **origines génétiques des cacaoyers** on distingue 6 variétés. Leur identification est faite à partir de l'observation des cabosses dont les photographies figurent en Annexe 5.

- afin de caractériser la morphologie des cacaoyers neufs types architecturaux ont été retenus par Jagoret. Ils retranscrivent les choix de taille fait par les planteurs et en moindre mesure les accidents subis (chute d'arbres ou attaques importantes par certains nuisibles). Leur description figure en Annexe 6.

Les types 0 à 2 présentent un tronc unique non ramifié : le n°0 correspond aux jeunes cacaoyers dont la couronne n'est pas formée et le type 1 à ceux dont la première couronne est formée. Le type 2 comprend les cacaoyers dont la première couronne a été supprimée pour déclencher une seconde phase de croissance orthotrope permettant d'obtenir une hauteur plus pratique à travailler (sur déclarations des planteurs). Le type 3 présente une souche ramifiée en plusieurs troncs d'âges similaires. Les cacaoyers de type 4 sont composés de deux troncs de même âge mais dont la ramification est basse (inférieure à 1m). Le type 5 présente des troncs multiples d'âges différents (sont considérés uniquement les rejets lignifiés), ils sont conservés par le planteur en vue du remplacement du tronc principal. Le type 6 comprend les cacaoyers dont la couronne est en partie détruite. Le type 7 présente une architecture similaire au type 2 mais son port est penché (contrainte pour accéder à la lumière ou pente). Enfin les cacaoyers de type 8 ont été abandonnés et ceux de type 9 sont en partie détruits suite à un problème ponctuel. Les types 1, 2 et 3 peuvent être régénérés, c'est-à-dire issus du développement d'un rejet de souche.

iii. États du milieu

Nous avons choisis de nous intéresser à l'ombrage car l'incidence particulière de cette variable a été discutée par de nombreux auteurs. Les arbres d'ombrage favorisent le cacaoyer en réduisant les contraintes climatiques et les déséquilibres nutritionnels (Beer *et al.* 1998) mais un excès d'ombre peut augmenter la probabilité d'occurrence de certaines maladies comme *Phytophthora palmivora* (Jeffery *et al.* 2004) et entraîner pendant des périodes sèches une compétition racinaire pour l'eau (Beer *et al.* 1998). Nous nous intéresserons aussi à la teneur du sol en matière organique (MO) car ces systèmes sont menés sans fertilisants chimiques et que les pratiques courantes en agroforesterie améliorent la disponibilité des ressources : cycle des nutriments efficace et amélioration des caractéristiques des sols (Beer *et al.* 1998, Schroth *et al.* 2001 et Hartemink 2005 dans Isaac 2007).

L'ombrage couvrant le peuplement cacaoyer est estimé grâce à un densiomètre convexe. Il s'agit d'un miroir sphérique rendant possible la réflexion d'une large image et sur lequel une grille permet d'estimer le pourcentage de fermeture du couvert. Chacun des 24 carreaux de la grille est subdivisé mentalement en 4 parties : un carreau est compté « plein » si plus de la moitié des ses sous-carreaux est couverte par de la végétation. Au sein des placettes de 1000m² quatre points de références sont pris (voir Figure 2), pour chacun d'entre eux quatre valeurs sont relevées en direction des points cardinaux. La mesure se fait au dessus de la strate cacaoyère grâce à une échelle. A partir du nombre x de carreaux reflétant le ciel le calcul du pourcentage d'ombre est le suivant :

$$\% \text{ ombre} = 100 - [(X_N + X_S + X_E + X_O) * 1,04]$$

Avec X_N, X_S, X_E , λ le nombre de carreaux « ciel » (sur 24) en direction du Nord, du Sud, de l'Est et de l'Ouest. Ainsi on attribue aux cacaoyers la valeur d'ombrage correspondante à leur sous-placette respective. Nous raisonnerons à l'échelle de la parcelle en moyennant les valeurs d'ombrage des quatre sous-placettes.

La teneur en matière organique (MO) du sol a été estimée à partir du dosage de carbone total (méthode de Walkey et Black) d'échantillons prélevés à une profondeur de 20cm. La teneur en MO correspond à la teneur en carbone total multipliée par 1,72.

iv. États des espèces associées

On intègre l'effet des autres espèces sur le peuplement cacaoyer via la composition et la structure de leur peuplement c'est-à-dire leurs densités, surfaces terrières et hauteurs. Les hauteurs sont relevées au dendromètre : les mesures sont faites aux quatre coins cardinaux, avec à chaque fois une mesure sous la couronne et une au-dessus. La valeur finale est la moyenne des 8 mesures.

v. Estimation des productions potentielles

Les relevés de rendements potentiels se font par marquage des cabosses de longueur supérieure à 10cm avec trois passages au cours de la saison de maturation des fruits. Bos *et al.* (2007) montrent que les *wilts* (avortement du fruit sous contrôle physiologique) interviennent durant les 6 premières semaines de développement, on peut alors faire l'hypothèse qu'au delà du stade 10cm toutes les cabosses arriveront à maturité. Nous mènerons les analyses en raisonnant en termes de kilogrammes de cabosses produits par individus. Pour effectuer la transformation du nombre de cabosses à leur poids nous avons utilisé les résultats de travaux réalisés en 2003 et 2004 sur le poids moyen des cabosses pour chacune des trois zones suivies (voir Figure 5).

II. Méthode

1. Comment évaluer la productivité de ces systèmes ?

i. Le diagnostic agronomique régional (DAR)

Parmi les méthodes d'évaluation des systèmes de cultures établies ces dernières années figurent le diagnostic agronomique régional (DAR) (Doré *et al.* 1997, 2008) : cette méthode a pour but de comprendre les écarts de rendements à l'échelle d'une région en mettant en évidence les facteurs environnementaux et les techniques culturales responsables des faibles rendements (Doré *et al.* 1997). Le DAR se compose de deux étapes, la première consiste à analyser l'élaboration du rendement afin d'émettre des hypothèses quant aux états environnementaux limitants. Ces hypothèses peuvent être posées à l'aide de comparaisons de parcelles différant d'un caractère, puis doivent être testées sur l'ensemble de la région d'étude. Cette première étape permet d'établir une hiérarchie des facteurs limitants, année par année. Puis, lors de la seconde phase il s'agit d'identifier les pratiques culturales, les aspects environnementaux et leurs interactions responsables des modifications des états du milieu identifiés comme limitant le rendement.

ii. Limites de l'applicabilité aux systèmes agroforestiers

Les caractéristiques des SAFC citées précédemment limitent l'application du DAR. Tout d'abord, grâce à l'importante diversité des espèces associées au cacao, les SAFC procurent une multitude de produits, commercialisables ou non, qui interviennent notamment dans l'autosuffisance et l'équilibre alimentaire, les apports financiers, la santé (pharmacopée) ou encore la construction (bois, palmes). Ceci complexifie l'évaluation des performances en posant la question de l'unité commune à utiliser pour intégrer des fonctions de nature si variée. Dans des exploitations à vocation uniquement commerciale l'unité de mesure commune peut être financière (marge brute, gains/investissements) mais les systèmes étudiés ici sont à vocation de rente et de subsistance. Or la satisfaction des besoins du ménage sont beaucoup plus délicats à estimer.

De plus l'agencement de plusieurs strates multiplie les interactions interspécifiques : le rendement de chaque plante est fortement dépendant de l'environnement climatique créé par les

plantes voisines (Doré *et al.* 2007). L'étude de l'effet des interactions au sein de cultures est avancée sur les systèmes plurispécifiques comportant 2 à 3 espèces : pour pouvoir juger du rendement d'une espèce en culture associée il faut disposer de connaissances quant à son comportement en culture pure (Nair, 1993), hors ces connaissances sont manquantes pour la majorité des espèces rencontrées dans les SAFC du Cameroun. De plus des indices de compétition seraient utiles pour caractériser l'intensité des compétitions mais leurs applications en forêt tropicale se sont révélées pour le moment peu fructueuses (Gourlet-Fleury, 1998).

Comme nous l'avons déjà vu ces systèmes ont des structures horizontales et verticales variables, ce qui crée des environnements microclimatiques très diverses. Les « trous de lumière » provoqués par les chutes d'arbres modifient l'ensoleillement et l'hygrométrie ; les espèces associées sont disposées de manière aléatoire, créant un ombrage inégal. Cette hétérogénéité des états du milieu complexifie le choix des indicateurs (Doré *et al.* 2007).

Les différentes composantes de ces cultures sont d'âges très divers. Comment porter un regard sur les rendements d'une population d'âge non uniforme ? De plus, les cycles de production sont de longueur variable. Enfin, les connaissances quant à l'élaboration du rendement des espèces locales sont souvent manquantes.

iii. Démarche appliquée

Nous nous inspirerons de l'approche hiérarchique proposée par Lamanda et Laurans (communication personnelle, 2008) dans le cadre du projet ATP CARESYS qui a pour objectif la caractérisation des systèmes de culture plurispécifiques à base de cultures pérennes en zone tropicale humide. Le principe est de considérer successivement trois niveaux d'organisation : le peuplement (ensemble des espèces présentes sur parcelle), la population et enfin l'individu (ou un groupe homogène d'individus). Le préalable à ce travail est une caractérisation de la structure des peuplements des parcelles dans leurs globalités. Puis nos objectifs sont (i) d'identifier la/les composantes d'intérêt majeur et de déterminer les objectifs des planteurs à l'échelle de la parcelle, (ii) de mettre en évidence les facteurs expliquant les différences de rendement en cacao entre parcelles et (iii) entre individus. Comme le montre la Figure 6 chaque échelle de travail dépend des processus se déroulant à l'échelle inférieure. Pour contourner les contraintes qu'imposent les caractéristiques des agroforêts, le diagnostic se fait en tenant en compte des productions d'une année entière pour contenir les calendriers de productions des différentes espèces ; l'échantillonnage synchronique permet de tester l'évolution des productions des espèces selon leur âge. Enfin, les sources de variabilité sont réduites en menant les analyses sur des groupes rendus les plus homogènes possibles.

2: Échelle de la parcelle

i. Analyse descriptive du peuplement

Afin de caractériser les peuplements d'espèces associées nous utiliserons notamment l'indice de Sorensen et celui de Shannon-Weaver. L'indice de Sorensen (K) ou similitude floristique (Betti 2001) est obtenu par l'application de la formule :

$$K = \frac{2a}{2a + b + c}$$

où a est le nombre d'espèces communes aux deux sites
b le nombre d'espèces propres à l'échantillon 1
c le nombre d'espèces propres à l'échantillon 2

Plus la valeur de l'indice s'approche de 1, plus la composition floristique des deux sites est proche. Pour K = 0, il n'y a aucune espèce en commun sur les deux zones.

L'indice de Shannon Weaver (H') (Frontier et Pichod-Viale 1998) est calculé d'après la relation suivante où « s » correspond au nombre d'espèces constituant le peuplement, « Ni » au nombre d'arbres de l'espèce i et « N » au nombre total d'arbres (toutes espèces confondues).

$$H' = \sum_{i=1}^{i=s} \frac{N_i}{N} \times \ln \frac{N}{N_i}$$

ii. Évaluation à dire d'acteur

L'une des principales difficultés liée à l'analyse des performances des SAFC est la multiplicité des fonctions accomplies et des produits fournis. Afin de pouvoir hiérarchiser les composantes via une unité commune nous utiliserons l'importance attribuée aux différents usages par le planteur lui-même. Pour cela nous appliquerons la méthode distribution des cailloux (MDC) qui repose sur la quantification de l'importance relative par les planteurs et part du principe que les populations locales sont les plus aptes à estimer ce qui est important pour elles (Sheil *et al.* 2004). L'exploitant réparti 100 unités (dans notre cas des noix de palmistes) sur un tableau croisant les espèces présentes sur la placette et les différents usages –ou fonctions- considérés : consommation familiale, vente, utilisation du bois de chauffe et du bois d'œuvre, ombrage crée et fertilité, et une colonne « autre » permet de compter les usages non représentés (voir Figure 7). La notion d'importance est propre à chaque individu, il y a donc variabilité des estimations selon l'exploitant mais la méthode permet une estimation holistique des préférences. Pour aider et suivre le raisonnement du planteur la question posée est « Pourquoi tel individu de telle cette espèce est conservé ? ». Il est essentiel de noter les justifications de l'exploitant car elles permettent d'entrevoir la logique productive ainsi que le mode de gestion de la parcelle (Wagler 2007). De plus il faut s'assurer que le planteur exprime l'importance attribuée aux individus de l'espèce présents dans le carreau et non à la valeur accordée de manière générale à l'espèce, pour cela la distribution se fait dans la parcelle et après une lecture commune de la liste des espèces présentes.

Identification des usages

Les résultats de la MDC vont permettre d'identifier les fonctions accomplies par les espèces. D'une part l'ensemble des importances attribuées à chacune des fonctions (IF_j) permettront de dresser les profils fonctionnels de chacune des parcelles suivies (voir

Figure 7) et donneront ainsi des indications sur les objectifs visés par les planteurs. D'autre part nous chercherons à estimer la part du cacao dans les revenus issus des parcelles. Ce calcul se fait à l'échelle de la parcelle. Le calcul pour une espèce i est le suivant :

$$(\%) = \frac{(I_{i,1} + I_{i,2})}{IF_1 + IF_2} \times 100$$

L'hypothèse sous jacente est que la quantité de produits consommés par la famille peut être estimée en unité monétaire, tout comme les ventes, en « équivalent non acheté ».

Hiérarchisation des espèces grâce à la méthode de distribution des palmistes

Les résultats de la MDC nous permettront de calculer l'importance globale accordée à chaque espèce (ISG_i), mais aussi à chacune des fonctions de cette espèce ($I_{i,y}$). Ainsi nous établirons plusieurs hiérarchisations : (i) une hiérarchie globale mettant en évidence les espèces les plus appréciées sur chacune des zones, (ii) et des classements spécifiques à chacune des fonctions (iii) un classement spécifique pour chaque zones.

Ceci permettra la compréhension de la diversité spécifique des cacaoyères, l'identification des espèces de fort intérêt et le regroupement des espèces par usages similaires. La hiérarchie est faite selon le nombre de cailloux reçu pour l'ensemble de ses usages en pourcentage du nombre total de cailloux distribués sur la région. Le calcul de l'indicateur d'importance que nous appellerons valeur régionale (VR_{ij}) d'une espèce i pour un usage j , dans une zone où n planteurs ont été interrogés est le suivant :

$$VR_{ij} = \frac{I_{i,j} \times 100}{n}$$

Ainsi, nous obtenons la valeur attribuée à cette même espèce i pour l'ensemble de ses fonctions grâce à la formule suivante :

$$VR = \sum_{y=1}^{y=6} I_{i,y}$$

3. Diagnostic du rendement des cacaoyers

Nous chercherons à mettre en évidence les composantes du rendement en cacao et ses contraintes. Pour cela nous aborderons tout d'abord l'échelle de la parcelle puis celle du groupe homogène d'individus en voyant quelles sont les relations entre les deux échelles. Ces analyses seront menées sur l'ensemble des cacaoyers entrés en pleine phase de production (de 10 à 20 ans).

i. L'échelle de la population : la composante cacaoyère

Afin de pouvoir mettre en évidence les facteurs expliquant les différences de rendement sur chacune de nos trois régions d'étude il nous faut au préalable identifier les caractéristiques de ce peuplement qui déterminent le rendement global. Nous chercherons ici à savoir si le rendement parcellaire est déterminable à partir des caractéristiques du peuplement. Puis nous analyserons l'effet des espèces associées sur les caractéristiques du peuplement des cacaoyers.

ii. Les effets de rendement à l'échelle individuelle

Nous mettrons en évidence les relations entre le rendement et les caractéristiques dendrométriques des cacaoyers et identifierons les facteurs de variabilité. Nous mènerons les analyses avec des groupes rendus le plus homogènes possibles. Nous chercherons à savoir si l'on peut identifier un type architectural « idéal » pour une meilleure production. Enfin, nous testerons l'effet des états du milieu.

4. Analyses statistiques

Les analyses statistiques sont menées grâce au logiciel libre *R* (version 2.6) développé par R-Foundation. La saisie et la mise en forme des fichiers est faite sur Excel®.

i. Les tests sur les moyennes

Pour analyser les différences entre groupe dans le cas où les jeux de données sont d'une taille suffisante (chronoséquences, types architecturaux, nombre de troncs ...) nous emploierons le test HSD (*honestly significant difference*) de Tukey pour une ANOVA à un facteur. Il permet de comparer toutes les paires de moyennes et de montrer les différences avec un risque alpha. Pour la comparaison de tout couple (μ_i, μ_j) , les hypothèses à tester sont :

$$H_0 : \mu_i = \mu_j \quad H_1 : \mu_i \neq \mu_j$$

La statistique de test est donnée par $Q_{ij} = \frac{\bar{Y}_i - \bar{Y}_j}{\sqrt{\frac{MGR}{n}}}$

Avec \bar{Y}_i et \bar{Y}_j les plus grandes et plus petites des r moyennes à comparer. Le test sera défini par la règle de décision suivante : si $Q_{ij} \geq q_{\alpha}$ on rejette H_0 , avec $\alpha = 0,05$. Ce test ne peut être appliqué que sur des échantillons de même taille présentant une distribution normale et dont les variances sont égales. La normalité des données est testée avec le test de Shapiro-Wilk, et leur variance grâce au test de Fisher.

Dans le cas des échantillons de petite taille nous emploierons le test de Kruskal-Wallis qui présente l'avantage de ne faire aucune hypothèse sur la forme des distributions. Ce test compare les moyennes des rangs des observations. Les échantillons peuvent être de tailles différentes.

ii. Les analyses multivariées

Les analyses multivariées sont communément utilisées en écologie afin de distinguer des communautés ou des populations selon leurs critères de ressemblance et de décrire leurs relations. L'intérêt que nous y portons est qu'elles permettent à la fois d'analyser des tableaux de grande dimension avec une rigueur objective et de synthétiser les variables en conservant le plus d'informations possible (Gauch 1982, dans Withrow-Robinson 2004). Différentes règles empiriques ont été proposées quant aux nombre d'axes à retenir, mais aucun critère simple et définitif n'existe.

Nous avons choisi celui de Cattell des « bâtons rompus » qui propose de retenir les axes contenus avant la première rupture de pente (voir Figure 9).

À l'échelle de la parcelle nous emploierons une analyse en composante principale (ACP) pour d'une part analyser les relations entre les variables descriptives des parcelles et leur rendement et d'autre part pour mettre en évidence l'effet des autres espèces sur ces variables descriptives du peuplement de cacaoyers. Cette méthode nous permettra de réduire le nombre des variables quantitatives à l'aide de représentations géométriques des parcelles et des variables. Précisons qu'il s'agit d'une méthode linéaire.

À l'échelle des individus nous appliquerons une analyse des correspondances multiples (ACM) qui permet d'analyser les liens entre différentes variables qualitatives. Ainsi nous pourrons nous intéresser aux facteurs tels que les types architecturaux et l'origine du matériel végétal. Pour ceci nous coderons les variables (hauteur, surface terrière et rendement potentiel) en choisissant des classes de même effectif.

I. Analyse descriptive

L'évaluation d'un système de culture impose une bonne connaissance de sa structure. Ainsi nous allons identifier les différences de caractéristiques structurales des peuplements selon les zones et leur évolution suivant l'âge de la cacaoyère. Nous nous intéresserons d'abord aux peuplements dans leurs globalités puis nous étudierons plus spécifiquement la structure de la composante cacaoyère. Pour faciliter la lecture des résultats le récapitulatif des variables et des abréviations utilisées est présenté dans le Tableau 2.

Tableau 2

1. Évolution des caractéristiques des cacaoyères suivant les chronoséquences

1. Description générale du peuplement

Diversité spécifique et composition spécifique

Sur l'ensemble des régions d'études, 112 espèces ont été recensées. La diversité spécifique sur les placettes est relativement élevée avec en moyenne 9 espèces. C'est à Ngomedzap que la diversité spécifique est la plus élevée, on y a recensé 78 espèces contre 42 et 48 à Bokito et Zima. En termes de composition floristique Zima est un intermédiaire. L'indice de Shannon-Wheaver (H') nous permet de discuter les différences de diversité en tenant compte des abondances mais aussi des proportions relatives au sein de la population. Cet indice décroît de Ngomedzap à Bokito. Cette décroissance selon un gradient Sud - Nord a été observée par Messie Anicet (2007) sur les mêmes zones d'étude. Cependant ses travaux portaient sur des superficies beaucoup plus élevées et ont amené à des valeurs de diversité spécifique plus hautes. Observons l'évolution de cet indice sur les différentes chronoséquences sur la Figure 10. Il y a deux dynamiques différentes sur la zone de Bokito d'une part et celle de Ngomedzap et Zima d'autre part. A Bokito H' décroît de la 1^{ère} à la 3^{ème} chronoséquence pour ré-augmenter sur la 4^{ème}. À Ngomedzap comme à Zima nous constatons une diminution continue des valeurs de H' . Ces résultats sont en contradiction avec les résultats de Messie Anicet (2007) : il avait observé à Ngomedzap et Zima une augmentation de H' avec le vieillissement des cacaoyères.

La lecture du Tableau 4 nous indique qu'à Bokito, comme l'on s'y attend, 80% des arbres sont introduits, ceci correspond à la création de l'ombrage lors de l'installation de cacaoyères sur savane. Le peuplement des espèces associées y est composé à 83% d'espèces fruitières, parmi elles, le palmier domine nettement avec une fréquence de 31%, puis viennent les orangers et safoutiers. La situation est inverse à Ngomedzap où la plus grande partie des espèces a été conservée ; notons que malgré la domination des espèces forestières (63%), 4 espèces parmi les plus représentées sont fruitières, ce qui met en avant l'orientation des productions vers la vente et/ou la consommation. Une nouvelle fois la zone de Zima est intermédiaire avec d'égales proportions d'espèces introduites et conservées et 42% d'espèces forestières.

Les densités de plantation

La densité de plantation en cacaoyer moyenne est de 1500 pieds à l'hectare. Les moyennes par zone sont respectivement de 1724, 1544 et 1536 à Bokito, Zima et Ngomedzap. Elles sont très variables avec par exemple à Zima de 690 à 3270 cacaoyers à l'hectare. Observons leurs évolutions temporelles sur la Figure 11, aucune différence significative n'est révélée. Les densités de plantation des cacaoyers sont constantes sur les chronoséquences. Concernant les espèces associées une diminution des densités le long des chronoséquences est visualisable sur la Figure 11 mais pour chacune des zones ces différences sont non significatives.

Nous voyons sur la Figure 12 que quelque soit la zone considérée les densités en cacaoyers et en espèces associées ne se compensent pas dans la stratégie des planteurs : plus une parcelle est chargée en cacao, plus elle le sera en espèces associées. Les coefficients de corrélation entre la densité

en cacaoyers et celle en espèces associées sont positifs pour chacune des zones, mais les relations sont non significatives. Ces relations sont indépendantes de l'âge de la parcelle.

Les surfaces terrières

Concernant le peuplement cacaoyer seules les surfaces terrières globales (Gcac,tot) de la chronoséquence 1 sont significativement inférieures, celles des autres chronoséquences sont constantes (résultats non présentés). Observons la participation des espèces associées à la surface terrière globale des parcelles, leurs moyennes par zone et par chronoséquence sur la Figure 13. A Bokito la contribution des cacaoyers à la surface terrière globale augmente de manière continue le long des chronoséquences : initialement à 16%, elle est de plus de 50% sur la 4^{ème} chronoséquence, ce qui correspond à la valeur maximale. A Zima seules les surfaces terrières des deux premières chronoséquences sont inférieures ; enfin à Ngomedzap la participation des cacaoyers à la surface terrière globale de la parcelle n'évolue plus dès la seconde chronoséquence. Observons que les valeurs moyennes par zone de la participation des cacaoyers aux surfaces terrières globales des parcelles décroissent de Bokito (29%) à Ngomedzap (23%).

Nous nous sommes intéressés à l'évolution des surfaces terrières des 5 principales espèces associées pour chacune des zones (Annexe 7). Les surfaces terrières des espèces associées sont supérieures à Ngomedzap : les essences forestières ont des surfaces terrières très importantes qui s'accroissent sur les chronoséquences. Les avocatiers et safoutiers montrent des développements moins importants à Ngomedzap que sur les autres zones.

Surface terrière et hauteur des espèces associées

Les hauteurs moyennes des peuplements associés sont croissantes de Bokito (7m) à Ngomedzap (15m). A Bokito les peuplements d'espèces associées sont particulièrement bas sur la 1^{ère} chronoséquence (4m en moyenne), ceci s'explique par la domination des espèces introduites dans cette zone. Les hauteurs à Zima et Ngomedzap sont relativement constantes sur les quatre chronoséquences, avec de plus grands écart types à Zima, ce qui est due à la présence en proportion égales d'espèces introduites/conservées. Les surfaces terrières des espèces associées sont moindres à Bokito.

ii. Caractéristique des peuplements de cacaoyer

Évolution des caractéristiques bio-morphologiques

Surface terrière et hauteur

Observons l'évolution des hauteurs des cacaoyers sur les trois zones (Figure 15). Les cacaoyers de Ngomedzap sont significativement inférieurs à ceux des autres zones. A Bokito les cacaoyers sont plus hauts sur la première chronoséquence mais leurs hauteurs se stabilisent en dessous des valeurs obtenues à Zima (4m en moyenne sur la 4^{ème} chronoséquence). L'accroissement des surfaces terrières individuelles des cacaoyers est continu sur les trois zones, les valeurs sont supérieures pour chacune des chronoséquences à Bokito. Les surfaces terrières les plus basses sont observées à Ngomedzap.

Rendement potentiel

Les rendements potentiels sont exprimés en kilogrammes de cabosses par hectare. Ils sont en moyenne supérieurs à Zima, puis suivent Bokito et Ngomedzap, ces différences sont non significatives (Figure 16).

À l'échelle des trois régions d'études, seuls les rendements potentiels de la 1^{ère} chronoséquence sont inférieurs. À Bokito les rendements sont initialement supérieurs et se stabilisent dès la 2^{ème} chronoséquence autour de 6000kg de cabosses par ha. À Ngomedzap les rendements potentiels se stabilisent dès la 2^{ème} chronoséquence autour de 5500kg de cabosses par ha. Pour les trois zones les rendements potentiels des chronoséquences 2, 3 et 4 sont constants.

Cacaoyers non productifs

Il y a significativement plus d'arbres improductifs sur la première chronoséquence que sur les suivantes, ceci est due aux âges d'entrée en production. Le premier facteur de non-productivité est la juvénilité (Figure 17). La région de Zima présente des taux d'improductivité significativement

supérieurs, ce qui est due à l'existence de quatre parcelles de la chronoséquence 1 présentant quasiment 90% d'arbres non productifs et dont les densités de plantation en cacaoyers sont très élevées (de 2520 à 3270 ind/ha).

Taux de mortalité

Les taux de mortalité moyens sont respectivement de 23, 30 et 27 individus par hectare par an à Bokito, Zima et Ngomedzap ; hors nous avons vu que les densités de plantation des cacaoyers peuvent être considérées constantes. Cette contradiction met en évidence et confirme les processus de re-densification du peuplement effectués par les planteurs. A partir de cela nous pouvons considérer que les taux de re-densification avoisinent les taux de mortalité calculés (voir Annexe 15).

Les pratiques culturales

Composition des chronoséquences en classes d'âges

Nous voyons sur la Figure 19 que plus la parcelle est ancienne plus sa composition en âges est variable. Les cacaoyères de la chronoséquence 4 contiennent des individus ayant au maximum 80 ans mais la moitié du peuplement a moins de 40 ans. Il en est de même pour les 3^{èmes} et 2^{ndes} chronoséquences dont un quart du peuplement a respectivement moins de 20 ans et 10 ans. Ceci s'explique par la re-densification du peuplement effectuée par les planteurs : ils remplacent progressivement les individus malades et morts par de jeunes plants. Dans la suite des travaux, pour pouvoir utiliser les chronoséquences comme facteur de diminution de la variabilité nous avons réduits les chronoséquences à leur limites de définition.

Mode de plantation

Les plants de cacao sont insérés soit de manière individuelle soit de manière multiple, c'est-à-dire deux ou trois individus dans un même trou de plantation. La plantation multiple est pratiquée sur 83% des parcelles suivies. Dans la zone de Bokito elle est significativement moins pratiquée qu'à Zima ou Ngomedzap (Figure 20). Dans cette dernière zone, la totalité des parcelles contient des plantations multiples. Les résultats de l'ANOVA (voir Figure 21) prouvent l'effet du planteur sur le choix du mode de plantation.

Origine génétique du matériel végétal

Les cacaoyers de types « indéterminés » sont majoritaires, puis viennent les cacaoyers Allemands (Amelonado et Amelonado rouge). Le troisième groupe le plus représenté est celui des hybrides sélectionnés par l'IRAD. Notons que l'importante proportion de cacaoyers de types indéterminé est due (i) au fait que l'identification de l'origine génétique se fait à partir de la morphologie de la cabosse, ce qui empêche de caractériser les jeunes plants, (ii) les planteurs utilisent en grande partie les fèves issues de leurs propres cacaoyères qui sont issues de croisement divers et non contrôlés. Nous nous sommes intéressés à l'évolution temporelle de l'origine du matériel végétal (Annexe 8) selon les zones : les Amelonado sont majoritaires dans les cacaoyères anciennes. Dans les jeunes parcelles de Bokito les hybrides sont dominants, alors qu'à Ngomedzap et Zima les matériels indéterminés dominent.

Types architecturaux

Le type 2 est le plus représenté avec respectivement 31, 38 et 26% de l'ensemble des peuplements de cacaoyers de Bokito, Zima et de Ngomedzap. Puis viennent les types 1 et 5 en proportions équivalentes. La distribution des types est dépendante de la région (voir Annexe 16) : la différence principale est que le type 6 est significativement plus représenté à Ngomedzap. En effet dans cette région de forêts denses l'exploitation des essences de bois d'œuvre entraîne des dégâts sur les cacaoyers. La proportion des types régénérés est très faible et croissante sur les chronoséquences, parmi eux le T2R est le plus représenté.

Observons maintenant l'évolution de la part des différents types pour chacune des zones sur la Figure 22. Sur les trois zones nous retrouvons les trois phases suivantes : tout d'abord le T1 est dominant sur la première chronoséquence ; puis la proportion de T1 diminue sur les chronoséquences 2 et 3, ceci en faveur du développement des T2. Nous voyons ici la volonté du planteur d'augmenter la

taille de son peuplement par la suppression de la première couronne qui amène à une seconde phase de croissance orthotrope. Ceci est fait pour des raisons pratiques afin de faciliter les récoltes et la circulation dans la cacaoyère. Enfin la troisième phase (chronoséquences 3 et 4) correspond au développement puis à l'installation des cacaoyers à vocation de régénération, les T5. En parallèle de cela la proportion de T3 diminue et les proportions de T4 sont constantes.

2. Mise en évidence de la diversité intra-parcellaire

Il est important de mettre en évidence l'hétérogénéité existante au sein des parcelles, qu'il s'agisse des peuplements de cacaoyers que des espèces associées. La

Figure 23 présente la distribution des écart-types des âges, surfaces terrières et hauteurs sur chacune des parcelles suivies. La distribution des écart-types des âges est de type bimodal asymétrique : la majorité des parcelles ont un écart-type en âge inférieur à 10 ans, mais sur un second lot cet écart-type est compris entre 25 et 30 ans. Ce qui met en évidence les délais à partir desquels se fait la re-densification. Les distributions des surfaces terrières et des hauteurs sont normales, centrées respectivement sur 45 (en cm²) et 0,9 (en m). La distribution des écart-types des densités individuelles est centrée sur 3,5. Il n'y a aucunes parcelles sur le réseau qui soit homogène en terme de type architectural, une même parcelle pouvant contenir jusqu'à 9 types non régénérés. Enfin une cacaoyère peut contenir des individus de 5 matériels végétaux distincts (Annexe 8).

Les écart-types des hauteurs des espèces associées au sein d'une parcelle se distribuent de 0 à 15m et ceux des surfaces terrières sont centrés sur 1000cm².

II. Échelle de la parcelle : analyse des productivités globales

1. Hiérarchisation des usages

1. Les profils fonctionnels

La vente du cacao regroupe à Bokito, Zima et Ngomedzap respectivement 33, 24 et 32% des cailloux distribués. Sa consommation par le ménage sous forme de beurre de cacao a été citée par 3 planteurs, mais est très éphémère. Dans la suite nous avons choisi de représenter les profils fonctionnels sans tenir compte de la part du cacao dans la fonction de rente car les valeurs élevées lui étant lui étant attribuées minimiseraient le poids des autres composantes. La consommation est la fonction à laquelle est accordée le plus d'importance sur les trois zones. Puis viennent respectivement à Bokito, Zima et Ngomedzap la vente (hors cacao), l'utilisation du bois (d'œuvre et de chauffe) et la pharmacopée (Figure 26).

L'accessibilité du village à un circuit de commercialisation et l'éloignement de la parcelle au village semblent déterminant de l'importance accordée à la **vente des productions hors cacao**. En effet sa valeur décroît de Bokito à Ngomedzap en passant par Zima. Les parcelles suivies à Bokito sont faiblement éloignées d'une piste praticable par tout temps, tandis qu'à Zima (zone pourtant la plus proche de Yaoundé) de nombreux planteurs ont exprimés leur désintéret pour la vente des fruits par le fait qu'en période de pluies la piste est très difficile à pratiquer, ce qui rend la vente faiblement bénéfique voire non rentable. Enfin à Ngomedzap, non seulement l'éloignement à un marché important est grand, mais de nombreuses parcelles sont situées à plus de 20minutes de marche. Dans ces cas-ci, ni la vente, ni la consommation par la famille ne sont valorisées ; la production pourrit en parcelle.

C'est à Zima que l'importance attribuée au **bois** est la plus forte (20%) puis viennent Ngomedzap et Bokito avec respectivement 10 et 5%. L'importance attribuée à l'utilisation de la **pharmacopée** est grandissante de Bokito vers Ngomedzap : nous pouvons penser que ceci est à relier avec l'âge des planteurs, plus âgés à Ngomedzap. L'importance accordée à l'**ombrage** est légèrement plus importante à Bokito où certaines parcelles sont installées sur savanes, mais cette fonction est relativement constante sur les trois zones. C'est à Ngomedzap que la **fertilité** est considérée la plus importante, or nous savons que l'implantation de cacaoyères sur précédents forêts a un effet dépressif sur la teneur en matière organique du sol. Nous pouvons penser que cette importance a aussi été

attribuée en raison de la non-valorisation des productions explicitée précédemment : une production fruitière ni vendue ni consommée car trop éloignée du village sera laissée en parcelle, et la décomposition des fruits permettra un retour de matière organique au sol.

ii. Participation du cacao aux revenus issus des parcelles

La contribution de la vente du cacao aux revenus issus des parcelles varie de 12,5% à 100 %, elle croît selon un gradient Nord-Sud avec respectivement 40, 41 et 59% en moyenne à Bokito, Zima et Ngomedzap. Sur les deux dernières zones la vente des cabosses de cacao est le revenu auquel est attribué le plus d'importance pour toutes les parcelles suivies. Ce n'est pas le cas à Bokito où pour 3 parcelles les bénéfices apportés par d'autres productions sont estimés plus importants que ceux du cacao. L'importance accordée aux autres espèces productives est justifiée par :

(i) l'étalement des revenus sur l'année. En effet la majorité des autres productions produisent à la période à laquelle l'argent issu de la vente du cacao est épuisé et pendant laquelle il faut entre autre avancer les frais de scolarité.

(ii) la minimisation du risque financier en cas de mauvaise récolte en cacao.

(iii) la diversification de l'alimentation familiale. Certains fruitiers dont la production n'est pas vendue sont conservés uniquement pour l'alimentation lors des travaux au champ (manguiers et avocatiers principalement). Certaines espèces sont même conservées uniquement pour l'alimentation des enfants (tombo), dans la mesure où leur ombrage et l'espace qu'ils occupent ne nuisent à aucuns cacaoyers.

Visualisons sur le Tableau 6 les 5 espèces contribuant le plus aux revenus issus des parcelles. Les safoutiers font partie des 5 espèces les plus importantes pour les fonctions de production quelque soit la région considérée. À Bokito les agrumes (orangers et mandariniers) représentent 15%.

2. Hiérarchisation des espèces et diversité intra-parcellaire

La liste complète des espèces, de l'importance leur étant attribuée et des parties utilisées figure en Annexe 11. C'est à Bokito que les planteurs ont attribué le plus de cailloux aux cacaoyers (43%), puis viennent Ngomedzap (34%) et Zima avec 28%. Les 5 espèces présentes sur la Figure 27.a. sont les plus importantes après les cacaoyers et regroupent à elles seules 32% des cailloux distribués sur l'ensemble des trois zones. Les fruitières sont les plus appréciées car elles accomplissent les fonctions les plus multiples : à la fois nutritive et de rente, on utilise les bois morts pour alimenter les fourneaux, certaines fournissent des remèdes et d'autre un ombrage appréciés. Les espèces de bois d'œuvre telles que l'iroko sont estimées pour le revenu potentiel qu'elles représentent, ainsi ces essences sont exploitées en cas de nécessité, ou laissée à la faveur des générations futures. Notons que des espèces comme le bété ou le bangbaye qui sont d'excellents bois de chauffe et prennent de l'importance avec la diminution de la ressource de bois mort et l'augmentation du coût du pétrole. À Zima et à Ngomedzap le figuier récolte respectivement 1 et 3% pour son rôle dans le maintien de la fertilité des sols : 7 planteurs parmi les 12 ayant au moins un représentant de cette espèce dans leurs parcelles ont déclaré qu'elle est un élément essentiel de l'enrichissement du sol de leur cacaoyère. Ils précisent que la décomposition de ses fruits oblige à un traitement rigoureux des maladies telles que la pourriture brune.

À Bokito (Figure 27.b.) les 5 espèces associées les plus estimées sont 5 fruitières dont les productions sont consommées et vendues en proportions égales ; ceci hormis pour le palmier dont 75% des productions sont vendues et les orangers (60%). Les safoutiers sont particulièrement appréciés pour leur ombrage et ils fournissent du bois de chauffe, tout comme les orangers et les avocatiers. Notons que les avocatiers sont estimés aussi pour le maintien de la fertilité du sol et entrent dans la composition de certains remèdes. À Zima les productions fruitières sont toutes majoritairement consommées, exception faite des mandarines dont la vente est économiquement intéressante pour les exploitants. Les safoutiers sont aussi appréciés pour l'ombre qu'ils fournissent, tandis que la capacité des avocatiers à entretenir la fertilité du sol n'est ici pas reconnue. Les irokos sont fréquents sur cette zone (présents chez 9 planteurs sur 12 interrogés), leur haute valeur de bois d'œuvre est reconnue et ils représentent ainsi un « capital potentiel » important, tandis que leur ombrage est prisé. La répartition des cailloux dans la zone de Ngomedzap est beaucoup plus partagée

sur l'ensemble des espèces. Les 5 espèces ici présentes regroupent seulement 26 % des cailloux distribués, contre respectivement 39 et 44% à Bokito et Zima.

III. Diagnostic du rendement des cacaoyers

I. À l'échelle de la population

i. Les déterminants du rendement cacaoyer

Nous cherchons ici à déterminer quelles sont les principales composantes du rendement cacaoyer à l'échelle de la parcelle. La première étape a été de sélectionner les variables d'intérêt parmi l'ensemble des descripteurs bio-morphologiques du peuplement cacaoyer ; pour cela nous avons effectué une matrice des corrélations (Annexe 12) avec l'ensemble des variables, et retenu uniquement celles ayant un coefficient de Pearson avec le rendement potentiel parcellaire supérieur ou égal à 0,45. Puis nous avons effectué avec ces variables une ACP dont les résultats sont présentés

Figure 28. Les axes 1 et 2 regroupent 81% de l'information. Rappelons que ces analyses sont menées uniquement avec les parcelles des chronoséquences 2 à 4.

L'ensemble des variables considérées, hormis les densités de plantation sont négativement corrélés à l'axe 1. La production moyenne par arbre et par parcelle est mieux représentée sur chacun des 2 axes que le rendement total de la parcelle. Ces analyses nous permettent de dire que :

- la production moyenne individuelle est très significativement liée (coefficient $\geq 80\%$) à la surface terrière moyenne des cacaoyers, à la surface terrière totale de la parcelle, à la hauteur moyenne du peuplement, à l'estimateur de la biomasse totale en cacaoyer et enfin à l'âge moyen du peuplement ;

- les densités ont un effet négatif important sur la production moyenne par individu puisque ces deux variables sont négativement corrélées suivant les 2 axes.

Nous avons représenté sur la Figure 28.d. les centres de gravité des différentes zones qui se différencient principalement suivant l'axe 1. Le centre de gravité des parcelles de Ngomedzap est positivement corrélé à l'axe 1, indiquant des densités de plantations plus élevées ; celui de Bokito est quasiment indépendant sur les 2 axes, ce qui traduit une grande diversité dans la structure des peuplements. Enfin, celui de Zima est négativement corrélé à l'axe 2 indiquant des rendements supérieurs.

Suite à cela nous avons décomposé le rendement potentiel de la parcelle en procédant par décomposition descendante de chacun des termes. La variable la mieux corrélée au rendement potentiel d'une parcelle est la production moyenne individuelle. La relation est la suivante :

$$Rdt\ ha\ (kg/ha) = \sum Rdt\ moy,ind\ (kg/ind) * denscac\ (ind/ha)$$

Puis la variable la mieux corrélée au rendement potentiel individuel moyen est la surface terrière moyenne du peuplement. Ainsi de suite nous obtenons finalement les relations présentées sur les Figure 29 à Figure 31.

ii. L'effet des espèces associées

Nous avons effectué la même démarche pour analyser l'effet des espèces associées sur les caractéristiques morphologiques du peuplement de cacaoyers (Figure 32). Les trois premiers axes regroupent 85% de l'information. Nous observons sur le plan 1-2 trois groupes distincts de variables :

- les caractéristiques morphologiques du peuplement cacaoyer (surface terrière moyenne et globale, et hauteur moyenne) et les surfaces terrières toute espèces confondues. Ces variables sont négativement corrélées à l'axe 1, et mal représentées sur l'axe 2 ;

- à ce groupe s'opposent les variables traduisant les densités de plantation ;

- les surfaces terrières moyenne et globales des espèces associées ainsi que leur hauteur moyenne sont indépendantes des deux groupes précédents, non représentés sur l'axe 1, et négativement corrélées à l'axe 2.

Les densités en espèces associées sont opposées d'une part aux valeurs moyennes de surface terrière et de hauteur des cacaoyers ; et d'autre part aux caractéristiques morphologiques moyennes du

peuplement des espèces associées. Enfin, notons que la hauteur moyenne du peuplement cacaoyers est corrélée à la surface terrière toute espèces confondues quelque soit le plan considéré.

La distinction entre zones est la meilleure dans le plan 1-2, sur lequel le centre de gravité des parcelles de Bokito est positivement corrélié à l'axe 2, indiquant une tendance à des densités en espèces associées plus élevées que sur les autres zones. Les centres de gravité des parcelles de Ngomedzap et de Zima sont négativement corrélié suivant l'axe 1. Ceci indique des densités en espèces associées légèrement plus élevées à Ngomedzap et des peuplement de cacaoyers plus hauts et de surface terrière plus importante à Zima.

Cette ACP met en évidence d'une part l'opposition entre variables morphologiques et densités et d'autre part le rôle prépondérant des densités de plantations en espèces associées sur les variables morphologiques du peuplement. Remarquons qu'aucun effet direct des espèces associées sur la structure du peuplement de cacaoyers n'est mis en évidence.

iii. Zoom sur les densités de plantation

La diminution du nombre de cabosses produites dans des systèmes très denses est telle qu'elle n'est pas compensée par le nombre d'individus : à chronoséquences équivalentes la productivité globale des parcelles denses est inférieure à celles l'étant moins (Tableau 7).

iv. Modélisation de ces interactions

Nous avons cherché à modéliser ces interactions à l'échelle de la parcelle. Pour cela nous avons réalisé une régression pas à pas, c'est-à-dire qu'après chaque ajout/suppression de variable nous avons examiné la signification de la diminution/augmentation du R^2 qu'elle induit. Il s'agit d'un modèle linéaire généralisé avec interactions. Le meilleur modèle permet de déterminer le rendement global de la parcelle avec un bon ajustement aux valeurs observées avec un R de 0,76 (Figure 33.b.) Il est le suivant :

$$Rdt_ha \sim (GCACmoy * densCAC) + (ageCACmoy * hCACm) + GCACmoy * (densASSha * (GASSmoy + hASSm)), \text{ family} = \text{gaussian(identity)}, \text{ data} = \text{tab}$$

Les termes les plus significatifs du modèle sont la surface terrière moyenne du peuplement ($p\text{-value} = 5,7.10^{-11}$) et son interaction avec la surface terrière moyenne des espèces associées ($p\text{-value} = 3,43.10^{-4}$).

2. À l'échelle individuelle

Nous chercherons ici à mettre en évidence les relations existantes entre les caractéristiques dendrométriques d'un individu et sa production potentielle. En considérant l'ensemble des individus des trois zones, tout types et tout âges confondus la variable la mieux corrélée au rendement potentiel individuel est la surface terrière de l'individu ($r^2=0,70$), et ceci se retrouve indépendamment pour chacun des types. La surface terrière est elle-même dépendante en égale mesure du nombre de troncs et de la hauteur ($r^2=0,42$).

1. Étude des relations entre variables bio-morphologiques et rendement potentiel

Nous avons réalisé pour chacun des types des groupes de 40 individus âgés de 10 à 20 ans dont la distribution en âge et des conditions du milieu (MO du sol et ombre) sont identiques. Observons les résultats de l'ACM sur la Figure 34. Les valeurs propres présentent une distribution étendue, indiquant des données peu structurées. Nous choisissons 3 axes qui représentent uniquement 30% de l'information. Malgré cela nous observons une bonne différenciation des individus selon les types architecturaux, leurs nombre de troncs, leurs surfaces terrières et leur production individuelle le long de l'axe 1. Nous observons sur la gauche de l'axe 1 :

- les types 1, 2 et 6,
- les individus à tronc unique,
- les faibles surfaces terrières,
- les rendements potentiels bas.

Inversement les individus à haute production individuelle (groupes 3 et 4) sont regroupés sur la droite de l'axe 1, ainsi que les individus à troncs multiples, les hautes surfaces terrières et les types

3, 4 et 5. Suivant l'axe 2 les productions élevées sont situées dans la partie négative de l'axe. Les groupes de hauteurs se distinguent principalement suivant cet axe 2, avec les individus de grande taille vers les faibles valeurs. La différenciation des différents matériels végétaux est meilleure sur le plan 2-3 sur lequel les variétés hybrides et les Trinitario rouge sont fortement corrélés aux surfaces terrières élevées, et les Amelonado aux hauteurs importantes.

D'après ceci nous pouvons dire que les productions par arbre sont fortement corrélées aux surfaces terrières, et en moindre mesure aux hauteurs. De plus les types architecturaux 3, 4 et 5 présentent de meilleures capacités à fournir des rendements élevés. Remarquons que les individus à 2, 3 et 4 troncs semblent fournir un nombre supérieur de cabosse que ceux à 5 troncs.

ii. Influence des états du milieu

Effet de l'ombrage

Nous nous sommes tout d'abord intéressés à l'évolution des valeurs d'ombrage sur les différentes chronoséquences : il en ressort que seule la seconde chronoséquence de Bokito est significativement moins ombragée que les suivantes. Sur les deux autres zones l'ombrage est constant sur les chronoséquences (résultats non présentés). Cependant les mesures ne sont faites que sur les chronoséquences 2 à 4, et c'est peut être sur la chronoséquence 1 que les différences auraient pu être significatives. Nous avons réalisé une ACM afin de voir quel est l'effet de l'ombre sur les surfaces terrières et hauteurs. Nous avons soustrait à l'échantillonnage la seconde chronoséquence. La Figure 35 montre les classes d'ombrages se distinguent suivant l'axe 2, sur lequel les individus aux surfaces terrières et hauteurs importantes sont bien représentés en partie positive. Les faibles valeurs d'ombre favorisent le développement des cacaoyers en hauteur et en surface terrière.

Effet de la teneur en matière organique du sol

Nous nous intéressons à l'évolution des teneurs en matière organique du sol (MO) le long des chronoséquences et remarquons qu'elles dépendent de la zone considérée. La teneur en MO du sol est significativement supérieure Ngomedzap que sur les deux autres zones. Dans la zone de Ngomedzap nous remarquons une diminution qui est significative ($p\text{-value} < 2.10^{-16}$) de la teneur en matière organique le long des chronoséquences. A Zima la teneur en MO sur chacune des chronoséquences est supérieure à celle de la précédente, enfin à Bokito nous n'observons pas d'évolution continue des teneurs en MO. Ceci confirme l'effet dépressif de l'installation d'une cacaoyère sur la teneur en MO du sol sur un précédent savane. La zone de Bokito contient des cacaoyères installées sur savane et sur forêt donc les valeurs moyennes par chronoséquences exposent à la fois l'effet dépressif de l'installation sur précédent forêt et l'amélioration permise par l'installation sur précédent savane. Nous n'avons pu mettre en évidence de relations logiques entre la teneur en MO du sol et les caractéristiques morphologiques des cacaoyers.

iii. Identification des décisions techniques responsables des états du peuplement limitant le rendement du cacaoyer

Effet de l'âge

Nous avons analysé l'effet de l'âge sur le rendement potentiel des individus tous types confondus (Figure 36). Pour cela nous avons regroupé les individus en classe d'âge d'un pas de temps de 10 ans. Les cacaoyers de la première classe d'âge sont significativement moins productifs que ceux des classes d'âges suivantes. Puis les individus des classes d'âges 2 et 3 ont rendements potentiels équivalents, et sont moins productifs que ceux des classes de la sixième classe d'âge. Les individus de la 7^{ème} classe d'âge présentent un rendement potentiel individuel significativement supérieur à ceux de toutes les autres classes d'âges. Nous pouvons résumer ces informations de la sorte :

$$7 > 6 > 5-4 > 3-2 > 1.$$

Ainsi, au long de sa vie, au delà de l'improductivité physiologique des jeunes cacaoyers, nous ne visualisons pas de diminution de la productivité des cacaoyers, et ce probablement grâce aux phénomènes de régénération.

Discussion sur les types

Les types architecturaux identifiés lors des travaux précédents vont permettre de préciser l'analyse de l'élaboration du rendement. Lors de l'analyse nous nous intéressons uniquement aux types 1 à 6 car les types 7 à 9 sont trop faiblement représentés pour fournir des résultats fiables. Pour les mêmes raisons nous considérons uniquement les types non régénérés. Afin de réduire la variabilité, ces analyses sont menées avec l'ensemble des individus de la seconde chronoséquence âgé de 10 à 20 ans.

Une ANOVA nous a permis de s'assurer que la productivité potentielle individuelle est significativement différente suivant les types architecturaux. Le test de Tukey présenté en Figure 37 permet de visualiser les écarts de rendement potentiel entre les différents types. Il apparaît tout d'abord que les types 3, 4 et 5 ont des rendements potentiels individuels équivalents et supérieurs à chacun des autres types. D'autre part, les types 1 et 6 peuvent être regroupés dans un même groupe dont le rendement est inférieur à chacun des autres types. Le type 2 est intermédiaire : il est significativement plus productif que le groupe formé par les types 1 et 6 mais moins productif que le groupe des types 3, 4 et 5. Nous pouvons résumer ces résultats comme ceci :

$$1, 6 < 2 < 3, 4, 5$$

Ceci confirme les résultats de l'ACP présentée précédemment. Nous avons réalisé une matrice des corrélations entre les caractéristiques architecturales des cacaoyers et leurs productivités potentielles pour chacun des 6 types étudiés ici (Annexe 13). Ce sont les déterminants des surfaces terrières qui varient selon les types. Concernant les types 1, 2 et 3 les hauteurs sont déterminantes, mais pour les types 4 et 5 le nombre de tronc influe de manière importante sur la surface terrière globale et donc sur les productivités potentielles.

Effet de la régénération

Nous souhaitons comparer les rendements des types « initiaux » et celles des types dits « régénérés ». Pour chacun des types nous avons sélectionné un nombre équivalent de cacaoyers de types régénérés et non régénérés de manière à avoir une même distribution à la fois en âge, en surface terrière et en hauteur. Observons les résultats sur la

Figure 38. Les rendements potentiels individuels entre les individus de mêmes types régénérés ou non ne peuvent pas être considérés significativement différents à partir des données disponibles.

Les densités individuelles

Nous avons définis 10 classes de densités individuelles de manière à ce qu'elles soient d'effectifs constants et que la distribution des âges au sein de chacune des classes soit similaire. Nous observons globalement une diminution des surfaces terrières avec l'augmentation des densités individuelles (Figure 39) et en parallèle une augmentation des hauteurs (Figure 40). Ces effets sont révélés significatifs par le test de Kruskal-Wallis.

Mode de plantation

Nous avons sélectionné de manière aléatoire un échantillon de cacaoyers plantés en « mode simple » de même taille et de même composition en âge que l'échantillon comprenant les cacaoyers plantés en « mode multiple ». L'objectif est de tester l'effet de ce genre de pratiques sur le rendement potentiel des individus. La productivité individuelle des cacaoyers implantés en mode simple est significativement supérieure à celle des cacaoyers plantés de manière multiple dans un même trou ($p\text{-value} < 2.2e-16$ _alternative hypothesis: true location shift is greater than 0). Cette baisse de la productivité est due à l'effet négatif de la pratique d'implantation multiple sur l'accroissement des surfaces terrières (voir Figure 41) Ceci met en évidence les phénomènes de compétition pouvant intervenir lors du développement de deux individus dans le même trou de plantation.

I. Les structures des peuplements

Les analyses descriptives ont permis de mettre en évidence les principales différences de structure entre les zones. Dans les cacaoyères de la zone forestière de Ngomedzap la diversité spécifique est plus élevée, les représentants des essences forestières sont de surface terrière très importante, mais les espèces fruitières sont de diamètre moindre. Les peuplements de cacaoyers y sont plus bas et de surface terrière moindre. C'est à Bokito que les espèces associées aux cacaoyers sont les plus petites et les cacaoyers y sont les plus hauts. Zima est une zone intermédiaire entre les deux autres en terme de structure de peuplement et les rendements potentiels en cacao y sont les plus importants. La forme de l'évolution des courbes de rendements sont similaires sur les zones : la première chronoséquence est non productive et les rendements des chronoséquences suivantes peuvent être considérés constants. Il en est de même pour les densités de plantation en cacaoyers.

Cependant il est important de noter que des contradictions avec des travaux précédents effectués sur les mêmes zones d'étude (Messie Anicet, 2007) sont apparues quant aux peuplements des associées. Il semblerait que les placettes d'observations soient non représentatives de la diversité des peuplements associés (tailles insuffisante pour capter la variabilité ou disposition biaisée).

II. Schéma conceptuel de l'élaboration du rendement cacaoyer

1. Les composantes du rendement à l'échelle de la parcelle

Les informations apportées par l'ACP et le modèle ont permis de réaliser le schéma de l'élaboration du rendement cacaoyer à l'échelle de la parcelle dans des systèmes complexes (Figure 42). Il permet de visualiser le double effet des densités de plantation en cacaoyers qui influent de manière négative sur la production par arbre mais participent à la construction du rendement de la parcelle. L'ACP a aussi révélé l'influence négative des densités de plantation des espèces associées sur les caractéristiques du peuplement cacaoyer, mais aucun effet direct des variables descriptives du peuplement associé n'y a été mis en évidence. Ceci suppose que l'effet des espèces associées sur les variables descriptives du peuplement cacaoyer est non linéaire. En effet, lors de l'élaboration du modèle nous avons constaté un meilleur ajustement aux valeurs observées après intégration de l'interaction des densités, surfaces terrières individuelles et hauteurs moyennes des associées avec les surfaces terrières moyennes individuelles des cacaoyers. Plus particulièrement, ces travaux ont révélé l'indépendance entre les surfaces terrières du peuplement associé et celles du peuplement de cacaoyers.

2. Les facteurs influençant la production par arbre

Les travaux à l'échelle de l'individu ont permis d'affiner les relations présentées précédemment. À cette échelle les variables déterminantes de la production de l'arbre sont les hauteurs et les surfaces terrières individuelles (Figure 43).

Nous avons pu préciser l'effet de certaines pratiques culturales sur les caractéristiques morphologiques des cacaoyers. Dans nos régions d'étude le matériel végétal présent dans les parcelles est très variable, en partie en raison de la disparition de structures d'encadrement technique de la cacaoculture dans les années 90. Or nous prouvons l'influence significative du matériel végétal sur les deux variables essentielles du rendement cacaoyers. Les densités individuelles de plantation élevées et les plantations doubles ont un effet négatif important sur l'accroissement des surfaces terrières, tout en favorisant le développement orthotrope de l'individu. Nous avons vu que les types architecturaux fournissent des nombres de cabosses significativement différents en raison de leur morphologies respectives : les différences principales sont les hauteurs, avec le type 1 plus petits que les autres qui le rend moins productif, et le nombre de troncs qui va influencer sur la surface terrière de l'individu. Les

types à plusieurs troncs présentent de plus grandes capacités à fournir des rendements élevés, mais au-delà de 4 troncs l'effort d'entretien du matériel végétatif fourni limite la production de cabosses. Enfin, l'effet de l'ombrage sur les hauteurs et surfaces terrières se révèle négatif. L'influence de la matière organique du sol sur la morphologie des cacaoyers n'a pu être révélée. Nous pouvons penser que cette variable n'agit pas directement sur le développement de l'individu mais sur le niveau d'infection parasitaire, en effet certaines maladies sont favorisées par de hautes teneurs en MO du sol.

III. Regard sur l'évaluation

1. Tentative de validation de la MDC

Pour la majorité des planteurs la répartition des cailloux se fait bien par rapport à la parcelle étudiée et non à l'usage des produits de l'ensemble de l'exploitation puisque plusieurs planteurs minimisent l'importance accordée à une espèce lorsqu'elle est représentée à l'extérieur du carreau par des individus plus productifs. Une haute importance peut traduire des usages importants au présent ou des « investissements » pour l'avenir. L'application de la méthode de distribution des cailloux a permis de préciser la nature de l'importance accordée aux espèces et de confirmer qu'elle ne dépend pas uniquement des sommes rapportées.

Nous avons tenté de valider la méthode de distribution des cailloux par comparaison avec les productions estimées par les planteurs. Cependant la diversité des unités d'expression des productions par les planteurs (voir Tableau 8) a empêché leur uniformisation. Nous avons donc effectué ce travail avec le rendement potentiel en cacao. La mise en relation de l'importance attribuée à la vente de cacao et du rendement potentiel de la parcelle donne un nuage de points sur lequel on peut distinguer 3 groupes (Figure 44) :

- les parcelles pour lesquelles l'importance du cacao est inférieure à 50% et les rendements potentiels inférieurs à 12 500 kg de cabosses par hectares ;
- les parcelles pour lesquelles l'importance est surestimée par rapport au rendement potentiel sont toutes de jeunes parcelles
- les parcelles pour lesquelles l'importance attribuée est faible mais le rendement élevé correspondent à des parcelles appartenant à des planteurs en possédant plusieurs.

À Bokito, les 5 espèces les plus appréciées par les planteurs sont les plus abondantes sur la zone. Ceci ne se retrouve pas à Zima et Ngomedzap où des espèces forestières indigènes sont parmi les 5 plus abondantes mais ne figure pas parmi les préférées des planteurs. Il s'agit du fraké pour Zima et du bété et du tomo pour Ngomedzap.

2. Proposition de protocoles pour l'évaluation des performances des systèmes de culture

Puisque les relevés de production de l'ensemble des espèces présentes dans les placettes ne pouvaient se faire aux dates du stage nous nous contenterons de proposer des protocoles permettant l'évaluation des performances de ces systèmes de culture. Cette évaluation doit se faire sur une année entière afin de tenir compte de l'ensemble des productions. L'idée est d'obtenir une quantification de chacun des usages que l'on transformera en note afin de pouvoir les intégrer pour chacune des espèces, puis d'intégrer les notes obtenues pour les différentes espèces à l'échelle de la parcelle et/ou de l'exploitation. Ainsi cette note retranscrira le degré d'atteinte des objectifs fixés par le planteur. Pour cela nous avons identifié les 10 espèces les plus considérées pour chacun des usages (Figure 45), elles doivent faire l'objet d'une attention particulière lors de la quantification des usages.

Les espèces vendues et consommées par le ménage

Les espèces consommées et vendues sont globalement les mêmes. Seuls l'andok (« mangue sauvage ») et le njangsang ont une importance considérable pour l'alimentation familiale car elles servent à la réalisation de sauces et ne sont que rarement vendues. En contre partie le cacao et les citrons sont principalement vendus et rarement consommés. Nous proposons donc un protocole commun pour ces deux fonctions. Nous avons vu que la principale difficulté à l'évaluation de

productions si diverses est la nature des unités employées par les planteurs pour exprimer les productions. L'idée est donc d'équiper les ménages de quelques « planteurs clefs » du réseau de balances afin qu'ils puissent, le long d'une année effectuer des pesées des productions sortantes des parcelles.

Les espèces utilisées pour leurs bois

Les principales espèces utilisées pour le bois d'œuvre et de coffrage sont l'iroko, le bété, le fraké et le makoré. L'évaluation des revenus issus de leur vente est aisée avec l'utilisation de tarifs de cubages (voir Messie Anicet, 2007). Mais il est nécessaire en plus du relevé du volume abattu de mettre en évidence les causes de l'abatage de l'arbre avec le planteur. Est-ce pour améliorer la structuration de l'espace, par nécessité d'un revenu financier important, ou pour d'autres raisons encore ? Concernant le volume de bois de chauffe utilisé ce relevé doit se faire à l'aide des femmes, qui sont souvent chargées de sa récolte avec l'aide des enfants. Nous pouvons imaginer le fardeau comme unité.

Les espèces de la pharmacopée

Concernant l'utilisation de la pharmacopée, une évaluation monétaire est impossible, car ces produits ne sont que très rarement vendus. En effet, il est largement toléré qu'un individu puisse aller se servir d'une feuille/écorce présente dans une parcelle d'un voisin. De plus nous ne pouvons quantifier les remèdes par le coût qu'aurait un traitement équivalent en médecine « conventionnelle » car (i) les maladies soignées par la pharmacopée sont rarement clairement identifiées (ii) un planteur n'ayant pas accès à une forme de médecine traditionnelle n'ira pas forcément pour autant dans un dispensaire ou un hôpital.

Les espèces améliorant l'habitat du cacaoyer

Les espèces appréciées à la fois pour l'ombrage qu'elles fournissent et leur capacité à améliorer la fertilité du sol sont ; figuiers, irokos, avocatiers, manguiers, atom et akol. Il peut être intéressant de faire des relevés de teneur en matière organique du sol afin de confirmer les dires des planteurs quant à l'effet bénéfiques de ces espèces. Concernant l'ombrage des mesures au densiomètre ou grâce à des photographies hémisphériques sur des individus de différents âges/tailles peuvent être intéressant pour caractériser l'ombrage des essences appréciées par les planteurs.

CONCLUSION

L'objectif premier de ce stage était de contribuer à la mise au point d'une méthode d'évaluation des systèmes agroforestiers complexes telles que les cacaoyères du Centre Cameroun. L'étude de leur structure et de leur fonctionnement est un préalable indispensable au diagnostic. Ainsi ce travail a tout d'abord permis de caractériser de manière générale la structure des SAFC du Centre-Cameroun et d'identifier les différences principales entre les trois zones d'études. Ce travail a amélioré l'état des connaissances du fonctionnement des SAFC grâce à l'analyse de l'élaboration du rendement des peuplements de cacaoyers en situation agroforestière. Et a aussi contribué à la compréhension des relations entre les différentes échelles.

À l'échelle de la parcelle la méthode de distribution des cailloux a permis de révéler objectifs visés par les exploitants. Bien que les objectifs de production (et particulièrement celui de consommation) soient primordiaux, l'utilisation de bois d'œuvre et de chauffe et l'amélioration de l'habitat des cacaoyers occupent une place non négligeable dans les fonctions qu'ils souhaitent voir accomplies. Ces informations doivent orienter l'évaluation des systèmes de manière à tenir compte explicitement des attentes qu'ont les planteurs de leurs cacaoyères. Pour cela nous avons proposé une série de protocoles permettant la quantification des principaux usages, dont les résultats pourront être intégrés à l'échelle de la parcelle et de l'exploitation.

À l'échelle de la composante cacaoyère les données analysées ont amené la construction d'un schéma conceptuel de l'élaboration du rendement cacaoyer. Un modèle linéaire généralisé a été établi et permet une assez bonne prédiction des rendements parcellaires avec $R^2=0,77$, ce qui est acceptable à la vue de l'hétérogénéité de ces systèmes. Ces travaux ont amené une meilleure compréhension des interactions existantes entre le peuplement des espèces associées et celui de la population de cacaoyers. Nous avons relevé l'effet important de la densité des espèces associées sur les variables morphologiques des cacaoyers.

Les travaux à l'échelle individuelle ont permis d'affiner les résultats précédents et de s'intéresser plus spécifiquement à certains éléments des pratiques culturales. En particulier nous avons caractérisé l'influence des choix de taille sur les caractéristiques morphologiques essentielles. Les types architecturaux à tronc unique (1, 2 et 6) apparaissent moins productifs que les autres, mais un nombre de tronc supérieur à 4 semble nuire à la production de l'arbre.

Cependant, ces analyses ont été menées avec les données relatives à une unique année, elles n'intègrent donc aucunement l'effet de la variabilité climatique interannuelle. De plus l'effet du climat n'a pas été pris en compte, il doit pourtant expliquer une grande partie des différences entre régions mais aussi permettre de préciser certaines relations.

Rappelons qu'au Cameroun 400 000 ménages vivent directement des produits issus des cacaoyères (Jagoret et Nyassé 2004). En plus de diminuer les risques socio-économiques encourus par l'ensemble des acteurs de la filière, les SAFC représentent un mode de gestion du territoire pouvant minimiser l'impact des cultures sur l'environnement et gérés de manière durable, ils peuvent fournir de nombreux services écologiques (amélioration ou maintien de la fertilité des sols, fixation de CO₂, lutte contre érosion, Beer *et al.* 1998). De plus un intérêt international s'est porté sur leur utilité pour le maintien de la biodiversité dans les zones forestières humides (Beer *et al.* 1998, Goda Spron 2007, Oke et Odebiyi 2007). Ces caractéristiques justifient le développement des connaissances sur le fonctionnement de ces systèmes complexes mais aussi la nécessité de mettre au point des outils permettant d'évaluer les bénéfices écologiques qu'ils apportent.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Anon 2001 – Programme cacao et café Robusta. Ateliers de concertation avec les opérateurs économiques sur les politiques agricoles. Janvier 2001. Yaoundé, Cameroun, Ministère de l'Agriculture, 23 p.
- Arnold E., Mejía L.C., Kylo D., Rojas I., Maynard Z., Robbins N. et Herre A. 2003 – Fungal endophytes limit pathogen damage in a tropical tree. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2003 December 23; 100(26): 15649–15654.
- Beer J., Muschler R., Kass D. et Somarriba E. 1998 – Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems* 38: 139–164.
- Betti, J. L., 2001 – Usages traditionnels et vulnérabilité des plantes médicinales dans la réserve de biosphère du Dja, Cameroun. Thèse de Doctorat, Université Libre de Bruxelles. Belgique.
- Bos M., Ingolf S.D., Tschamtké T. 2007 – Shade tree management affects fruit abortion, insect pests and pathogens of cacao. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 120 (2007) 201–205
- Braudeau J. 1969 – Le cacaoyer. Techniques agricoles et productions tropicales. éd G.P. Maisonneuve et Larose.
- Donald F.P. 2004 – Biodiversity impact of some agricultural commodity production systems. *Conservation Biology.* Vol 28 n°1 : 17–37.
- Doré T., Sebillotte M. et Meynard J. M. 1997 – A Diagnostic Method for Assessing Regional Variations in Crop Yield. *Agricultural Systems*, Vol. 54, No. 2, pp. 169–188
- Doré T., Clermont-Dauphin C., Crozat Y., David C., Jeuffroy M.H., Loyce C., Makowski D., Malézieux E., Meynard J.M., Valantin-Morison M. 2008 – Methodological progress in on-farm regional agronomic diagnosis. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 28
- Duguma B., Gockowski J. et Bakala J. 2001 – Smallholder Cacao (*Theobroma cacao* Linn.) cultivation in agroforestry systems of West and Central Africa: challenges and opportunities. *Agroforestry Systems* 51: 177–188, 2001.
- Frontier S., Pichot-Viade D., 1998 – Ecosystèmes : structure, fonctionnement et évolution. Paris, France, Dunod, 447p.
- Goda Sporn S., Merijn M., Robbert Gradstein S. 2007 – Is productivity of cacao impeded by epiphytes? An experimental approach. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 122 (2007) 490–493
- Gourlet-Fleury S. 1998 – Indices de compétition en forêt dense tropicale humide : étude de cas sur le dispositif sylvicole expérimental de Paracou (Guyane française). *Ann. Sci. For.* 55(1998) 623–654
- Isaac M. E., Timmer V. R. et Quashie-Sam S. J. 2007 – Shade tree effects in an 8-year-old cocoa agroforestry system: biomass and nutrient diagnosis of *Theobroma cacao* by vector analysis. *Nutr Cycl Agroecosyst* (2007) 78:155–165

- Jagoret P., Nyassé S. 2004 – Intensification raisonnée du verger de cacaoyers Camerounais par l'identification de systems de production compétitifs et durables. Rapport annuel scientifique et technique 2003 IRAD/CIRAD, Projet « Mise au point de systèmes de cacao-culture compétitif et durable en Afrique » FSP 2000-137
- Jagoret P., Bikay S. 2006 Caractérisation et analyse du fonctionnement des systèmes de cacao-culture plurispécifiques du centre Cameroun. Rapport scientifique, point d'étape septembre 2006. ATP CARESYS
- Jeffery W. B., Boa E. et Stonehouse J. 2004 – Neighbor Trees: Shade, Intercropping, and Cacao in Ecuador. *Human Ecology*, Vol. 32, No. 2, April 2004
- Lachenaud P., Paulin D., Ducamp M., Thevenin J.M. 2007. Twenty years of agronomic evaluation of wild cocoa trees (*Theobroma cacao* L.) from French Guiana. *Scientia Horticulturae* 113 (2007) 313–321
- Malézieux E., Crozat Y., Dupraz C., Laurans M., Makowski D., Ozier-Lafontaine H., Rapidel B., de Tourdonnet S. Valantin-Morisson M. 2008. Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. A review. *Agronomy for sustainable development* 28 (2008). EDP Sciences, 2008. DOI : 10.1051/agro :2007057
- Messie Anicet C. – Caractérisation de la richesse floristique en fonction de l'âge des agroforêts à base de cacaoyers du bassin du Centre Cameroun : cas de Bokito, Obala et Ngomedzap. Mémoire du diplôme d'Ingénieur de Conception des Eaux, Forêts et Chasse. Dschang, Cameroun, Faculté d'Agronomie et des Sciences Agricoles, Département de Foresterie, 96 p.
- Nair P.K.R. 1993 – An introduction to Agroforestry. ISBN 0-7923-2135-0. Kluwer Academic Publishers.
- Oke D.O. et Odebiyi K.A., 2007 – Traditional cocoa-based agroforestry and forest species conservation in Ondo State, Nigeria. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 122 (2007) 305–311
- Santoir C., Bopda A., 1995 – Atlas régional Sud-Cameroun. Paris, France, Editions de l'Orstom, 53 p.
- Sheil D., Puri K.J., Basuki J.M., Van Heist M., Wan M., Liswanti N., Rukmiyati, Agung Sardjono M., Samsuudin I., Sidiyasa K., Chrisandini, Permana E., Mangopo Angi E., Gatzweiler F., Johnson B. et Wijaya A. 2004 – A la découverte de la biodiversité, de l'environnement et des perspectives des populations locales dans les paysages forestiers : méthodes pour une étude pluridisciplinaire du paysage. ISBN 979-3361-28-X. Publié par Center for International Forestry Research
- Sonwa D.J., Weise S.F., Tchatat M., Nkongmeneck B.A., Adesina A.A., Ndoye O., Gockowski J. 2000 – Les Agroforêts Cacao: Espace Intégrant Développement de la Culture du Cacao, Gestion et Conservation des Ressources Forestières au Sud-Cameroun. Deuxieme Colloque Pan-African Sur L'Utilisation Durable Des Ressources Naturelles en Afrique: Ouagadougou, Burkina Faso.
- Sonwa D.J., Weise S.F., Tchatat M., Nkongmeneck B., Adesina A., Ndoye O. et Gockowski J. 2001 – Rôle des agroforêts cacao dans la foresterie paysanne et communautaire au Sud-Cameroun. Document du Réseau de Foresterie pour le Développement Rural

- Sonwa D.J, Nkongmeneck B.A., Weise S.F., Tchatat M., Adesina A., Janssens M.J.J., 2007 – Diversity of plants in cocoa agroforests in the humid forest zone of Southern Cameroon. *Biodivers Conserv* 16:2385–2400
- Torquebiau E. 2000 – A renewed perspective on agroforestry concepts and classification. *C.R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la vie / Life Sciences* 323 (2000) 1009–1017
- Torquebiau E. 2007 – L'agroforesterie, des arbres et des champs. ISBN 978-2-296-03434-1. Ed L'Harmattan.
- Wagler C. 2007 – Comparaison de méthodes de description de la structure végétale de parcelles agroforestières à base de café, et évaluation des performances de ces parcelles. Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur en agronomie générale. Paris. France. AgroParisTech. 125p
- Withrow-Robinson B.A., Hibbs D.E. 2004 – Testing an ecologically based classification tool on fruit-based agroforestry in northern Thailand. *Agroforestry System* 65:123-135
- Zuidema P.A., Leffelaar P.A., Gerritsma W., Mommer L., Anten N. 2005 – A physiological production model for cocoa (*Theobroma cacao*): model presentation, validation and application. *Agricultural Systems* 84 (2005) 195–225

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

Figure 1 : Localisation du dispositif de recherche établi dans la province du Centre, Cameroun.....	33
Figure 2: Positionnement des relevés d'ombrage au densiomètre au sein des placettes.....	34
Figure 3 : Relevé au densiomètre.....	34
Figure 4: Grille du densiomètre et subdivisions.....	34
Figure 5: Poids moyen d'une cabosse sur les différentes zones (2003 et 2004), source : Régis Babin.....	34
Figure 6 : Relations considérées lors de l'analyse et niveaux d'organisation.....	35
Figure 7: Paramètres d'analyse des résultats de la MDC (ISG _i : Importance Spécifique Globale de l'espèce i, IF _j : Importance de la Fonction j).....	36
Figure 8: Distribution des noix de palmistes en parcelle (cliché : Blanchard).....	36
Figure 9 : Le critère de Cattell. a. 1 axe, b. 2 axes. Source : Sovan Lek.....	36
Figure 10: Évolution de l'indice de Shannon-Weaver selon les chronoséquences.....	38
Figure 11 : Évolution des densités de plantation, en cacaoyers à gauche, en espèces associées à droite.....	38
Figure 12: Relations entre densité en cacaoyer et en espèces ligneuses associées.....	39
Figure 13 : Évolution de la contribution des surfaces terrières en cacaoyers et en espèces associées.....	39
Figure 14: Évolution des hauteurs (à gauche) et des surfaces terrières (à droite) des espèces associées.....	39
Figure 15 : Hauteurs moyenne (à g) et surfaces terrières (à dr) pour les cacaoyers.....	40
Figure 16: Comparaison des rendements potentiels des trois zones.....	40
Figure 17 : Pourcentage d'arbres improductifs sur les différentes chronoséquences.....	40
Figure 18 : Test de Tukey sur la proportion d'arbres improductifs par chronoséquences.....	40
Figure 19 : Boîtes de dispersion des âges suivant les différentes chronoséquences.....	41
Figure 20 : Comparaison des fréquences de plantation multiple entre les trois zones.....	41
Figure 21 : Anova, test de l'effet du planteur sur le choix du mode de plantation.....	41
Figure 22 : Distribution des types non régénérés selon les zones et les chronoséquences.....	42
Figure 23 : Hétérogénéité des caractéristiques bio-morphologiques du peuplement de cacaoyers.....	42
Figure 24: Dispersion des densités individuelles au sein des parcelles.....	42
Figure 25: Hétérogénéité des espèces associées (à gauche les surfaces terrières, à droite les hauteurs).....	42
Figure 26: Profils fonctionnels moyens des trois zones.....	43
Figure 27: Hiérarchie des espèces.....	43
Figure 28 : ACP des composantes du rendement cacaoyer à l'échelle de la parcelle.....	44
Figure 29 : $Rdt\ moy, ind\ (kg/ind) = 4,3142 * \ln(G\ cac\ moy) + 29,16$	45
Figure 30 : $G\ cac\ moy = 0,0088 * \ln(Haut\ cac\ moy) + 0,0031$	45
Figure 31 : $Haut\ moy = 1,154 * Age\ moy^{0,2759}$	45
Figure 32: ACP des espèces associées.....	46
Figure 33 : Résultats du modèle sur le rendement global des parcelles et régression des valeurs prédites.....	47
Figure 34: Résultats de l'ACM.....	48
Figure 35 : ACM sur l'effet de l'ombrage (a.) sur les surfaces terrières (b.) et les hauteurs (c.).....	49
Figure 36 : Influence de l'âge sur le rendement potentiel individuel. A droite : test de Tukey HSD avec intervalle de confiance.....	49
Figure 37 : Résultats de l'ANOVA sur les rendements potentiels par types et test de Tukey.....	49
Figure 38 : Comparaison des rendements de types régénérés avec leurs équivalents.....	50
Figure 39: Effet des densités individuelles sur les surfaces terrières.....	50
Figure 40: Effet des densités individuelles sur les hauteurs.....	51
Figure 41 : Comparaison des surfaces terrières d'individus en mode simple ou en mode multiple à âges égaux.....	51
Figure 42: Schéma conceptuel de l'élaboration du rendement cacaoyer à l'échelle de la parcelle.....	52
Figure 43 : Schéma conceptuel de l'élaboration du rendement à l'échelle de l'individu.....	53
Figure 44 : Relation entre l'importance attribuée à la vente de cacao et le rendement potentiel de la parcelle.....	54
Figure 45 : Hiérarchie des espèces pour chacun des usages.....	54

<i>Tableau 1: Critères de choix des parcelles suivies</i>	<i>33</i>
<i>Tableau 2 : Récapitulatif des variables descriptives des peuplements et abréviations.....</i>	<i>37</i>
<i>Tableau 3: Indices de similarité de Sorrensen</i>	<i>38</i>
<i>Tableau 4 : Pourcentage des espèces fruitières/forestière et des espèces introduites/conservée dans les cacaoyères.....</i>	<i>38</i>
<i>Tableau 5 : Fréquence des 5 espèces dominantes de chacune des régions</i>	<i>38</i>
<i>Tableau 6 : Espèces contribuant le plus aux revenus issus des parcelles de chacune des zones.....</i>	<i>43</i>
<i>Tableau 7: Comparaison des rendements globaux et individuels entre les parcelles de haute et basse densité (exprimé en kg de cabosse).....</i>	<i>47</i>
<i>Tableau 8 : Unités d'expression des productions des principales espèces.....</i>	<i>54</i>

LISTE DES ANNEXES

<i>Annexe 1 : Notions de base en agronomie du cacaoyer.....</i>	<i>55</i>
<i>Annexe 2 : Caractéristiques des trois zones d'études du Centre-Cameroun (d'après Santoir et Bopda, 1995).....</i>	<i>56</i>
<i>Annexe 3 : Données et critères d'échantillonnage.....</i>	<i>57</i>
<i>Annexe 4 : Exemple de plan parcellaire.....</i>	<i>58</i>
<i>Annexe 5 : Les cabosses des différents groupes génétiques rencontrés sur le réseau d'expérimentation.....</i>	<i>59</i>
<i>Annexe 6 : Présentation des types architecturaux retenus (source : Patrick Jagoret)</i>	<i>60</i>
<i>Annexe 7 : Évolution des surfaces terrières des principales espèces associées pour chacune des zones.....</i>	<i>61</i>
<i>Annexe 8 : Diversité parcellaire.....</i>	<i>62</i>
<i>Annexe 9 : Importances accordées aux fonctions</i>	<i>63</i>
<i>Annexe 10: Importances relatives des revenus issus des production en pourcentage (%).....</i>	<i>65</i>
<i>Annexe 11: Importances et usages des différentes espèces.....</i>	<i>67</i>
<i>Annexe 12: Matrice des corrélations entre caractéristiques du peuplement cacaoyer et rendement potentiel ..</i>	<i>70</i>
<i>Annexe 13: Matrice des corrélations pour chacun des types architecturaux.....</i>	<i>71</i>
<i>Annexe 14: Matrice des corrélations entre caractéristiques des peuplements associés et cacaoyers.....</i>	<i>71</i>
<i>Annexe 15: Taux de mortalité</i>	<i>72</i>
<i>Annexe 16: Les types architecturaux.....</i>	<i>73</i>

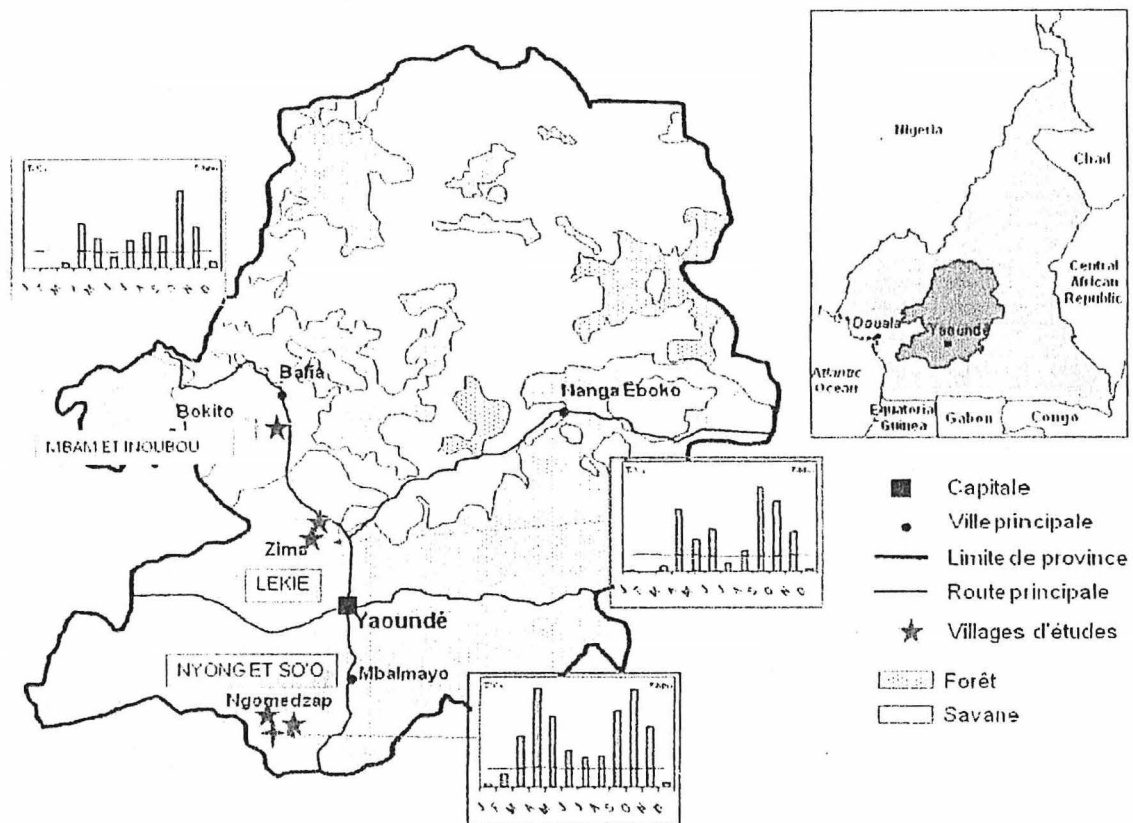


Figure 1 : Localisation du dispositif de recherche établi dans la province du Centre, Cameroun

Niveau d'organisation	Caractéristiques
Villages	<p>Enquêtés en 2003 (nombreuses données disponibles)</p> <p>Systèmes de cacaoculture représentatifs de la diversité de la zone d'étude</p> <p>Zones homogènes du point de vue foncier</p> <p>Possibilité de regrouper le dispositif de recherche.</p>
Exploitants	<p>Producteurs de cacao</p> <p>Volontaires</p> <p>Disposant d'une ou de plusieurs cacaoyères à moins de 30 minutes de marche</p>
Parcelles	<p>Cacaoyères « entretenues » (récoltées et non définitivement abandonnées)</p> <p>Non marquées par un accident de parcours majeur</p>

Tableau 1: Critères de choix des parcelles suivies

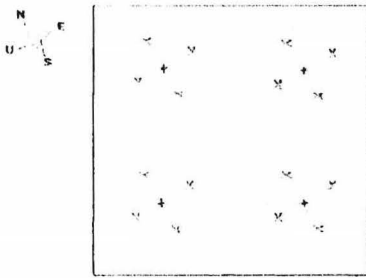


Figure 2: Positionnement des relevés d'ombrage au densiomètre au sein des placettes

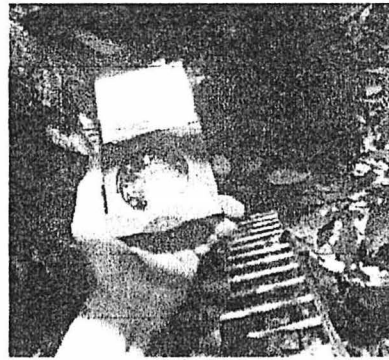


Figure 3 : Relevé au densiomètre

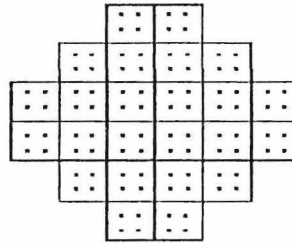


Figure 4: Grille du densiomètre et subdivisions

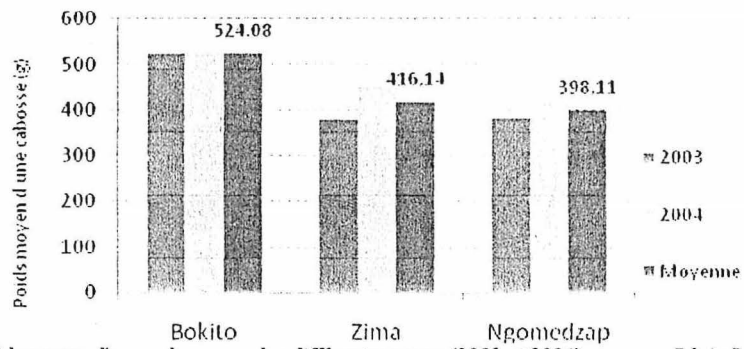


Figure 5: Poids moyen d'une cabosse sur les différentes zones (2003 et 2004), source : Régis Babin

	fonction y1 Conso	fonction y2 Vente	fonction yj Autre
Espèce x1	I_{x_1, y_1}						
Espèce x2							
...							
Espèce xi							I_{x_i, y_j}

$$ISG_i = \sum_{j=1}^{n=j} I_{x_i, y_j}$$

$$IF_j = \sum_{i=1}^{n=i} I_{x_i, y_j}$$

Profil fonctionnel de la cacaoyère

Figure 7: Paramètres d'analyse des résultats de la MDC (ISG_i : Importance Spécifique Globale de l'espèce i, IF_j : Importance de la Fonction j)

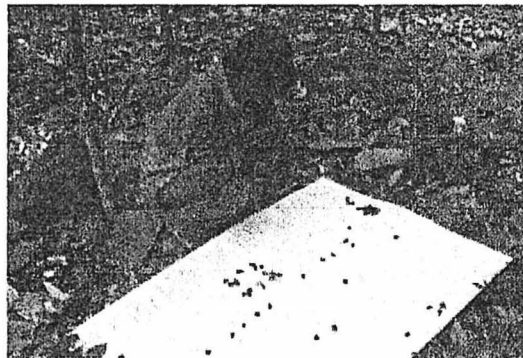


Figure 8: Distribution des noix de palmistes en parcelle (cliché: Blanchard)

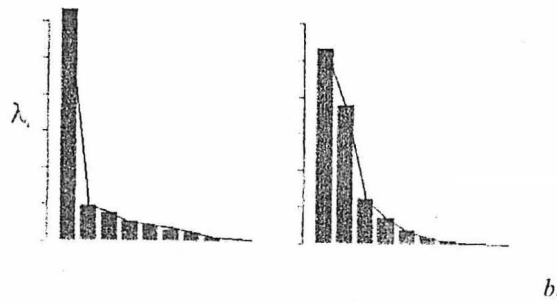


Figure 9: Le critère de Cattell. a. 1 axe, b. 2 axes. Source: Sovan Lek

Variable	Échelle			
	Parcelle		Individu	
Hauteur	Hcac,moy	Hauteur moyenne des cacaoyers	Hcac	Hauteur individuelle
	Hsac,moy	Hauteur moyenne des associées		
Surface terrière	Gcac,moy	Surface terrière moyenne des cacaoyers de la parcelle	Gcac	Surface terrière individuelle d'un cacaoyer
	Gcac,tot	$\sum Gcac$		
	Gsac,moy	Surface terrière moyenne des associées de la parcelle	Gsac	Surface terrière individuelle d'une associées
	Gsac,tot	$\sum Gsac$		
Gglo	$\sum (Gcac,tot ; Gsac,tot)$			
Densité de plantation	Denscac	Densité de plantation en cacaoyer	Densind	Densité de plantation individuelle
	Denssac	Densité de plantation en associée		
Production	Rdtha	Rendement à l'hectare	Rdtmoy,ind	Production par arbre
Âge	Agecac,moy	âge moyen des cacaoyers	Agecac	Âge d'un individu

Tableau 2 : Récapitulatif des variables descriptives des peuplements et abréviations

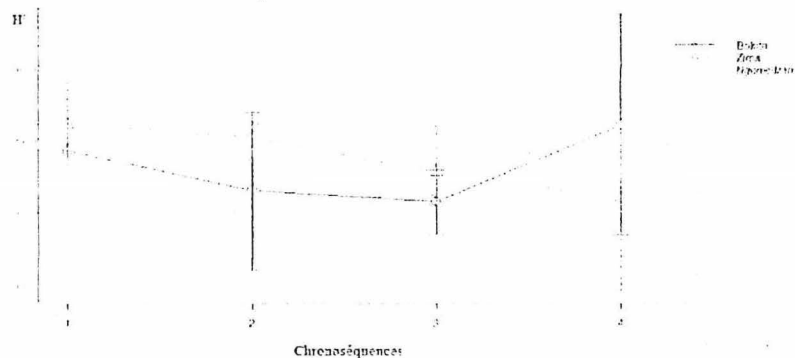


Figure 10: Évolution de l'indice de Shannon-Weaver selon les chronoséquences

	Nombre d'esp communes	K de Sorrensen	Bokito	Zima	Ngomedzap
Bokito – Zima	20	0,31	Esp. conservées	18,87	53,22
Bokito – Ngomedzap	26	0,29	Esp. introduites	81,13	46,78
Zima – Ngomedzap	29	0,32	Esp. fruitières	83,96	43,34
			Esp. forestières	16,04	56,66

Tableau 3: Indices de similarité de Sorrensen

Tableau 4 : Pourcentage des espèces fruitières/forestière et des espèces introduites/conservée dans les cacaoyères

Bokito		Zima		Ngomedzap	
Palmier	30,59	Avocatier	24,26	Safoutier	12,32
Oranger	20,46	Safoutier	12,87	Fraké	9,11
Safoutier	12,45	Bété	8,42	Avocatier	7,88
Avocatier	6,75	Iroko	5,94	Palmier	5,42
Mandarinier	5,91	Oranger	5,94	Tombo	4,19

Tableau 5 : Fréquence des 5 espèces dominantes de chacune des régions

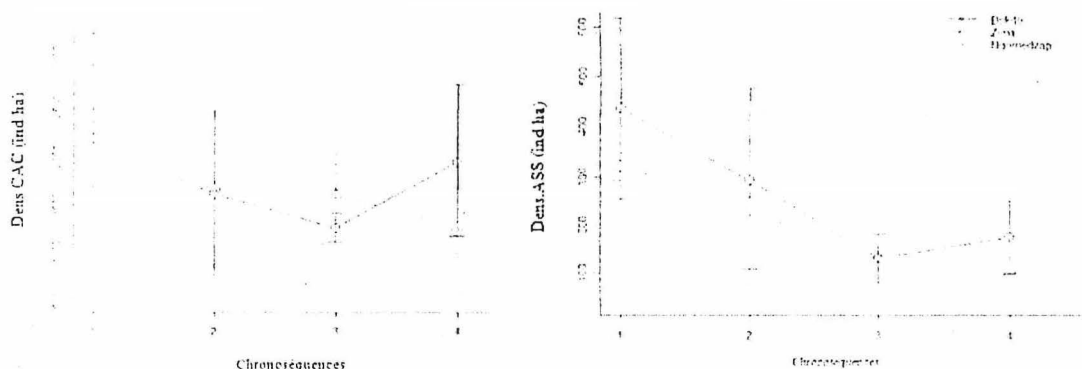


Figure 11 : Évolution des densités de plantation, en cacaoyers à gauche, en espèces associées à droite

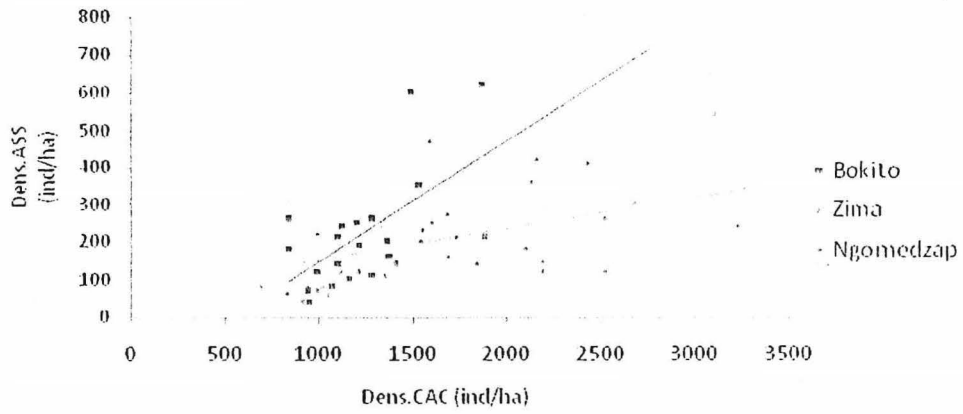


Figure 12: Relations entre densité en cacaoyer et en espèces ligneuses associées

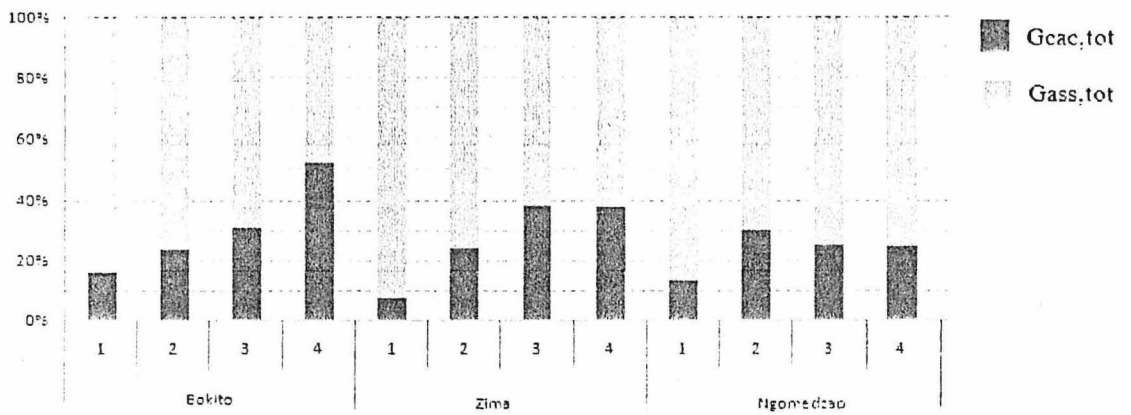


Figure 13 : Évolution de la contribution des surfaces terrières en cacaoyers et en espèces associées



Figure 14: Évolution des hauteurs (à gauche) et des surfaces terrières (à droite) des espèces associées

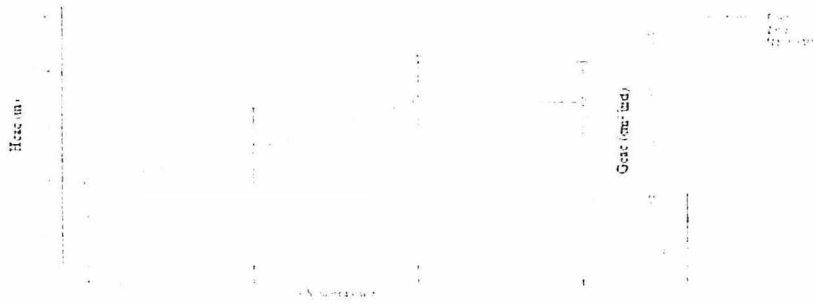


Figure 15 : Hauteurs moyenne (à g) et surfaces terrières (à dr) pour les cacoyers

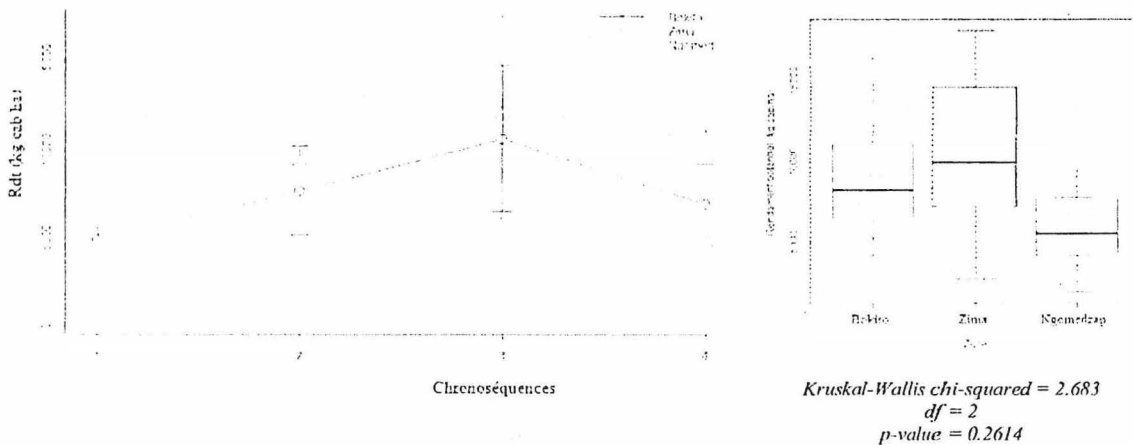


Figure 16: Comparaison des rendements potentiels des trois zones

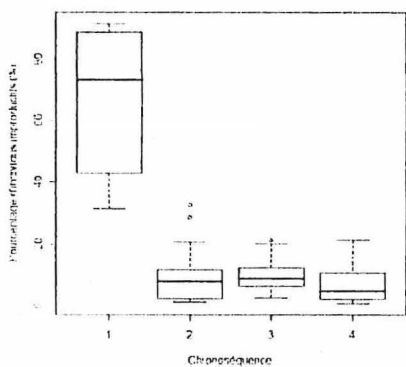


Figure 17 : Pourcentage d'arbres improductifs sur les différentes chronoséquences

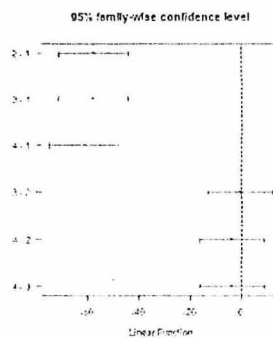


Figure 18 : Test de Tukey sur la proportion d'arbres improductifs par chronoséquences

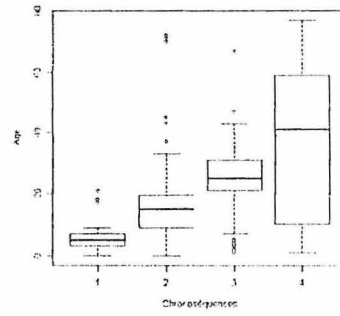
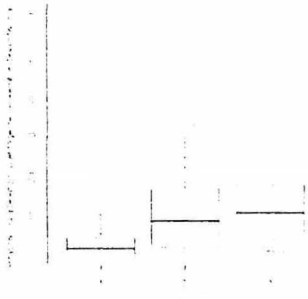


Figure 19 : Boîtes de dispersion des âges suivant les différentes chronoséquences



Kruskal-Wallis $\chi^2 = 16.9$
 $df = 2$
 $p\text{-value} = 0.0002135$

Analysis of Variance Table

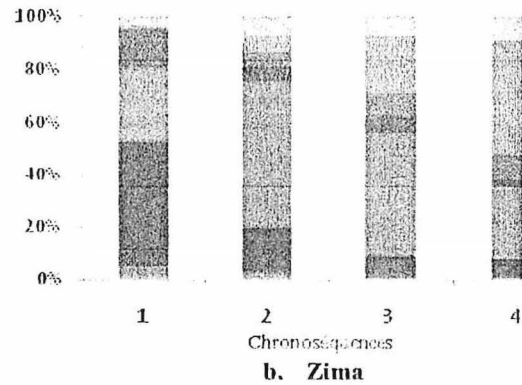
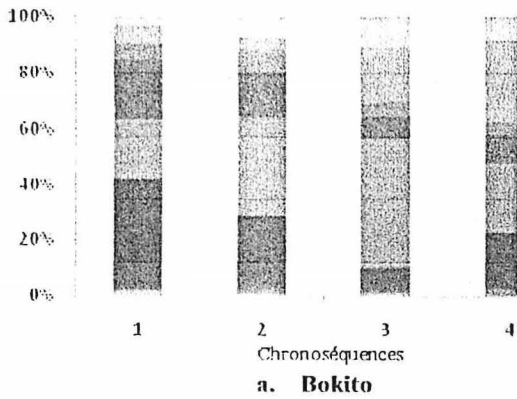
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Planteur	40	9001.1	225.0	6.6169	1.686e-05 ***
Residuals	20	680.2	34.0		

Signif. codes: 0 '****' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

' 1

Figure 20 : Comparaison des fréquences de plantation multiple entre les trois zones

Figure 21 : Anova, test de l'effet du planteur sur le choix du mode de plantation



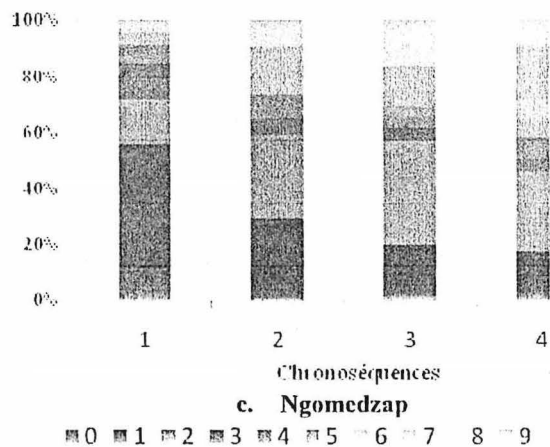


Figure 22 : Distribution des types non régénérés selon les zones et les chronoséquences (en pourcentage du peuplement total)

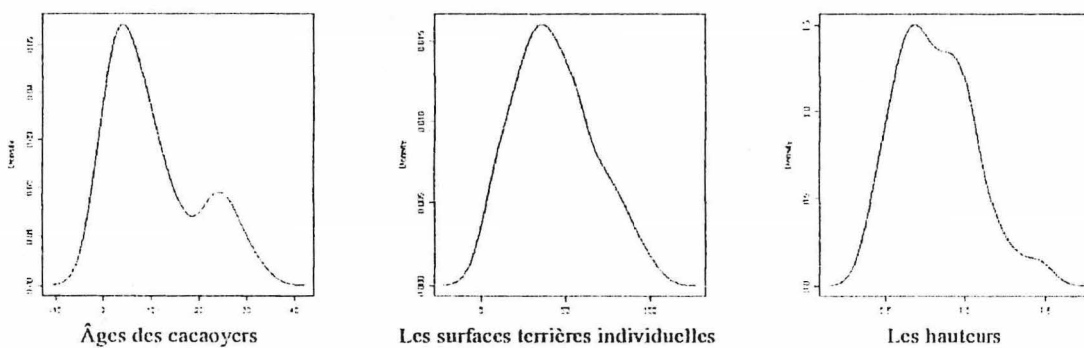


Figure 23 : Hétérogénéité des caractéristiques bio-morphologiques du peuplement de cacaoyers



Figure 24: Dispersion des densités individuelles au sein des parcelles

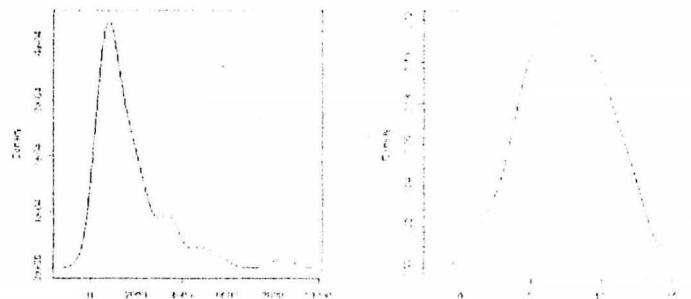
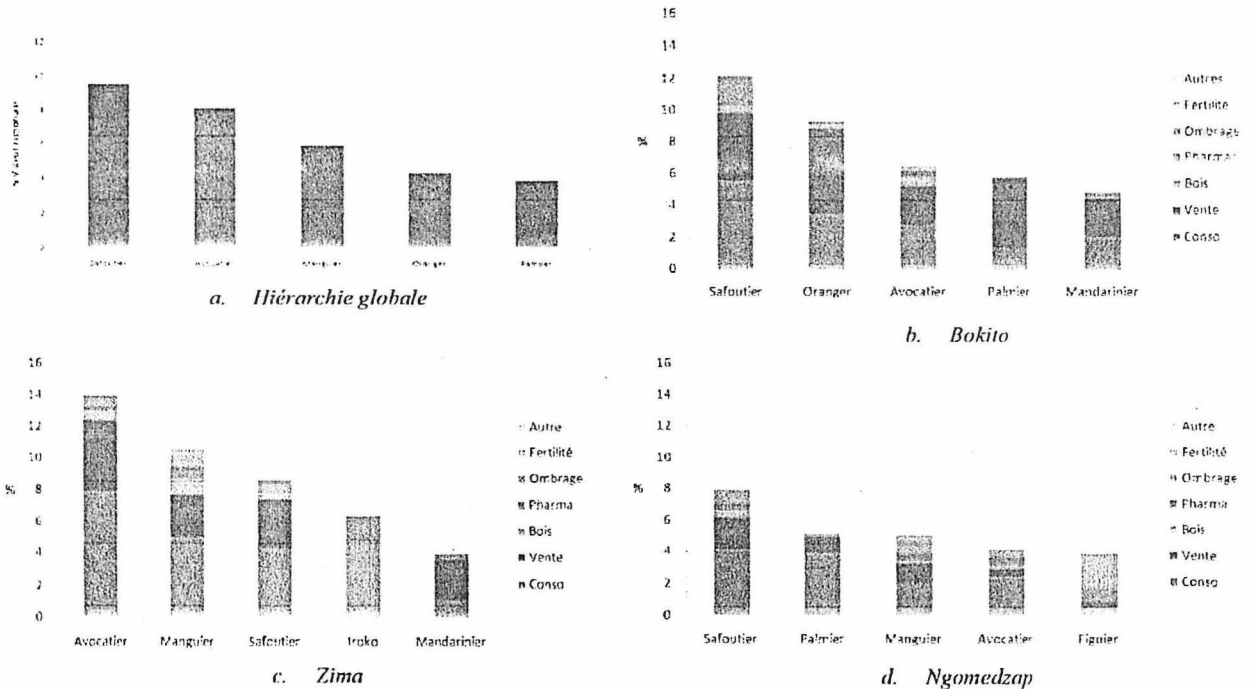


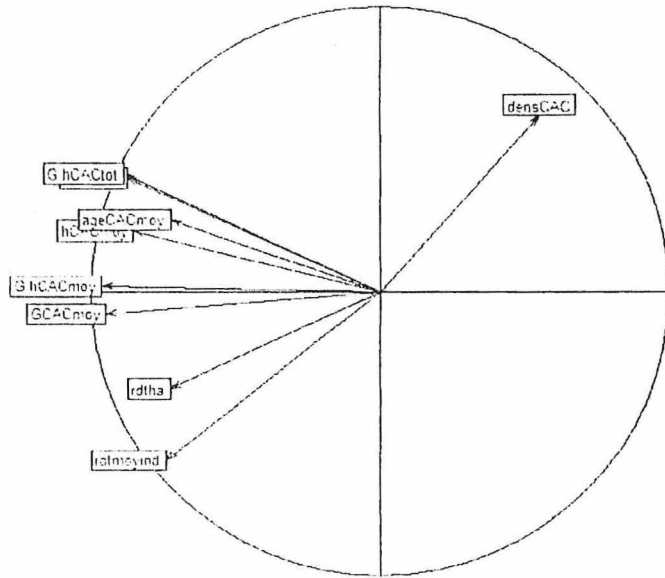
Figure 25: Hétérogénéité des espèces associées (à gauche les surfaces terrières, à droite les hauteurs)



Bokito		Zima		Ngomedzap	
Cacao	40,65	Cacao	40,67	Cacao	59,65
Palmier	19,70	Avocatier	23,72	Andok	25,49
Mandarinier	15,33	Manguier	16,19	Safoutier	14,81
Oranger	15,05	Njangsang	15,91	Palmier	14,57
Pamplemousse	13,49	Safoutier	14,88	Manguier	13,99
Safoutier	12,95	Colatier	13,73	Avocatier	10,24

Tableau 6 : Espèces contribuant le plus aux revenus issus des parcelles de chacune des zones





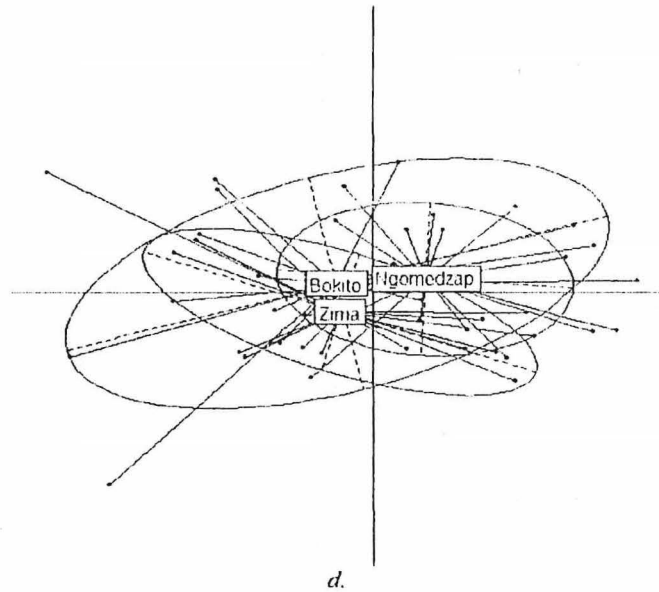
hCACmoy	Hauteur moyenne des cacaoyers
GCACtot	Surface terrière parcellaire des cacaoyers
GCACmoy	Surface terrière moyenne individuelle
Rdtha	Rendement par hectare
Rdtmoyind	Production par arbres
densCAC	Densités en cacaoyers (ind/ha)
G.hCACtot	Estimateur de la biomasse en cacaoyer parcellaire
G.hCACmoy	Estimateur de la biomasse en cacaoyer moyenne
ageCACmoy	Âge moyen des cacaoyers

b.

a.

	Axe 1	Axe 2
hCACmoy	-0,85	0,21
GCACtot	-0,87	0,40
GCACmoy	-0,95	-0,08
Rdtha	-0,72	-0,34
Rdtmoyind	-0,74	-0,59
ensCAC	0,55	0,62
G.hCACtot	-0,88	0,41
hCACmoy	-0,96	0,02
ageCACmoy	-0,72	0,25

c.



d.

Figure 28 : ACP des composantes du rendement cacaoyer à l'échelle de la parcelle

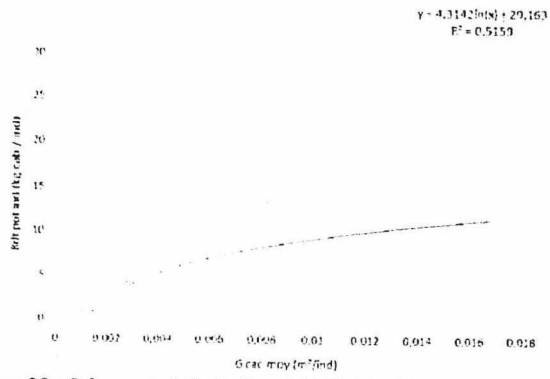


Figure 29 : $Rdt\ moy.ind\ (kg/ind) = 4,3142 * \ln(G\ cac\ moy) + 29,16$
 $R^2 = 0,5159$

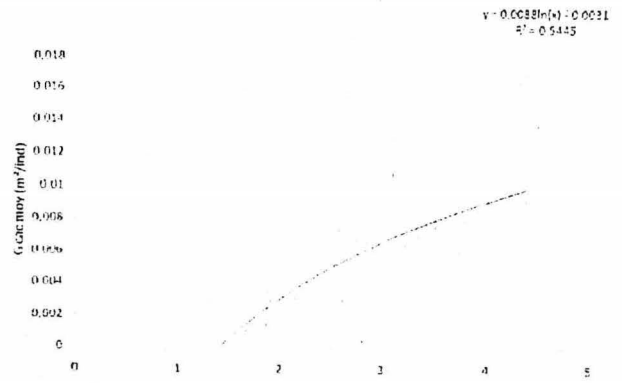


Figure 30 : $G\ cac\ moy = 0,0038 * \ln(Haut\ cac\ moy) - 0,0031$
 $R^2 = 0,5445$

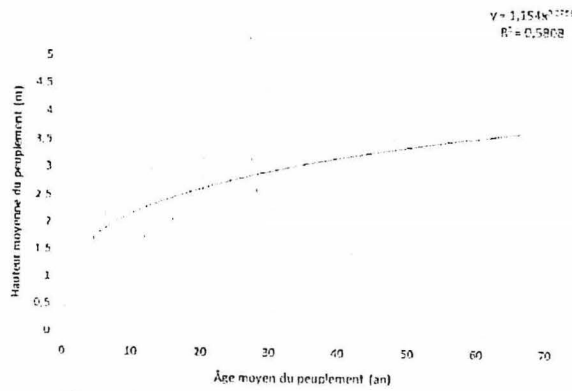
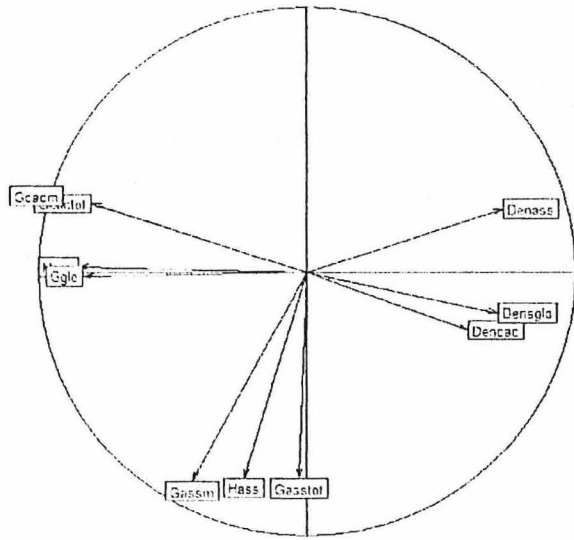
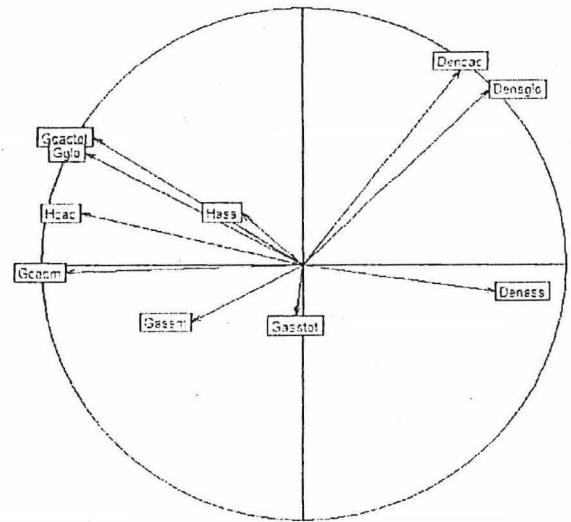


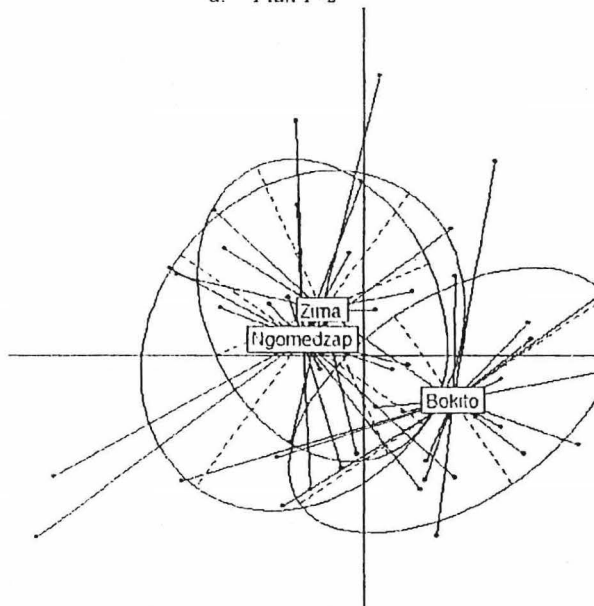
Figure 31 : $Haut\ moy = 1,154 * Age\ moy^{0,2759}$
 $R^2 = 0,5808$



a. Plan 1-2



b. Plan 1-3



c. Plan 2-3

	Axe 1	Axe 2	Axe 3
Hcac	-0,85	0,02	0,20
Gcactot	-0,80	0,26	0,50
Gcactm	-0,91	0,29	-0,03
Dencac	0,60	-0,22	0,76
Hass	-0,23	-0,78	0,20
Gasstot	-0,03	-0,78	-0,20
Gassm	-0,43	-0,79	-0,22
Denass	0,73	0,24	-0,10
Densglo	0,71	-0,15	0,68
Gglo	-0,84	-0,01	0,44

d.

Figure 32: ACP des espèces associées

	ch	Rdt global	Rdt ind moy
Basses densités	1	25 384,54	253,84
	2	1 764 017,46	2 5942,16
	3	1 797 308,66	1 7619,36
Hautes densités	1	45 775,4	183,10
	2	1 105 267,84	5 364,04
	3	789 001,44	2 471,87

Tableau 7: Comparaison des rendements globaux et individuels entre les parcelles de haute et basse densité (exprimé en kg de cabosse)

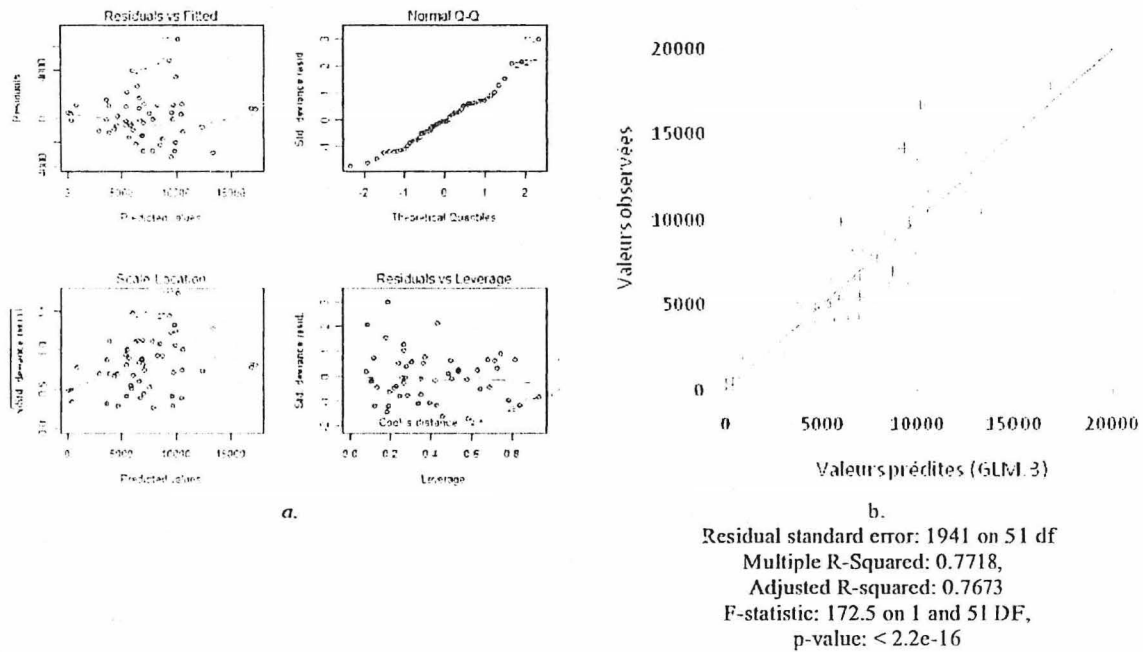


Figure 33 : Résultats du modèle sur le rendement global des parcelles et régression des valeurs prédites

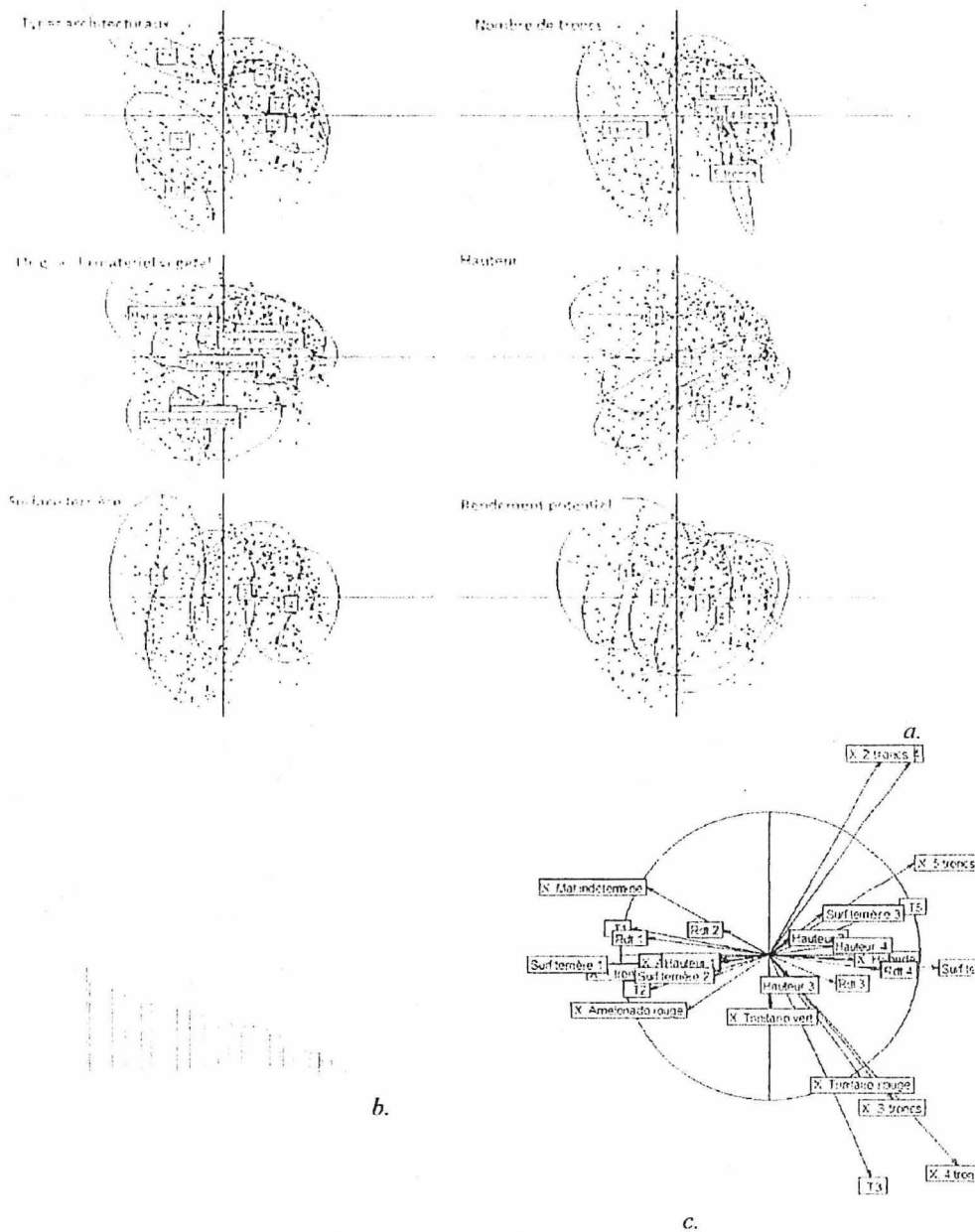


Figure 34: Résultats de l'ACM

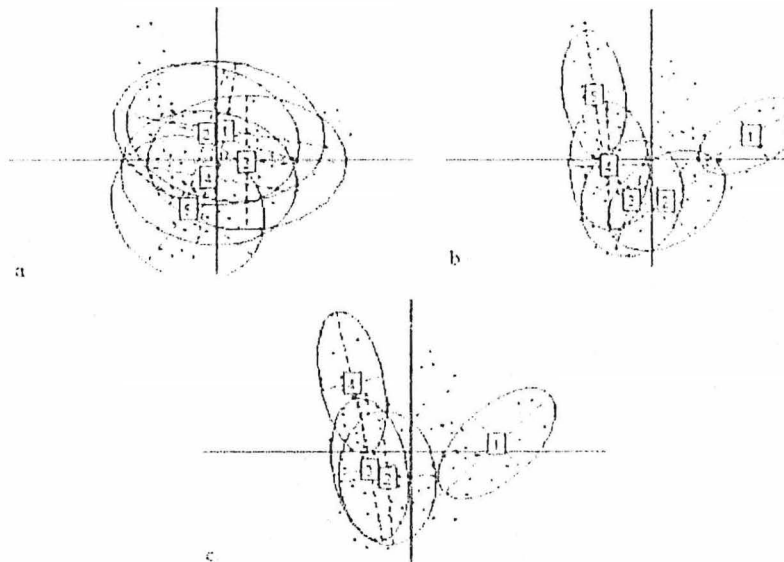


Figure 35 : ACM sur l'effet de l'ombrage (a.) sur les surfaces terrières (b.) et les hauteurs (c.)

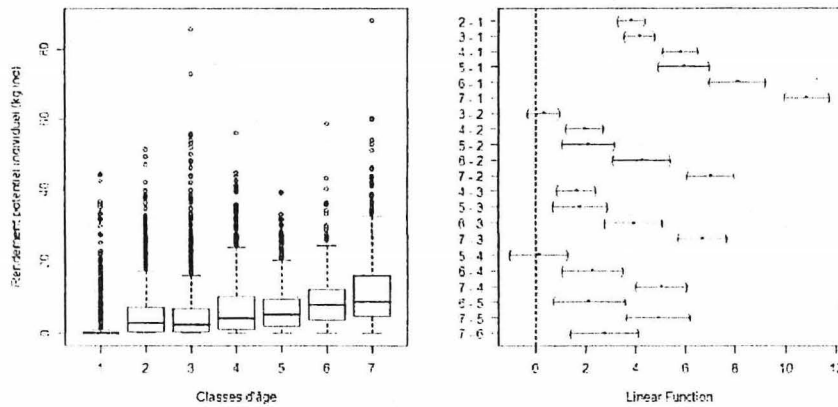


Figure 36 : Influence de l'âge sur le rendement potentiel individuel. A droite : test de Tukey HSD avec intervalle de confiance

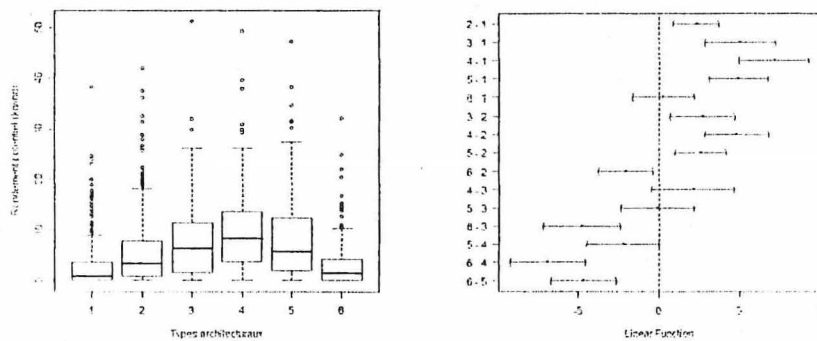
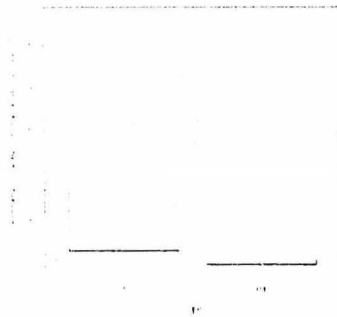


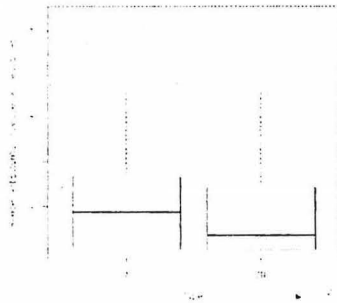
Figure 37 : Résultats de l'ANOVA sur les rendements potentiels par types et test de Tukey



Kruskal-Wallis rank sum test

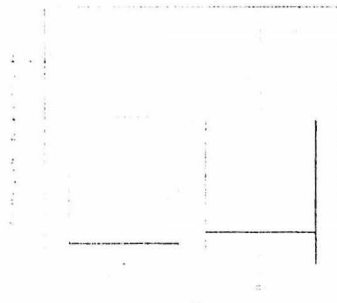
data: prodind.kg.ind. by type
 Kruskal-Wallis chi-squared = 3.3289,
 df = 1
 p-value = 0.06807

H₀ rejetée



Kruskal-Wallis rank sum test

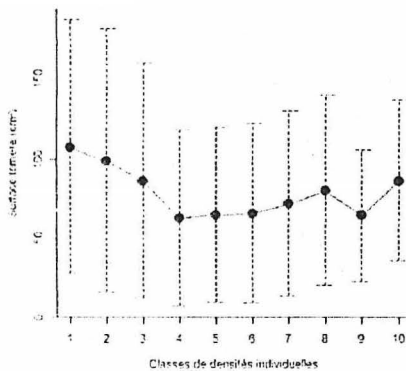
data: prodkgind by type
 Kruskal-Wallis chi-squared = 0.598,
 df = 1,
 p-value = 0.4393



Kruskal-Wallis rank sum test

data: prodind.kg.ind. by type
 Kruskal-Wallis chi-squared = 0.1614,
 df = 1,
 p-value = 0.6879

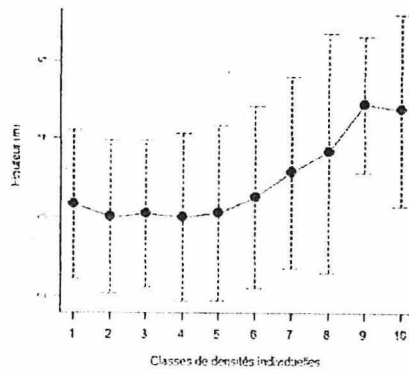
Figure 38 : Comparaison des rendements de types régénérés avec leurs équivalents
 (de haut en bas : $(n_{T1}=n_{T1R}=23, n_{T2}=n_{T2R}=62$ et $n_{T3}=n_{T3R}=10)$)



Kruskal-Wallis rank sum test

data: surf by cldens
 Kruskal-Wallis chi-squared = 108.6662,
 df = 9,
 p-value < 2.2e-16

Figure 39: Effet des densités individuelles sur les surfaces terrières



Kruskal-Wallis rank sum test
 data: haut by cldens
 Kruskal-Wallis chi-squared = 101.3894,
 df = 9,
 p-value < 2.2e-16

Figure 40: Effet des densités individuelles sur les hauteurs

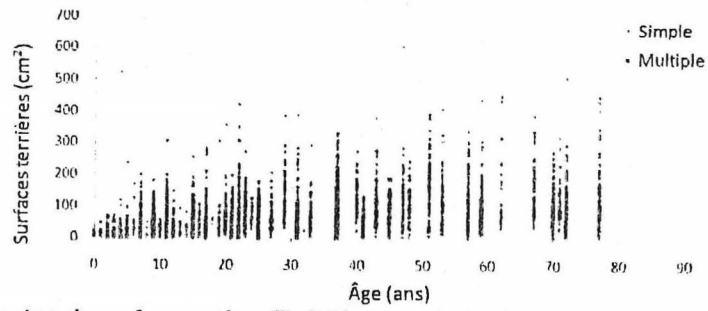


Figure 41 : Comparaison des surfaces terrières d'individus en mode simple ou en mode multiple à âges égaux

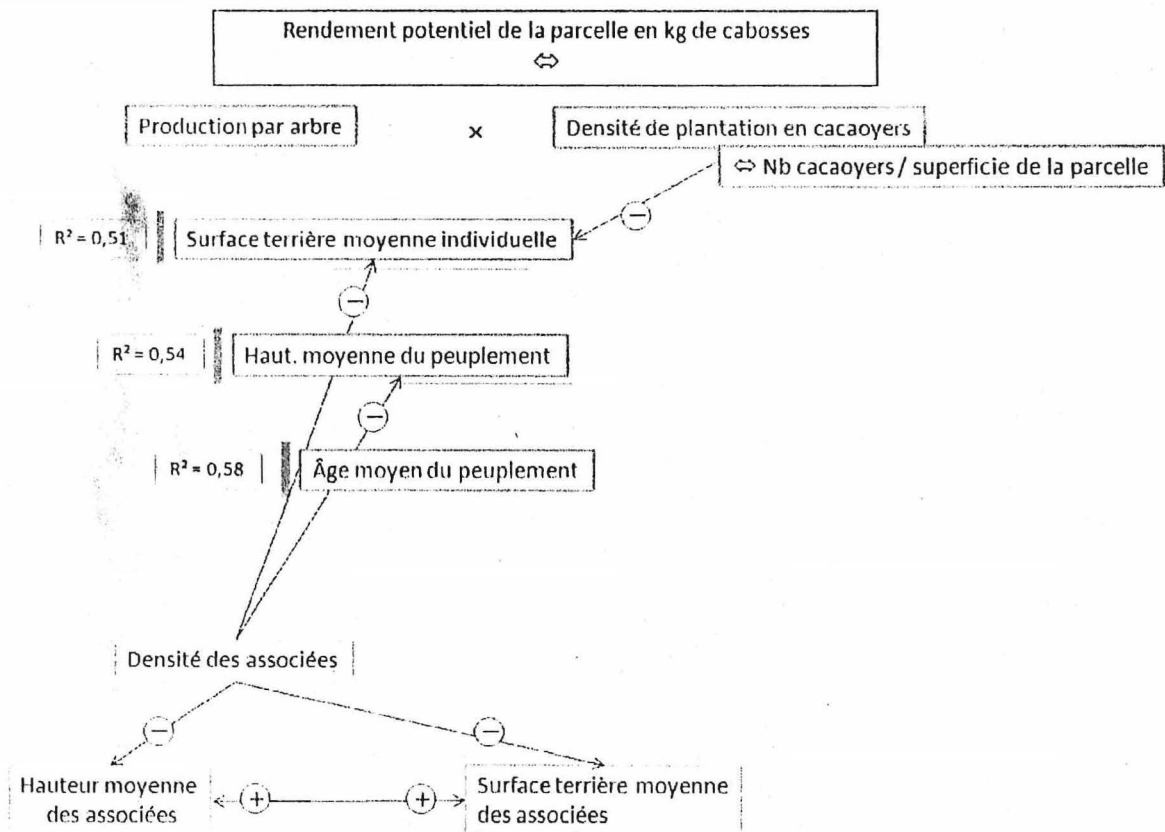


Figure 42: Schéma conceptuel de l'élaboration du rendement cacaoyer à l'échelle de la parcelle

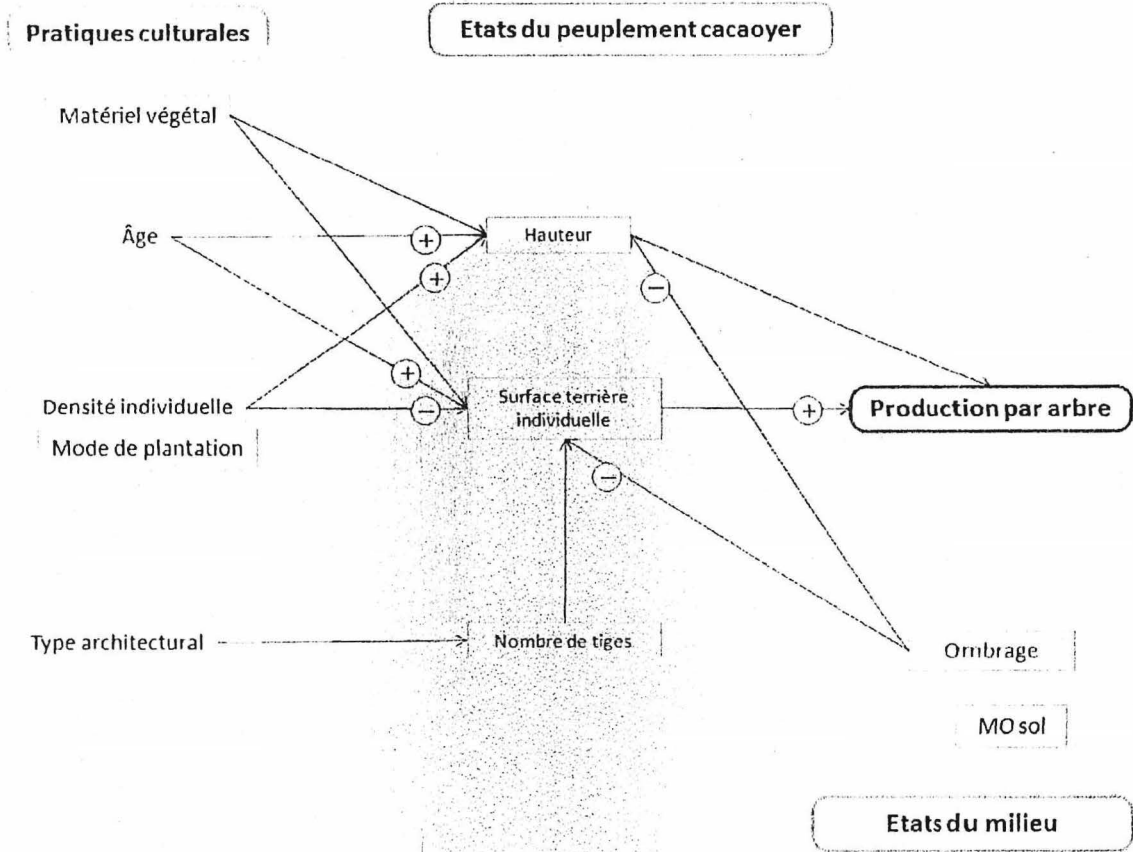


Figure 43 : Schéma conceptuel de l'élaboration du rendement à l'échelle de l'individu

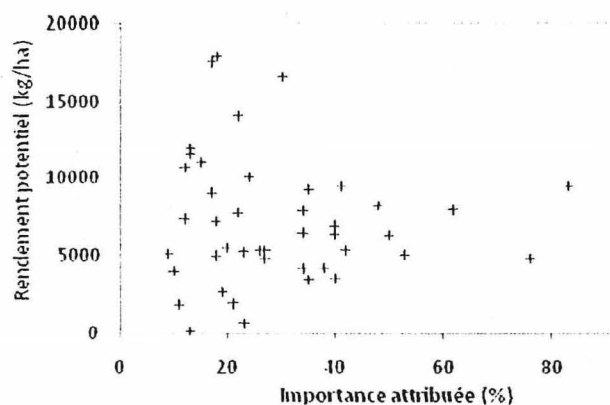


Figure 44 : Relation entre l'importance attribuée à la vente de cacao et le rendement potentiel de la parcelle

Nom commun	Nom scientifique	Unité
Avocatier	<i>Persea americana</i>	sac, cuvettes, seaux (5,10, 15L), paniers, fruits
Manguier	<i>Mangifera indica</i>	cuvettes, paniers, seaux
Oranger	<i>Citrus sinensis</i>	filets, seaux, fruits, cuvettes
Palmier	<i>Elaeis guineensis</i>	régimes
Safoutier	<i>Dacryodes edulis</i>	panier, cuvette, sacs, seaux (10L)

Tableau 8 : Unités d'expression des productions des principales espèces

Consommation	Vente	Bois	Pharma	Ombrage	Fertilité
Safoutier	Cacao	Iroko	Emien	Safoutier	Figuier
Avocatier	Safoutier	Cacao	Akol	Figuier	Kapokier
Manguier	Avocatier	Fraké	Manguier	Iroko	Akol
Palmier	Oranger	Bété	Evovone	Manguier	Manguier
Oranger	Palmier	Makoré	Cacao	Fraké	Iroko
Mandarinier	Mandarinier	Bangbaye	Avocatier	Avocatier	Atom
Colatier	Manguier	Avocatier	Akeng	Akol	Ayous
Andok	Colatier	Manguier	Mbikam	Mandarinier	Evovone
Njangsang	Citronier	Safoutier	Bubinga	Oranger	Fromager
Pamplemoussier	Pamplemoussier	Osse	Padouk	Atom	Avocatier

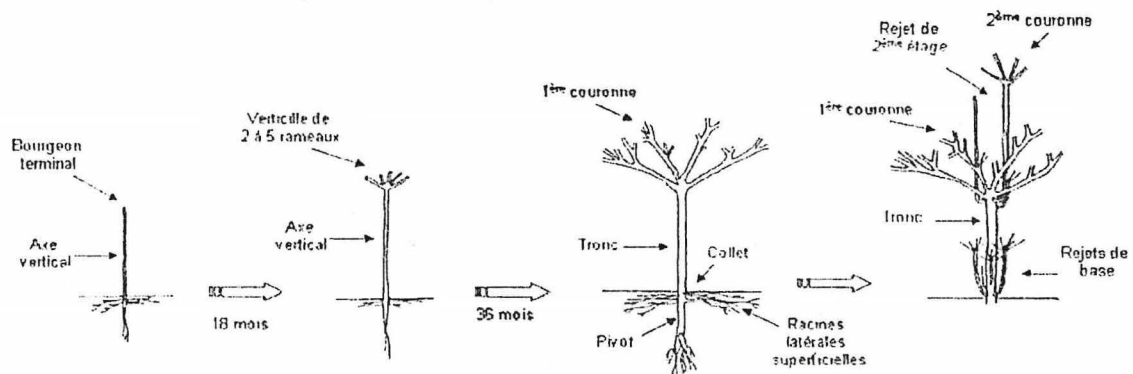
Figure 45 : Hiérarchie des espèces pour chacun des usages

ANNEXES

ANNEXE 1 : NOTIONS DE BASE EN AGRONOMIE DU CACAOYER

Les cacaoyers sont originaires de la forêt amazonienne. Cette plante atteint son plein développement entre 6 et 8 ans ; après une croissance orthotrope de 18 mois le tronc donne naissance à une couronne portant 5 à 6 branches dont la croissance est plagiotrope. Le système racinaire comporte un pivot et des racines latérales superficielles se développant dans la couche humifère du sol.

Le cacaoyer fleurit de manière abondante toute l'année, avec des fleurs apparaissant directement sur le tronc et/ou les branches. Bien que la floraison soit abondante peu de fleurs se développent en fruits. Le fruit est une baie, appelée cherelle au début de son développement puis cabosse.



Principales étapes du développement du cacaoyer (source : Jagoret)

Il s'agit d'une plante ombrophile atypique à forte plasticité car elle peut être cultivée sans ombre, ceci dans le cas où tous les facteurs environnementaux sont optimaux (température, propriété chimique et physique du sol, protection phytosanitaire). Dans les systèmes étudiés ici le cacaoyer est cultivé sous ombrage plus ou moins dense, ce qui offre l'avantage de limiter les besoins : pas de fertilisation, réduction de l'impact des mirides. Cependant ces systèmes sont connus comme favorisant certaines maladies fongiques et de réduire la productivité. Les cacaoyères sont le plus fréquemment installées sur précédent forestiers, mais dans les cas où les réserves forestières sont épuisées elles peuvent l'être sur précédent savane avec reproduction du modèle agroforestier.

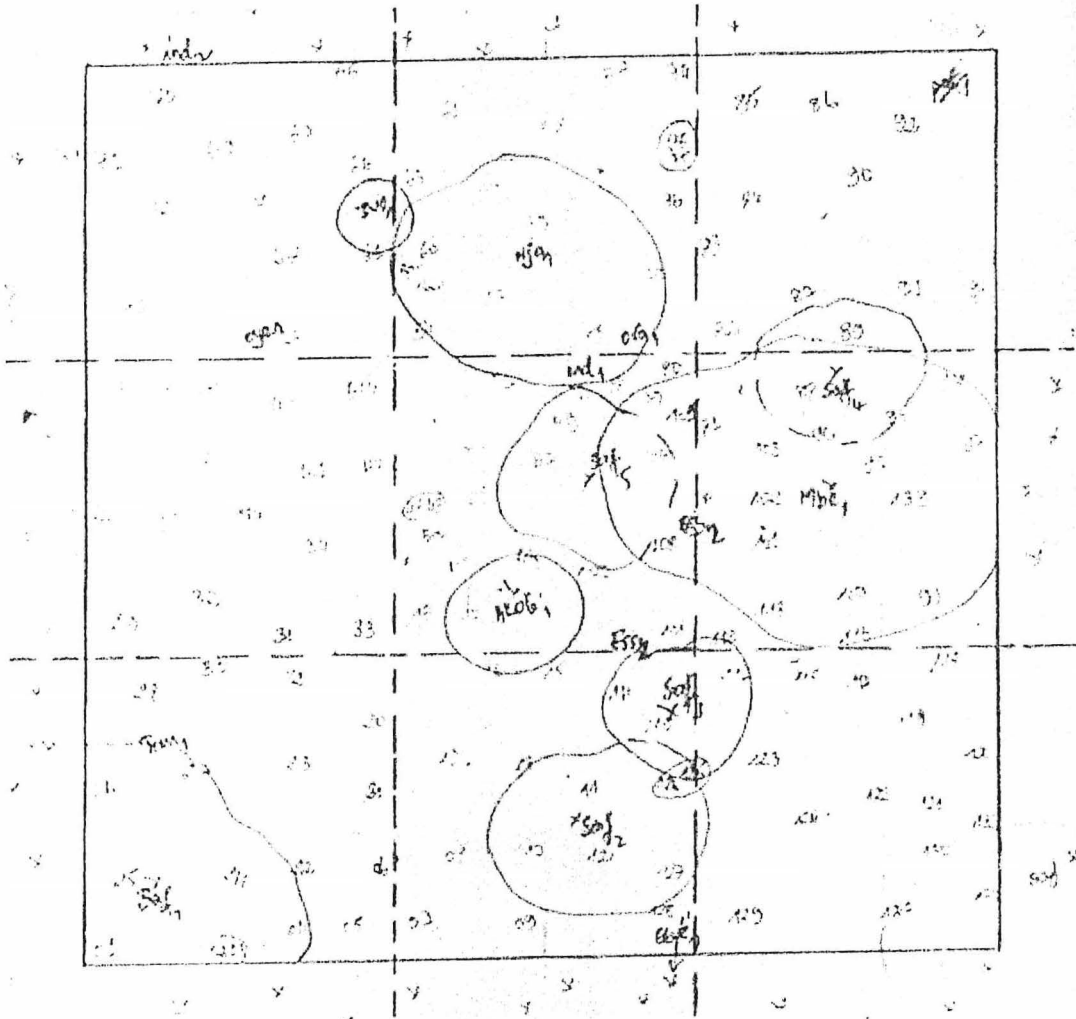
ANNEXE 2 : CARACTÉRISTIQUES DES TROIS ZONES D'ÉTUDES DU CENTRE-CAMEROUN
(D'APRÈS SANTOIR ET BOPDA, 1995).

	Ngomedzap	Zima	Bokito
Département	Nyong et So'o	Lékié	Mbam et Inoubou
Densité de population	37 hab/km ²	111 hab/km ²	29 hab/km ²
Pluviométrie moyenne annuelle	de 1 700 à 1 800 mm	De 1 400 à 1 500 mm	De 1 300 à 1 500 mm
Nature du sol/sols dominants	- A l'ouest : rochers nus, sols peu évolués lithiques, ferrallitiques fortement désaturés, typiques ou rajeunis, ocre à jaune - A l'est, sols ferrallitiques fortement désaturés, faciès jaune-rouge, ocre et jaune en bas de pente	- Sols ferrallitiques moyennement désaturés, appauvris, faciès ocre - Sols ferrallitiques moyennement désaturés avec érosion et remaniement, faciès ocre - Sols ferrallitiques moyennement désaturés, faciès jaune, hydromorphes de bas-fonds	- Sols faiblement désaturés rajeunis - Sols faiblement désaturés rajeunis, appauvris et hydromorphes
Végétation	- A l'ouest : forêt dense sempervirente. - A l'est : forêt mixte dégradée	- Paysages forestiers domestiqués et cultures arbustives	- Savane arbustive à raphiales - Forêt-galeries - Savane herbacée à <i>hypparhénia</i> , <i>cypéracées</i> ou graminées diverses
Modelé	- A l'ouest : hautes collines complexes à sommets supérieurs à 900 m - A l'est : collines largement ondulées	- Collines et plateaux fortement ondulés - Collines relativement accidentées - Plaine faiblement ondulée avec larges bas-fonds	- Petites collines surbaissées et plateaux légèrement ondulés - Plaine à thalwegs très peu marqués, réseau diffus et souvent marécageux

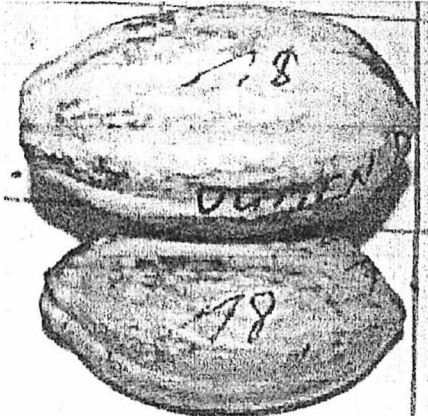
ANNEXE 3 : DONNÉES ET CRITÈRES D'ÉCHANTILLONNAGE

		Données	Échantillonnage	Critères
Parcelle		Superficie	Totalité des parcelles	
Milieu		Types de sol	Totalité des parcelles	
		Ombrage	39 parcelles	Parcelle dont la hauteur des cacaoyers est de 4,50m maximum. Pente moyenne
		Pression des mirides		Parcelle dont la hauteur des cacaoyers de 4,50m maximum Pente moyenne
Cacaoyer	<i>Etats du peuplement</i>	Hauteur du bas de la frondaison		
		Surface terrière		
		Matériel végétal		
	<i>Rendement</i>	Productivité potentielle (nombre de cabosse)	Totalité des individus	
	<i>Itinéraire technique</i>	Densité de plantation (globale et individuelle)		
		Age		
		Type architectural		
Espèces associées		Inventaire floristique		
		Age		
		Surface terrière		
		Hauteur	Totalité des individus	
		Estimation productivité à dire d'acteur		
		Densité de plantation		
		Caractérisation des usages		

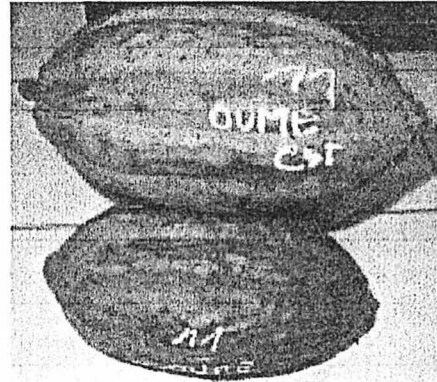
ANNEXE 4 : EXEMPLE DE PLAN PARCELLAIRE



ANNEXE 5 : LES CABOSSES DES DIFFÉRENTS GROUPES GÉNÉTIQUES RENCONTRÉS SUR LE RÉSEAU D'EXPÉRIMENTATION



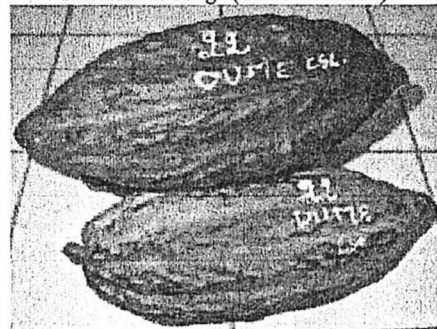
Amelonado (cacao allemand)



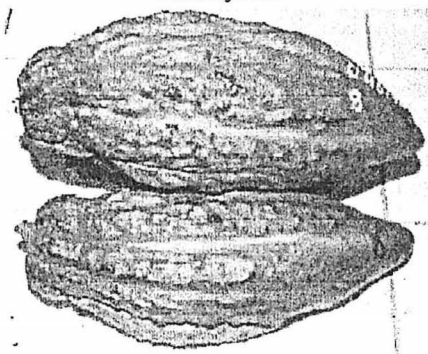
Amelonado rouge (cacao allemand)



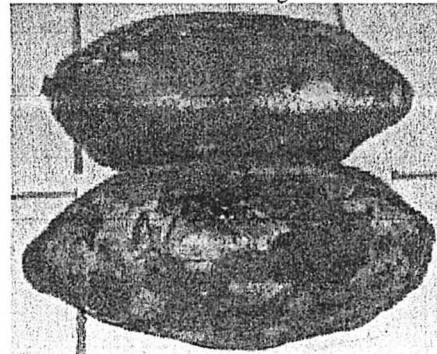
Cacao hybride



Trinitario rouge

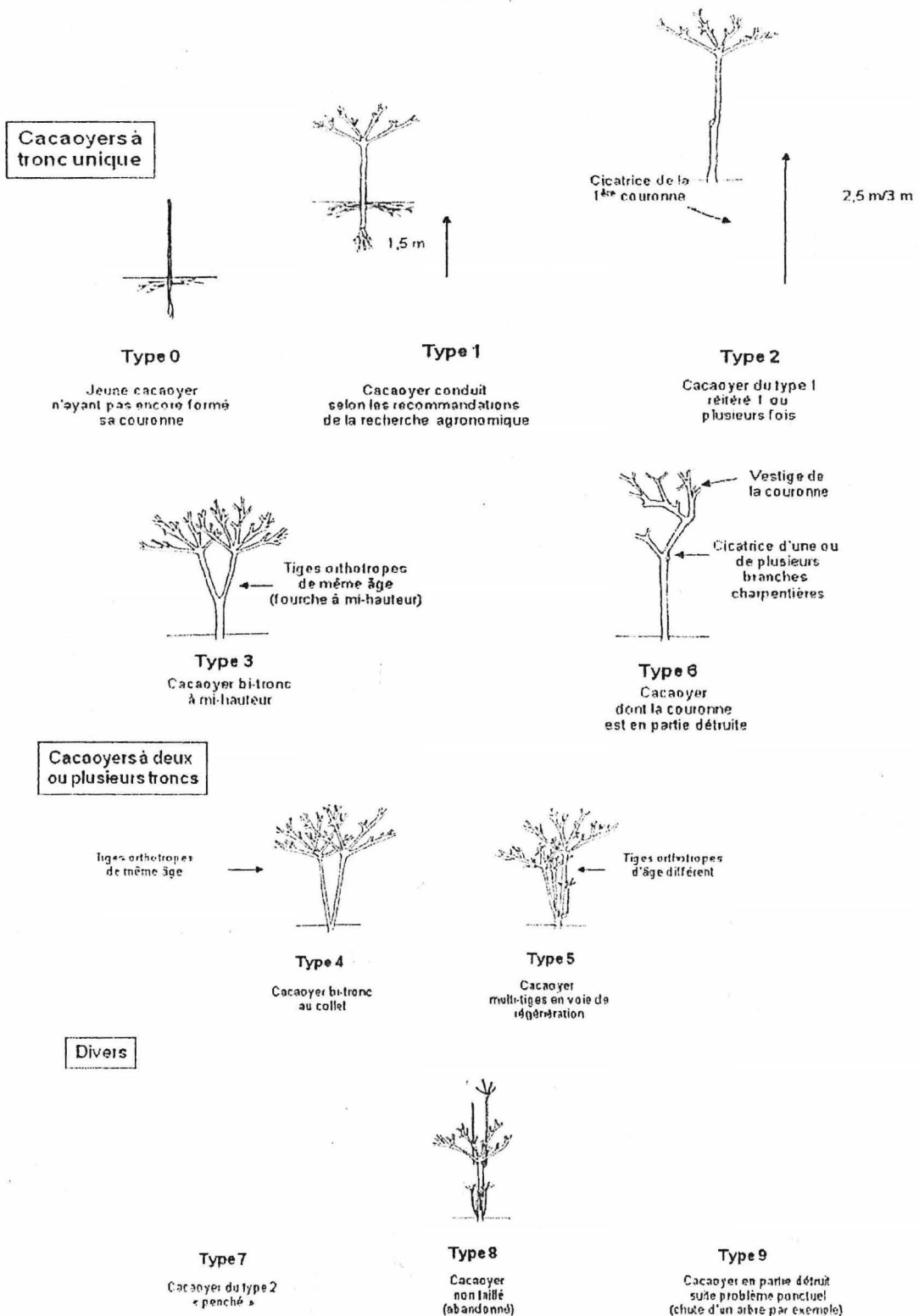


Trinitario vert



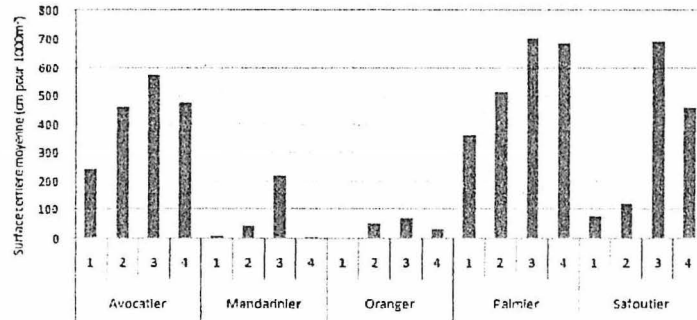
Génotype indéterminé

ANNEXE 6 : PRÉSENTATION DES TYPES ARCHITECTURAUX RETENUS (SOURCE : PATRICK JAGRET)

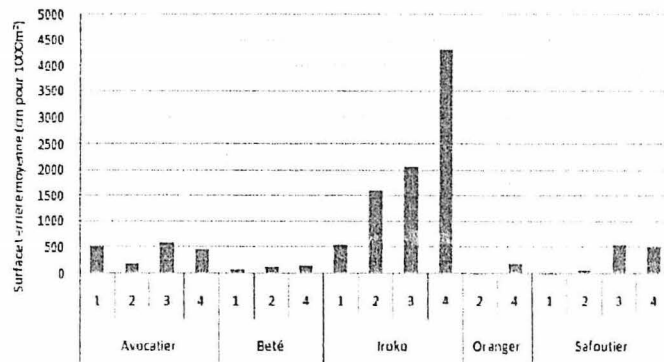


ANNEXE 7 : ÉVOLUTION DES SURFACES TERRIÈRES DES PRINCIPALES ESPÈCES ASSOCIÉES
POUR CHACUNE DES ZONES

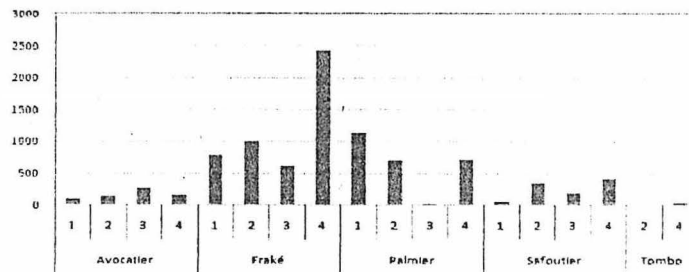
A. Bokito



B. Zima

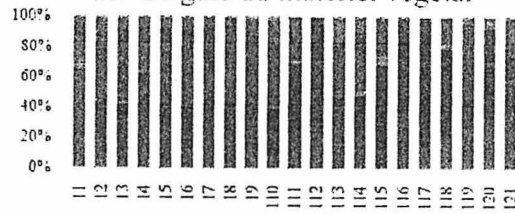


C. Ngomedzap

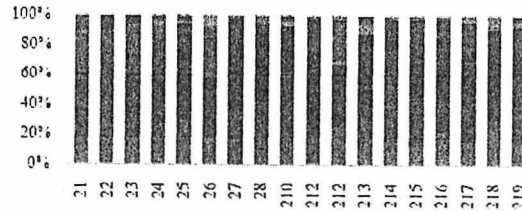


ANNEXE 8 : DIVERSITÉ PARCELLAIRE

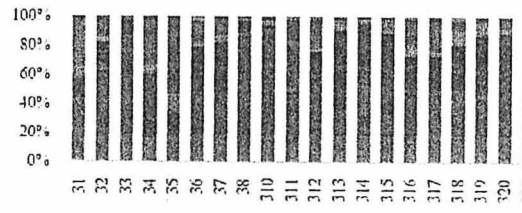
A. Origine du matériel végétal



Bokito



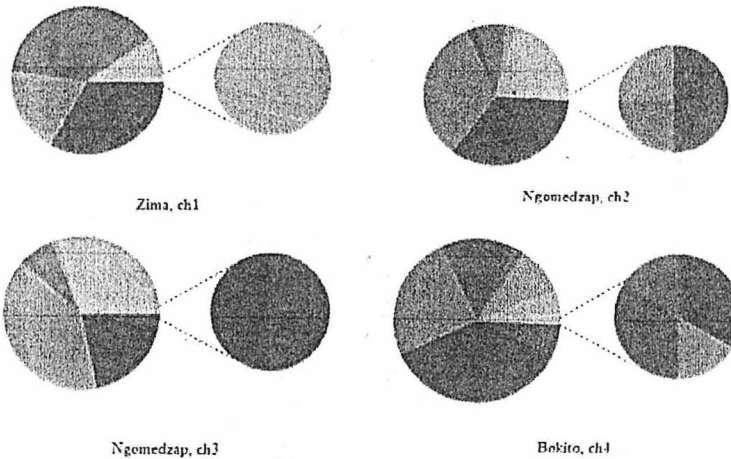
Zima



Ngomedzap

■ Indeterminé ■ Amelonafo ■ Amelolado rouge ■ Hybride ■ Trinitaio rouge ■ Trinitario vert

B. Les types architecturaux



■ 0 ■ 1 ■ 2 ■ 3 ■ 4 ■ 5 ■ 6 ■ 7 ■ 8 ■ 9 ■ R
 ■ 1R ■ 2R ■ 3R ■ 4R ■ 5R ■ 6R ■ OR

ANNEXE 9: IMPORTANCES ACCORDÉES AUX FONCTIONS

A. Bokito

	Consommation	Vente	Bois	Pharmacopée	Ombrage	Fertilité	Autre
11	33	47	4	2	12	0	0
14	30	39	6	8	14	0	0
12	24	64	0	0	23	0	0
110	32	46	0	4	19	0	0
115	24	54	0	0	23	0	0
15	31	62	0	2	2	1	0
13	10	58	14	1	3	13	0
16	38	42	3	11	11	7	0
111	33	25	11	8	9	9	5
116	20	18	9	4	19	23	2
112	13	77	0	0	8	0	0
113	3	96	0	0	0	0	0
117	7	90	1	0	0	0	0
114	27	44	15	0	12	0	0
118	24	42	15	0	9	8	0

B. Zima

	Consommation	Vente	Bois	Pharmacopée	Ombrage	Fertilité	Autre
22	22	30	6	9	19	0	8
23	42	27	12	3	14	0	2
26	5	23	27	23	14	0	8
27	19	48	26	0	5	0	0
27	26	37	25	4	8	0	0
28	19	33	40	4	2	0	0
29	15	36	28	8	8	0	5
210	37	35	21	6	0	0	0
211	17	31	24	0	22	6	0
214	14	80	2	0	5	0	0
217	33	52	12	0	3	0	0
218	24	39	6	0	12	19	0

C. Ngomedzap

	Consommation	Vente	Bois	Pharmacopée	Ombrage	Fertilité	Autre
38	16	16	24	22	11	10	1
313	13	25	15	20	15	12	0
320	9	59	4	9	14	5	0
314	7	45	4	12	16	16	0
32	15	33	0	23	24	5	0
31	16	31	15	14	11	13	0
34	13	34	0	13	17	23	0
316	11	35	14	29	11	0	0
310	6	53	3	8	14	15	1
311	0	20	18	43	2	17	0
319	23	54	9	6	4	4	0
318	25	37	6	22	5	1	4
36	28	23	20	19	7	3	0
312	16	48	10	12	8	6	0
321	11	50	11	9	5	14	0
315	15	63	6	1	11	4	0
39	32	46	10	8	0	2	2
33	43	38	10	1	7	1	0
37	20	50	18	4	7	1	0

**ANNEXE 10: IMPORTANCES RELATIVES DES REVENUS ISSUS DES PRODUCTIONS EN
POURCENTAGE (%)**

A. Bokito

n° planteur	1	2	3	4	5	9	10	11
Nb parcelles suivies	2	3	1	1	3	1	2	2
Cacao	12,77	45,82	13,98	39,71	34,09	68,89	91,27	19,65
Palmier	14,55	20,30	10,75	19,12	25,76			19,65
Safoutier	13,50	6,41	13,98	13,24	13,96	24,44	4,09	16,68
Oranger	18,07	16,32	15,05	13,24	5,42		3,61	6,82
Avocatier	12,57	2,14		5,88	4,60	6,67		20,31
Mandarinier	17,45	3,85	15,05					7,58
Citronier	5,07	3,03			3,33			
Pamplemousse			12,90					7,04
Colatier	2,90				5,75		1,03	
Manguier	3,13		9,68		2,50			
Pommier cythère		2,14	8,60					
Aiélé					2,30			
Boukougni					2,30			
Corossolier				5,88				
Obotan								2,27
Kapokier				2,94				
Kg de cabosses	915,04	2901,31	1161,36	536,66	2241,49	1106,86	1224,77	1455,37

B. Zima

n° planteur	1	2	5	6	7	8	9	10	11	12
Nb parcelles suivies	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2
Cacao	26,09	64,29	23,08	26,09	46,81	80,85	28,24	52,27	53,97	26,68
Avocatier	19,94	35,71		20,29	23,40	3,19	15,29	18,18	17,46	42,18
Manguier	20,54		17,31	11,59	29,79	6,38	17,65		11,11	2,99
Safoutier	17,16		15,38	21,74		6,38	18,82	13,64	11,11	5,22
Mandarinier	8,33		11,54				11,76			10,99
Oranger			19,23	20,29		3,19			3,17	3,73
Colatier	7,94									5,97
Njangsang								15,91		
Palmier							8,24		1,59	
Tomo			7,69							
Lekaleka			5,77							
Hévécá										2,24
Papayer									1,59	

C. Ngomedzap

n° planteur	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Nb parcelles suivies	3	1	1	1	2	2	1	3	1	1	1	1	1
Cacao	68,63	43,75	36,67	100	53,80	51,09	46,58	47,70	72,73	71,43	64,94	48,72	89,83
Safoutier	9,22	29,17	21,67		12,13	18,86	15,07	4,04	7,27	4,08	10,39	12,82	5,08
Palmier	17,19	16,67			2,94	13,13	17,81	12,67		4,08		12,82	1,69
Avocatier	4,96	10,42			13,70		5,48	7,85	9,09		6,49	5,13	
Manguier						8,64	13,70	10,95			6,49	10,26	3,39
Bitter cola								4,04		6,12	11,69		
Andok					12,75								
Essok			25,00										
Njansang			15,00						5,45				
Iroko					4,69			1,01					
Amvut								3,81					
Atom										8,16			
Mvut												7,69	
Goyavier						3,71							
Tombi			1,67				1,37	1,01					
Ebebeng								1,99					
Akpa								1,90					
Colatier									5,45				
Oranger						2,47							
Padouk							1,37	1,01					
Tombo						2,12							
Evoue										4,08			
Crabwood								1,01					
Emien								1,01					
Movingui												2,56	
Agongui										2,04			

ANNEXE II: IMPORTANCES ET USAGES DES DIFFÉRENTES ESPÈCES

A. Bokito

Nom pilote	Conso	Vente	Bois	Pharma	Ombrage	Fertilité	Autres	Parties utilisées	n	VR
Cacao		496	6	8	27	22		Cabosses, bois mort, feuilles	15	37,27
Palmier	19	57			2			Noix, sève	12	15,50
Oranger	47	72	4		2			Fruits	10	14,30
Mandarinier	28	31			6			Fruits	5	13,00
Pamplemoussier	9	13	3					Fruits, bois mort	2	13,00
Kapokier		2	2		4	16		Fruits, bois	2	12,00
Safoutier	75	57	6		25			Fruits, bois mort	14	11,64
Pommier cythère	7	6			6			Fruits	2	9,50
Manguier	12	8	3	2	3			Fruits, bois mort, écorce	5	9,33
Aiélé	4		4	1				Fruits, bois	1	9,00
Citronier	1	13		3				Fruits, feuilles	3	8,67
Ibile nabagon				4	4			?	1	8,00
Evovone				4	3			?	1	7,00
Iroko			27		4	5		Bois	6	6,00
Atom					9	8			3	5,67
Colatier	8	8						Noix	3	5,33
Bougongp				4	1			?	1	5,00
Boutingui				5				?	1	5,00
Ndimonebola			3		2			Bois	1	5,00
Pachis			5					Bois	1	5,00
Raphia							5	?	1	5,00
Boukougni		4						?	1	4,00
Corossolier	2	2						Fruits	1	4,00
Moana				2			2	?	1	4,00
Bougode					3			?	1	3,00
Guedondogabeguelime			3					Bois	1	3,00
Obotan		3						?	1	3,00
Osomzo					3			?	1	3,00
Oukole			3					Bois	1	3,00
Ekekam			2					Bois	1	2,00
Fromager					1	1		?	1	2,00
Avocatier	38	32	7	6	2	2		Fruits, bois mort, écorce	8	1,88
Figuier					3	7			1	1,00
Bogogolo										0
Mbikam										0
Teck										0

B. Zima

Nom pilote	Conso	Vente	Bois	Pharma	Ombrage	Fertilité	Autre	Parties utilisées	n	VR
Cacao	7	290	33	4	7			Cabosses, bois mort, feuilles saines	12	28,42
Avocatier	93	53	8	3	8			Fruits, bois mort, écorces	10	16,5
Manguier	59	32	11	9	10	4		Fruits, bois mort, écorces	10	12,5
Safoutier	51	36	5		10			Fruits, bois mort	9	11,33
Ntoussa			5	6				Bois / Sève	1	11
Figuier			1		13	15		Bois	3	9,67
Mandarinier	13	29			5			Fruits	5	9,4
Emicn			2	20	5			Ecorce / Bois	3	9
Njangsang	4	3	1		1			Fruits / Bois	1	9
Bangbaye			17					Bois	2	8,5
Iroko			57		17	2		Bois	9	8,44
Oranger	19	15			7			Fruits	5	8,2
Fraké			6			2		Bois	1	8
Mbikam				8				Feuilles	1	8
Bété			23		8			Bois	4	7,75
Colatier	5	8	2					Noix / Bois	2	7,5
Makoré			22		5	2		Bois	4	7,25
Lekalcka	3		2		2			Bois / Chenilles	1	7
Hevea		3					8	Sève	2	5,5
Osse			11		4			Bois	3	5
Dibetou			5					Bois	1	5
Ilomba			3	1	1			Bois / Ecorce	1	5
Movingui			5					Bois	1	5
Tomo	5						7	Fruits / Bois	3	4
Dabema			1				3	Bois / Ecorce	1	4
Landa			4					Bois	1	4
Opess							4	Bois	1	4
Ebebcng			3					Bois	1	3
Palmier	8							Régimes / Sève	3	2,67
Akol			2		4			Bois	3	2
Akeng			2					Bois	1	2
Tiama			2					Bois	1	2
Elelom zam			1		3		1	Bois / Ecorce	3	1,67
Aiélé			1		1			Bois	2	1
Papayer	1							Fruits	1	1
Abalé									1	0
Akpa									1	0
Ekoate									1	0
Evovone									1	0
Kapokier									1	0
Mckogo									1	0
Vouaganga									1	0

C. Ngomedzap

Nom pilote	Conso	Vente	Bois	Pharma	Ombrage	Fertilité	Autre	Parties utilisées	n	VR
Cacao		617	11	5	6	12			19	34,26
Ayous					9	11			1	20,00
Manguier	38	23	3	8	17	7			6	16,00
Bubinga				16					1	16,00
Andok	13			2					1	15,00
Akpa		2	2	5	2	3			1	14,00

Safoutier	78	38	8	7	15	3		14	10,64
Fraké			38	3	30	1		7	10,29
Amvut	4		2	2	2			1	10,00
Essok	9	6		4				2	9,50
Padouk	13	2	15	12	2	2		5	9,20
Njansang	7	5		4	2			2	9,00
Fagara				9				1	9,00
Akol			2	29	16	21		8	8,50
Figuier			8	7	15	43		9	8,11
Palmier	74	16		2	5			12	8,08
Mvut	6			2				1	8,00
Avocatier	46	8	4	9	7	4		10	7,80
Bitter cola	6	10	1	1	3	2		3	7,67
Emien	1			22	4	3		4	7,50
Evovone			1	18	6	10		5	7,00
Abalé			4	1	1	1		1	7,00
Goyavier	5	1			1			1	7,00
Ilevea				4		3		1	7,00
Iroko		7	20	3	5	3		6	6,33
Atom	2	2			1	1		1	6,00
Fromager								6	6,00
Oranger	4		1		1			1	6,00
Sikong	1			5				1	6,00
Akeng			3	19	1			4	5,75
Crabwood	1		1	8	1	2	2	3	5,00
Sapelli			9	2	2	2		3	5,00
Ilomba			5		5			2	5,00
Movingui	2		6	1	1			2	5,00
Angcuk				5				1	5,00
Colatier	3		1		1			1	5,00
Tombi	5	0	6	3	1	1	4	5	4,00
Oyebe			5	10		1		4	4,00
Efobolo			1	7				2	4,00
Tsil-mod				6	1	1		2	4,00
Agongui	1			1	1	1		1	4,00
Kapokier					4			1	4,00
Dambala					3			1	3,00
Ekom			1	1		1		1	3,00
Essolngom				1	1	1		1	3,00
Elong			1	1	1			1	3,00
Evoue	1	1				1		1	3,00
Moambe jaune				1	1	1		1	3,00
Mejangmejanga			1	4	2	1		3	2,67
Ewolote			2	2	1			2	2,50
Mbikam				5				2	2,50
Cordia			1	6				3	2,33
Assas			4	2	2	1	1	5	2,00

Elglom zam	2	4			3	2,00
Evesku	2		2		2	2,00
Kamanda	1	2		1	2	2,00
Aiclé	1	1			1	2,00
Atondo	1	1			1	2,00
Landa	1		1		1	2,00
Mbanbezoa	1		1		1	2,00
Ngolong	1		1		1	2,00
Odjobi	2				1	2,00
ebebeng	4	4		1	5	1,80
Bangbaye	7	3	2		8	1,50
Evino			1	1	2	1,00
Nditik	2				2	1,00
Oyakui			1	1	2	1,00
Abelbongo	1				1	1,00
Eyabe	1				1	1,00
Olok	1				1	1,00
Olotombo	1				1	1,00
Ekekam	1				2	0,50
Dabema					2	0,00
Efok					1	0,00
Essombi					1	0,00
Evouvos					1	0,00
Kumbi					1	0,00
Lotofa					1	0,00

ANNEXE 12: MATRICE DES CORRÉLATIONS ENTRE CARACTÉRISTIQUES DU PEUPEMENT
CACAOYER ET RENDEMENT POTENTIEL.

	ageCACmoy	densCAC	G,hCACmoy	G,hCACtot	GCACmoy	GCACtot	hCACmoy	rdtha	rdtmoyind
ageCACmoy		-0,37	0,67	0,64	0,67	0,63	0,64	0,30	0,35
densCAC	-0,37		-0,57	-0,21	-0,63	-0,18	-0,37	-0,34	-0,61
G,hCACmoy	0,67	-0,57		0,86	0,98	0,83	0,79	0,58	0,67
G,hCACtot	0,64	-0,21	0,86		0,79	0,97	0,83	0,55	0,41
GCACmoy	0,67	-0,63	0,98	0,79		0,80	0,71	0,59	0,72
GCACtot	0,63	-0,18	0,83	0,97	0,80		0,75	0,59	0,42
hCACmoy	0,64	-0,37	0,79	0,83	0,71	0,75		0,54	0,50
rdtha	0,30	-0,34	0,58	0,55	0,59	0,59	0,54		0,86
rdtmoyind	0,35	-0,61	0,67	0,41	0,72	0,42	0,50	0,86	

ANNEXE 13: MATRICE DES CORRÉLATIONS POUR CHACUN DES TYPES ARCHITECTURAUX

1

	Hauteur	Surface terrière	Nbt.	Rdt pot.
Hauteur	1	0,54	NA	0,48
Surface terrière	0,54	1	NA	0,67
Nbt.	NA	NA	1	NA
Rdt pot.	0,48	0,67	NA	1

2

	Hauteur	Surface terrière	Nbt.	Rdt pot.
Hauteur	1	0,47	NA	0,40
Surface terrière	0,47	1	NA	0,71
Nbt.	NA	NA	1	NA
Rdt pot.	0,40	0,71	NA	1

3

	Hauteur	Surface terrière	Nbt.	Rdt pot.
Hauteur	1	0,52	NA	0,30
Surface terrière	0,52	1	NA	0,64
Nbt.	NA	NA	1	NA
Rdt pot.	0,30	0,64	NA	1

4

	Hauteur	Surface terrière	Nbt.	Rdt pot.
Hauteur	1	0,72	-0,08	0,46
Surface terrière	0,72	1	0,07	0,72
Nbt.	-0,08	0,07	1	-0,02
Rdt pot.	0,46	0,72	-0,02	1

5

	Hauteur	Surface terrière	Nbt.	Rdt pot.
Hauteur	1	0,43	0,14	0,47
Surface terrière	0,43	1	0,35	0,75
Nbt.	0,14	0,35	1	0,19
Rdt pot.	0,47	0,75	0,19	1

6

	Hauteur	Surface terrière	Nbt.	Rdt pot.
Hauteur	1	0,72	-0,08	0,46
Surface terrière	0,72	1	0,07	0,72
Nbt.	-0,08	0,07	1	-0,02
Rdt pot.	0,46	0,72	-0,02	1

ANNEXE 14: MATRICE DES CORRÉLATIONS ENTRE CARACTÉRISTIQUES DES PEUPELEMENTS ASSOCIÉS ET CACAOYERS

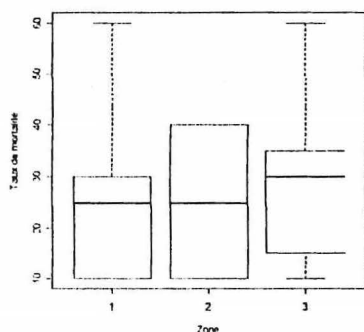
	densASS	densCAC	densglo	GASSmoy	GASStot	GCACmoy	GCACtot	Gglo	hASSmoy	hCACmoy
densASS		0,24	0,43	-0,49	0,01	-0,56	-0,50	-0,51	-0,38	-0,57
densCAC	0,24		0,98	-0,22	-0,01	-0,63	-0,18	-0,19	0,14	-0,37
densglo	0,43	0,98		-0,31	-0,01	-0,70	-0,27	-0,28	0,05	-0,46
GASSmoy	-0,49	-0,22	-0,31		0,59	0,18	0,04	0,26	0,60	0,26
GASStot	0,01	-0,01	-0,01	0,59		-0,20	-0,24	0,11	0,37	0,05
GCACmoy	-0,56	-0,63	-0,70	0,18	-0,20		0,80	0,75	0,01	0,71
GCACtot	-0,50	-0,18	-0,27	0,04	-0,24	0,80		0,94	0,07	0,75
Gglo	-0,51	-0,19	-0,28	0,26	0,11	0,75	0,94		0,21	0,78
hASSmoy	-0,38	0,14	0,05	0,60	0,37	0,01	0,07	0,21		0,18
hCACmoy	-0,57	-0,37	-0,46	0,26	0,05	0,71	0,75	0,78	0,18	

ANNEXE 15: TAUX DE MORTALITÉ

A. Taux de mortalités par parcelle

Bokito		Zima		Ngomedzap	
Code parcelle	Taux de mortalité (ind/ha/an)	Code parcelle	Taux de mortalité (ind/ha/an)	Code parcelle	Taux de mortalité (ind/ha/an)
11	10	25	40	32	20
12	30	25	20	34	10
13	30	26	30	35	30
14	30	27	20	36	20
15	10	28	10	37	10
19	30	28	10	38	60
110	30	212	20	311	30
111	10	213	10	312	30
112	20	214	90	313	40
114	10	216	30	314	50
116	10			315	40
121	60			316	10
				318	20
				319	30
				320	10

B. Dispersion des taux de mortalités selon les zones et test de Kruskal-Wallis

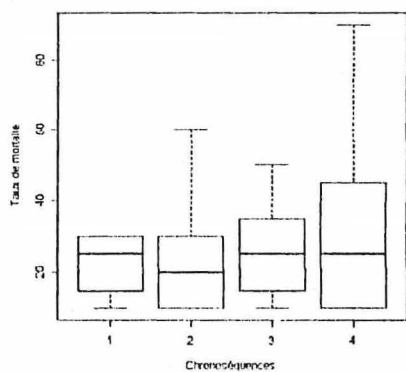


Kruskal-Wallis rank sum test

data: mort by zone
Kruskal-Wallis chi-squared = 0.5939,
df = 2, p-value = 0.743

⇒ *H0 acceptée égalité des moyennes)*

C. Dispersion des taux de mortalités selon les chronoséquences et test de Kruskal-Wallis



Chronoséquences	Taux de mortalité moyen (ind/an/1000m ²)
1	22,50
2	23,85
3	25,83
4	32,50

Kruskal-Wallis rank sum test

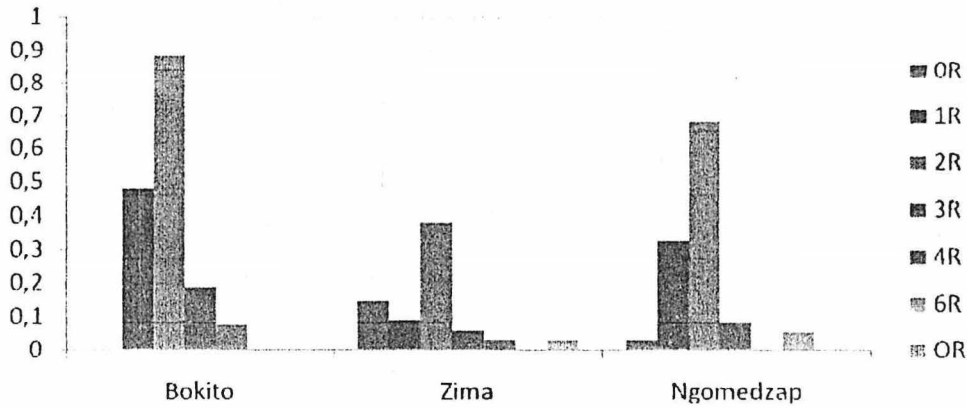
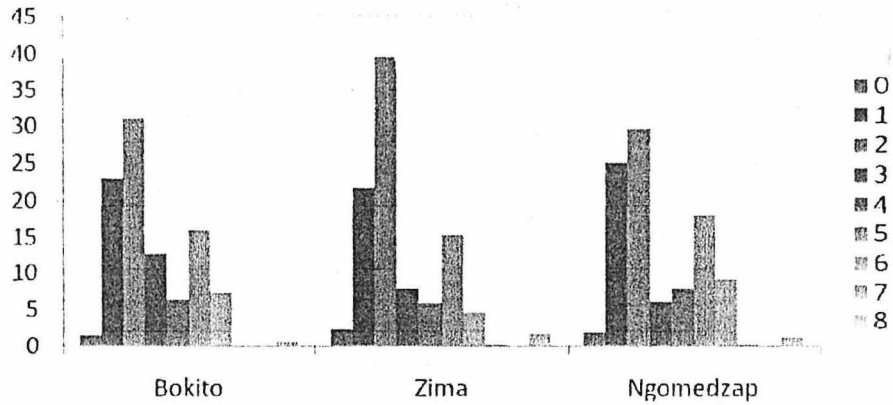
data: tmort by ch
Kruskal-Wallis chi-squared = 0.3467
df = 3, p-value = 0.951

⇒ *H0 acceptée au risque 5%*

ANNEXE 16: LES TYPES ARCHITECTURAUX

A. Pourcentage des différents types architecturaux sur les trois zones.

En haut, les types non régénérés et en bas, les types régénérés.



B. Test de Chi2 sur l'indépendance entre les facteurs zones et types

Tableau de contingence

Zone	0	OR	1	1R	2	2R	3	3R	4	4R	5	6	6R	7	8	9
1	39	0	620	13	844	24	344	5	170	2	433	198	0	1	0	13
2	77	6	738	3	1351	13	267	2	199	1	528	155	0	7	3	58
3	66	1	920	12	1087	25	220	3	287	0	658	336	2	6	1	42

Résultats du test

Pearson's Chi-squared test

$X\text{-squared} = 294.791, df = 34, p\text{-value} < 2.2e-16$

⇒ H_0 rejetée au risque 5%

RÉSUMÉ

Le cacaoyer (*Theobroma cacao*) est la troisième culture pérenne d'exportation dans les zones forestières humides (Donald 2004). Au Cameroun, en particulier, 400 000 ménages vivent directement des produits issus des cacaoyères (Jagoret et Nyassé 2004). Pourtant très peu d'études ont porté sur leurs fonctionnements et l'élaboration du rendement cacaoyer en situation agroforestière. Dans le Centre Cameroun, la cacaoculture est pratiquée sur des systèmes agroforestiers, à base de cacaoyer (SAFC) qualifiés de complexes car : (i) ce sont des associations temporelles (ii) et spatiales (iii) dont la diversité spécifique est élevée (iv) et les fonctions très variées. (iv) Enfin, les différentes espèces fonctionnent sur des pas de temps différents. Ces caractéristiques limitent l'application des méthodes d'évaluation des systèmes de cultures (tel le Diagnostic Agronomique Régional, Doré *et al.* 1997, 2004), qui sont établies pour des agrosystèmes monospécifiques et équiennes de milieu tempéré. Une méthode d'évaluation des performances des SAFC a été proposée à partir d'un réseau de 60 cacaoyères du Centre-Cameroun réparties dans trois zones aux conditions pédoclimatiques distinctes. Trois niveaux d'analyse ont été abordés : la parcelle, la composante cacaoyère et enfin des groupes homogènes d'individus. À l'échelle de la parcelle, une méthode d'estimation de l'importance relative, à dire d'acteurs (Méthode de distribution des cailloux, Sheil 2004) a permis de révéler les attentes fonctionnelles des exploitants et les espèces qu'ils considèrent les plus importantes. À l'échelle de la composante cacaoyère, un modèle linéaire généralisé a été établi et permet une assez bonne prédiction des rendements parcellaires ($R^2=0,77$). Ces travaux ont révélés le fort effet négatif des densités de plantation en espèces associées, sur les variables morphologiques des cacaoyers. Les travaux à l'échelle individuelle ont permis de s'intéresser plus spécifiquement à certains éléments des pratiques culturales, en particulier, nous avons pu identifier en partie les caractéristiques morphologiques essentielles à la production de l'individu. Nous concluons qu'il est nécessaire d'approfondir les recherches agronomiques sur ces systèmes complexes et de mettre au point des outils permettant d'évaluer les bénéfices écologiques qu'ils apportent.

SUMMARY

The cocoa tree (*Theobroma cocoa*) is the third perennial culture of export in the wet forest zones. In Cameroon, in particular, 400 000 households live directly from cocoa farms' products stemming. Nevertheless, few farm-researches concerned their functioning and their yield component in agroforestry situation. In the Center Cameroon, the cacaoculture is practiced on agroforestry systems based on cacao tree (AFSC). This systems are qualified as complexes because : (i). they are temporal associations, (ii) and spatial, (iii) whose specific variety of which is high, (iv) and functions very varied. (iv) Finally, different species work on different steps of time. These characteristics limit the application of classical method of evaluation of cropping systems like Regional Agronomic Diagnosis (RAD), which are established for temperate zone's monospecific and even-aged agrosystems. A performances' method of AFSC's evaluation was proposed from 60 Centre-Cameroun's cocoa farm's network distributed in three zones on different pedoclimatic conditions. Three levels of analysis were approached: the plot scale, the cocoa component and homogeneous groups of individuals. On the plot scale, a quantifying method of relative importance, according to actors (*Méthode de distribution des cailloux*, Sheil 2004), has revealed the farmers' functional expectations and species they consider the most important. On cocoa's component's scale, a generalized linear model was established and allowed a rather good prediction of yields ($R^2=0,77$). These work revealed a strong negative effect of plantation density on cocoa trees' morphological variables. Individual scale allowed making clearly the effect of some agricultural practices. In particular, we identify the essential morphological characteristics that make effects on the individual production. We conclude on the necessary to fathom agronomic researches on these complex systems and to work out tools allowing estimating their ecological profits.