

UNIVERSITÉ DE DSCHANG
UNIVERSITY OF DSCHANG

FACULTÉ D'AGRONOMIE ET
DES SCIENCES AGRICOLES

DÉPARTEMENT
D'AGRICULTURE



FACULTY OF AGRONOMY AND
AGRICULTURAL SCIENCES

DEPARTMENT OF CROP
SCIENCE

**ÉVALUATION DES RENDEMENTS POTENTIELS EN
CACAO (*Theobroma cacao* L) DANS LES SYSTÈMES
AGROFORESTIERS COMPLEXES EN ZONE FORESTIÈRE
À PLUVIOMÉTRIE BIMODALE DU CENTRE CAMEROUN**

PAR
ESSOLA ETOA Louis Childéric

Mémoire présenté en requis partiel pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur
Agronome option Productions Végétales

Décembre 2014

UNIVERSITÉ DE DSCHANG
UNIVERSITY OF DSCHANG

FACULTÉ D'AGRONOMIE ET
DES SCIENCES AGRICOLES



FACULTY OF AGRONOMY AND
AGRICULTURAL SCIENCES

DÉPARTEMENT
D'AGRICULTURE

DEPARTMENT OF CROP
SCIENCE

**ÉVALUATION DES RENDEMENTS POTENTIELS EN
CACAO (*Theobroma cacao* L) DANS LES SYSTÈMES
AGROFORESTIERS COMPLEXES EN ZONE FORESTIÈRE
À PLUVIOMÉTRIE BIMODALE DU CENTRE CAMEROUN**

PAR

ESSOLA ETOA Louis Childéric

Ingénieur des Travaux Agricoles option Productions Végétales

Encadreur

Dr. Ing. Stéphane
SAJ
Chercheur CIRAD

Co-superviseur

Dr. BEYEGUE DJONKO Honoré
*Assistant, FASA Université de
Dschang*

Superviseur

Dr. MVONDO AWONO
Jean-Pierre
*Chargé de cours, FASA
Université de Dschang*

Décembre 2014

FICHE DE CERTIFICATION DE L'ORIGINALITÉ DU TRAVAIL

Je soussigné ESSOLA ETOA Louis Childéric, atteste que le présent mémoire est le fruit de mes propres travaux effectués au Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), sous l'encadrement de Dr. Ing. Stéphane SAJ chercheur de l'Unité de Recherche Mixte (URM), Agronomie Système, et sous la co-supervision de Dr. MVONDO AWONO Jean-Pierre, Charge de Cours, Coordonnateur de la Filière des Métiers du Bois, de l'Eau et de l'Environnement (FMBEE) de la Faculté d'Agronomie et des Sciences Agricoles (FASA), Université de Dschang à Ebolowa, et de Dr. BEYEGUE DJONKO Honoré Assistant au Département d'Agriculture de la Faculté d'Agronomie et des Sciences Agricoles de l'Université de Dschang.

Ce mémoire est authentique et n'a pas été antérieurement présenté pour l'acquisition de quelque grade universitaire que ce soit.

L'Auteur

Co-superviseur

Le Superviseur

ESSOLA ETOA Louis
Childéric

Dr. BEYEGUE DJONKO Honoré

Dr. MVONDO AWONO
Jean-Pierre

Date

Date

Date

Le Chef de Département

Date

DÉDICACE

À mes parents M. ESSOLA ETOA Louis Roger et Mme MEKOU Sylvie à qui je prie de trouver dans ce travail le fruit de leurs nombreux sacrifices et l'objet de mes absences répétées.

À ma feu grand-mère OKALA Jeanne à qui je ne saurais dire combien elle me manque. Que le Seigneur miséricordieux ait pitié de son âme.

REMERCIEMENTS

Je rends grâce au Seigneur tout puissant pour tant de prodiges dans ma vie et surtout pour la santé de fer dont il continue à me donner.

Merci spécial à mon encadrant de terrain Dr. Ing. Stéphane SAJ, pour tous les sacrifices consentis afin de nous mettre dans les conditions de travail, et surtout pour toute l'attention qu'il m'a accordé durant ce stage même sur son lit d'hospitalisation à Paris.

À mon superviseur Dr. MVONDO AWONO Jean-Pierre qui, malgré ses multiples charges n'a ménagé aucun effort pour un suivi rigoureux de ce travail.

À Dr. BEYEGUE DJONKO Honoré mon Co-superviseur pour sa disponibilité et sa contribution dans ce travail.

Au Pr. TABI Fritz OBEN pour sa disponibilité vis-à-vis des étudiants.

Merci au Directeur Régional du Cirad Patrick GRIMAUD pour les moyens mobilisés afin que ce travail s'effectue aussi bien sur le terrain qu'au bureau.

Merci à mon père ESSOLA ETOA Louis Roger pour le soutien indéfectible et inconditionné.

Mme. EPOH Blandine pour tout le soutien et conseils inconditionnés.

M. et Mme BESSOAN ELANG pour les précieux conseils et leur soutien démesuré.

M. et Mme NGUINI de m'avoir toujours laissé ouvertes les portes de leur demeure.

Merci au Noyau Dur (MBARGA Emmanuel, MVONGO NKENE Mikhaïl, ELANGA Boris, AMYA ELOMO) pour tout le soutien que vous m'avez apporté.

Merci à mes amis (es) : FONKENG Eltson, NGAKO BOLI, BAKEMHE Madeleine, MAKEUGUIM Adèle et à tous mes compagnons du campus G.

Un merci particulier à AKOUAKO NDJIMA Nanette pour tous les sacrifices consentis et le soutien que tu m'as apporté pendant la durée de ce stage.

À Messieurs. MVONDO SAKOUMA Kenneth, MBOUABI Emmanuel, ESSOMBA Cosmas et. FOUDA OWONA Félix pour leurs précieux conseils.

RÉSUMÉ

La cacaoculture telle que pratiquée par les paysans dans les systèmes agroforestiers complexes (SAFCs), a fait l'objet de très peu d'études à cause de la faiblesse présumée des rendements en cacao marchand. Nonobstant leur faible aptitude à produire du cacao marchand, les SAFCs offrent plusieurs services écosystémiques qui représentent la possibilité de concilier durabilité et productivité. Dans cette étude, 34 champs classés dans une chronoséquence allant des cacaoyères de moins de 10 ans à celle ayant plus de 60 ans ont été évalués ; 544 cacaoyers ont été suivis particulièrement à raison de 16 par champ. Les cacaoyers ont été sélectionnés selon un échantillonnage aléatoire simple, et les données suivantes ont été collectées sur chaque cacaoyer : type architectural, diamètre à hauteur de poitrine (DHP), la hauteur, et les cabosses mûres classées selon leur état sanitaire. Toutes les cabosses de longueur ≥ 10 cm ont été comptées et marquées à la peinture à huile, sur la totalité des arbres présents dans les placettes de 800 m² mises en place. La collecte des données se faisait à intervalle de temps régulier de six semaines, et a duré six mois. Deux cents cabosses ont été collectées afin d'estimer le poids d'une cabosse entière, le poids des fèves de cette dernière, le nombre de fève. Les espèces apportant de la nourriture au ménage ont été recensées à dire d'acteurs. Les données secondaires issues des caractérisations effectuées sur le même site en 2013 ont également été utilisées. Il ressort finalement que le rendement potentiel moyen en cacao marchand dans l'arrondissement de Ngomedzap est de 430,444 kg.ha⁻¹. La surface terrière par cacaoyer a révélé une très forte corrélation positive avec le rendement en cacao marchand, contrairement à la densité des arbres associés qui en est négativement associée. La tendance observée avec les arbres associés est plus marquée pour les arbres associés de DHP inférieur à 30 cm. Mais la contribution des Ass dans le stockage du carbone (C) et l'offre des denrées alimentaires aux ménages sont des fonctions importantes des SAFCs. Le stock moyen de C des Ass est estimé à 134,996 t/ha, contre 5 t/ha pour les cacaoyers. On dénombre principalement quatre espèces qui produisent de la nourriture : *Persea Americana*, *Dacryodes edulis*, *Mangifera indica*, et *Triplochyton scleroxylon*. Le rendement en cacao marchand et la capacité de stockage de carbone des arbres associés n'ont pas montré de dépendance avec l'âge des cacaoyères. Par contre une dynamique interne des densités de peuplements cacaoyers et Ass est observée dans les différentes classes d'âge, bien que les rendements en cacao marchand ne montrent pas de différences significatives dans cette chronoséquence. La redensification des cacaoyères n'a

pas d'impact sur le rendement qui tend à rester constant dans les SAFCs étudiés ; ceci est l'expression d'une production moyenne à long terme et de la durabilité des SAFCs.

Mots clés : cacao ; système agroforestier complexe ; stock de carbone ; rendement potentiel ; durabilité

ABSTRACT

Very few studies have been carried out in the system of cultivation of cocoa carried out by local farmers in agroforestry system due to their low cocoa yield. Due to the numerous ecosystem services they offer, complex agroforestry systems represent the hope for prolonged sustainability in production. 34 sample farms of different age groups and 544 cocoa plants (16 from each farm) were studied. The cocoa trees were selected in a simple random manner and data on the following parameters were collected: DBH, height, and a description of ripe pods with respect to their sanitary state. Following this, a survey was conducted and with the help of farmer inventoried all trees which in one way or another supplied food to the farmer and his household. Data obtained from characterization of these plots from a previous study was used.

It was observed that mean cocoa yield in Ngomedzap was $430.44 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, and it is strongly related to the basal area of the cocoa, density of associated trees and basal area of associated trees (particularly those which basal area and density are less than 30 cm). The contribution of associated trees in the amount of carbon stored and the supply of food to household cannot be neglected. The average amount of carbon stored by associated trees is 134.996 t/ha whilst 5 t/ha for cocoa trees. There are four main species providing food (*Persea Americana*, *Dacryodes edulis*, *Mangifera indica* and *Triplochyton scleroxylon*).

The relationship between yield and total carbon stock is independent from the age of the farms. With regards cocoa and associated tree density, they both vary or change with time. This portrays an average production in the long run and a sustainability of agroforestry systems.

Keys words: cocoa; potential yield; complex agroforestry system; carbon stock; sustainability.

Table des matières

DÉDICACE	ii
REMERCIEMENTS	iii
RÉSUMÉ	iv
ABSTRACT	
vi	
CHAPITRE 1 INTRODUCTION	1
1.1 Contexte	1
1.2 Problématique.....	3
1.3. Objectif de l'étude	5
1.3.1 Objectif global.....	5
1.3.2 Objectifs spécifiques	5
1.4. Intérêt de l'étude.....	5
1.4.1 Intérêt pour le développement agricole	5
1.4.2 Intérêt pour la recherche.....	5
1.5. Étendue et limites de l'étude	5
1.5.1 Étendue de l'étude	5
1.5.2 Limite de l'étude	6
CHAPITRE 2. REVUE DE LA LITTÉRATURE ET DÉFINITIONS DE QUELQUES CONCEPTS.....	9
2.2 Généralités sur les systèmes Agroforestiers à base de cacao	9
2.2.1 Caractérisation des systèmes Agroforestiers à base de cacao	11
2.3 Généralités sur le cacao.....	13
2.3.1 Origine et dispersion du cacao dans le monde	13
2.3.2 Écologie.....	15
2.3.3 Principales étapes de la culture du cacao.....	17
2.3.4 La plante.....	19
CHAPITRE 3 MATÉRIELS ET MÉTHODES.....	20

3.1 Description de la zone d'étude	20
3.1.1 Situation géographique et administrative	20
3.1.2 Milieu physique.....	20
3.1.3 Milieu socio-culturel	20
3.2 MATÉRIEL ET MÉTHODOLOGIE.....	21
3.2.1 Choix du site d'étude.....	21
3.2.2 Choix du dispositif expérimental et description.....	21
3.2.3 Type d'échantillonnage	24
3.2.4 Paramètres d'étude	24
3.2.5 Critères de classification des plantations en fonction du niveau d'entretien	33
3.2.6 Gestion des peuplements cacaoyers et peuplements associés.....	34
3.3 ANALYSE STATISTIQUE.....	34
CHAPITRE 4. RÉSULTATS ET DISCUSSION.....	35
4.1 RÉSULTATS ET DISCUSSION.....	35
4.1.1 RENDEMENT POTENTIEL EN CACAO MARCHAND ET SES COMPOSANTES.....	35
4.1.2 Densité de peuplement cacaoyer	38
4.1.3 Surface terrière de peuplement cacaoyer.....	41
4.1.4 Densité des arbres associés	42
4.1.5 Stock de carbone	43
4.1.6 Relation entre rendement potentiel et les variables d'état du peuplement cacaoyer.....	44
4.1.7 Relation entre le rendement potentiel et les stocks de carbone des SAFCs.....	47
4.1.8 Produits autres que le cacao issus des SAFCs.....	47
4.1.9 Critères de classification des plantations en fonction du niveau d'entretien	48
CHAPITRE 5. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	51
5.1 Conclusion.....	51
5.2 Recommandations	51

LISTES DES FIGURES

Figure 1: Zones de production du cacao dans le monde (d'après Mossu, 1990 modifiée par l'auteur).....	14
Figure 2: dispositif d'observation Saj, CIRAD, 2014.....	23
Figure 3: Processus de marquage et de comptage de cabosses dans la placette Saj, CIRAD, 2014	25
Figure 4: Schéma de sélection de 16 cacaoyers dans une placette© Saj, CIRAD, 2014	26
Figure 5: processus de marquage et comptage des cabosses sur les 16 arbres identifiés Saj, CIRAD, 2014	27
Figure 6: Typologie des architectures de cacaoyers (Jagoret, 2012)	29
Figure 7: Variétés de cacao cultivées dans le centre Cameroun (Jagoret 2011)	30
Figure 8: Histogramme de distribution des plantations en fonction des classes de rendement potentiel.	36
Figure 9: Histogramme de distribution des cacaoyères suivant le nombre moyen de cabosse par cacaoyer	37
Figure 10: Courbes de production des cabosses.....	37
Figure 11: Histogramme de distribution des cacaoyères par classe de densité.....	39
Figure 12: Histogramme regroupant les densités 2013-2014 par classe de densité.....	40
Figure 13: Courbes d'évolution des densités de peuplement cacaoyer avec l'âge.....	40
Figure 14: Histogramme présentant l'évolution des surfaces terrières au fil du temps.....	42
Figure 15: évolution des rendements potentiels et des densités des arbres associés dans la chronoséquence.....	43
Figure 16: histogramme présentant l'évolution des stocks de C et des densités des arbres associés selon les âges.	44
Figure 17: Analyse en composantes principales des variables actives et des variables supplémentaires du rendement	45

LISTE DES TABLEAUX

Table 1: Récapitulatif des rendements potentiels moyens et du nombre moyen de cabosse par cacaoyer et des stocks de carbone.....	36
Table 2: effectif des champs dans chaque classe d'âge	38
Table 3: Récapitulatif des densités moyennes et surfaces terrières moyennes	39
Table 4: Analyse de la covariance.....	46
Table 5: Critères de classification des plantations	48

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1: Récapitulatif des arbres Associés aux cacaoyères produisant de la nourriture.....	58
Annexe 2: Matrice de corrélation (Pearson)	59
Annexe 3: matrix de corrélation entre le rendement potentiel et les variables d'états du peuplement cacaoyer	60
Annexe 4: Fiche de collecte parcelle Saj, CIRAD, 2014	61
Annexe 5: Fiche de collecte cacaoyer Saj, CIRAD, 2014	62
Annexe 6: Statistiques descriptives.....	63
Annexe 7: photo de quelques outils de travail	64

LISTE DES ACRONYMES ET ABRÉVIATIONS

AGB :	Aboveground Biomass ou Biomasse aérienne
Ass :	Arbre associé aux cacaoyères,
BGB:	Bellow Ground Biomass ou biomasse racinaire
CCNUCC :	Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques
CIRAD :	Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement.
COMIFAC :	Commission des Forêts d’Afrique Central
DHP :	Diamètre à Hauteur de Poitrine/ Diameter at Breast Height (DBH) en anglais
DSCE :	Document stratégique pour la croissance et l’emploi
FAAP:	Framework for African Agricultural Productivity
FASA :	Faculté d’Agronomie et des Sciences Agricoles
FAO :	Food and Agriculture Organization
FOGEFOR :	Formation à la gestion forestière
FUPROCAN :	Fédération d’Unions des Producteurs de Cacao de Ngomedzap
GPS :	Global Positioning System
ICRAF :	International Centre for Research on Agroforestry connu de nos jours sous la Dénomination de World Agroforestry Centre (WAC)
IRAD :	Institut de Recherche Agricole pour le Développement
IRD :	Institut de Recherche pour le Développement
NEPAD :	Nouveau Partenaire pour le Développement africain
PDDAA :	Programme Détaillé de Développement Agricole pour l’Afrique

CHAPITRE 1 INTRODUCTION

1.1 Contexte

Le Programme Détaillé de Développement Agricole pour l'Afrique (PDDAA), lancé par le Nouveau Partenariat pour le Développement Africain (NEPAD), s'est fixé un objectif ambitieux de croissance de 6% par an pour le secteur agricole (PNIA, 2014). La réalisation de cet objectif est subordonnée à la mise en œuvre des quatre axes ci-après :

- l'extension de la superficie cultivée et des systèmes efficaces de maîtrise de l'eau ;
- l'amélioration des infrastructures rurales et des capacités liées au commerce ;
- l'amélioration de la production vivrière et la réduction du problème de la faim ;
- la recherche agricole, la diffusion et l'adoption des technologies.

En ce qui concerne spécifiquement le quatrième axe, le Framework for African Agricultural Productivity (FAAP) propose de renforcer les systèmes de connaissances agricoles capables de fournir des technologies durables et rentables qui seront largement adoptées par les agriculteurs, afin d'assurer une croissance agricole durable (Fara, 2006). Le rapport de la Banque Mondiale sur le développement du monde publié en 2008 « *l'agriculture est un instrument de développement crucial pour la réalisation de l'objectif de développement pour le millénaire qui consiste à réduire de moitié d'ici 2015 la proportion de la population vivant dans l'extrême pauvreté et souffrant de faim chronique* ». C'est ainsi que le pacte PDDAA au Cameroun traduit un engagement commun d'œuvrer (à travers le Plan National d'investissement Agricole), pour porter les performances du secteur agricole à la hauteur des potentialités du pays avec une croissance agricole d'au moins 10% à l'horizon 2020 (PNIA, 2014). Seulement, la croissance envisagée ici sous-entend un passage radical vers une agriculture de seconde génération. La production nationale envisagée pour le cacao en 2020 est de 600 mille tonne, dont 140 mille proviendront de la région du Centre (PNIA, 2014). Mais dans le contexte actuel de diminution des terres disponibles, de pression démographique rurale, de crise alimentaire, de limites atteintes par l'intensification conventionnelle de l'agriculture et de changement climatique, la communauté scientifique internationale porte un intérêt croissant aux systèmes pouvant concilier productivité et durabilité dans la même unité de terre : cas des systèmes agroforestiers complexes (SAFC).

Face à la dégradation des conditions de production dans les cacaoyères âgées, le développement de la cacaoculture africaine est ainsi en bonne partie basé sur le déplacement

des zones de culture au détriment des zones forestières qui ont aujourd'hui pratiquement disparues dans les pays tels que la Côte d'Ivoire et le Ghana. Paradoxalement dans la région du Centre Cameroun, où la pression démographique et la présence de migrants sont relativement limitées, le modèle de cacaoculture repose principalement sur les systèmes anciens et complexes d'agro-forêts que les agriculteurs camerounais, ont maintenus au cours du temps (Jagoret, 2011). Le contraste du Centre Cameroun avec les dynamiques observées en Afrique de l'Ouest suscite des interrogations sur les facteurs responsables de la pérennisation de ces systèmes, ainsi que sur leurs chances de survie et sur leurs voies d'évolutions malgré les changements actuels, et partants, les enseignements à tirer de ce modèle pour accroître la durabilité des pratiques de cacaoculture dans d'autres régions. Au Cameroun en général, les enjeux concomitants de développement relatifs aux performances et à la durabilité des systèmes de culture à base de cacaoyers et de caféiers sont considérables. L'agroforesterie (AF) constituerait donc l'une des solutions à mettre en œuvre pour faire face au défi de l'intensification écologique des agroécosystèmes (produire plus et mieux avec peu/moins d'intrants).

Le projet SAFSE (CIRAD/IRAD) s'inscrit donc dans le cadre d'un intérêt grandissant pour l'agroforesterie comme réponse aux défis majeurs auxquels sont confrontés les pays tropicaux: pauvreté, insécurité alimentaire, perte de biodiversité et changements climatiques (pour l'humanité toute entière). Réalisée au sein de l'Unité de Recherche Mixte du CIRAD (URM), la présente étude est l'un des éléments du puzzle visant à évaluer les rendements potentiels en cacao marchand des SAFCs, ainsi que les rendements des arbres associés produisant des produits d'alimentation pour les ménages. Elle est menée à la suite des évaluations du stock de carbone, et des propriétés des sols. Elle est menée de façon concomitante à celle sur l'impact des bio-agresseurs et sera suivie par plusieurs autres études conformément aux objectifs du projet. L'idée est d'établir les bases permettant la compréhension de ce système longtemps ignoré par la recherche agronomique.

1.2 Problématique

Au Cameroun, le cacao est à plus de 80% cultivé par les petits planteurs du pays (Duguma *et al.*, 2001). La cacaoculture camerounaise présente une grande diversité de caractéristiques culturelles, de pratique de gestion, de durabilité environnementale et surtout une rentabilité économique due à sa complexité (Duguma *et al.*, 2001). Selon les études récentes menées au Centre Cameroun par Saj *et al.* (2013), Duguma *et al.* (2001), la cacaoculture en système complexe est reconnue comme très peu épuisante pour les ressources du sol, conservatrice de biodiversité, efficace en terme de séquestration de carbone. Vu sous cet angle, les systèmes agroforestiers complexes à base de cacao sont de loin supérieurs aux systèmes de production vivrier utilisant l'agriculture itinérante sur brûlis (Duguma *et al.*, 2001). Il a été démontré en Bolivie que dans les plantations cacaoyères en culture pure, les maladies et les infestations par les bio-agresseurs sont plus fréquentes et que les sols perdent progressivement leur fertilité (FiBL, 2012). Ce qui n'est pas le cas dans les SAF camerounais. En outre, il a été démontré par Petithuguenin (1995) et Lachenaud (2005) qu'en l'absence de fertilisation minérale, (ce qui est fréquemment le cas des cacaoyères familiales), le rendement des cacaoyères installées après une défriche forestière est ainsi élevé 900 à 1200 kg ha⁻¹ pendant les premières années d'exploitation des cacaoyères. Mais après 20 à 30 ans, voir moins, il s'effondre. L'existence, au Centre Cameroun, de cacaoyères agroforestières anciennes (âge supérieur à 60 ans) et toujours actives nous incite à penser qu'un modèle de cacaoculture en système complexe tel que défini par Torquebiau (2000), et différent du modèle technique recommandé par l'agronomie « classique », existe. Mis au point par les agriculteurs selon des logiques différentes de celles des scientifiques, ce modèle a été cependant peu étudié en raison de la faiblesse présumée de ses rendements en cacao marchand. Les rendements en cacao marchand dans le Centre Cameroun seraient donc moins élevés qu'au Sud-Ouest : entre 100 et 250 kg.ha⁻¹ dans le Nyong et So'o, et entre 250 et 500 kg.ha⁻¹ dans la Lékié et le Mbam et Kim contre 600 kg.ha⁻¹ en conduite semi-intensive, et 900 kg et 1200 kg.ha⁻¹ en conduite intensive du verger (Jagoret, 2011). Globalement, les itinéraires techniques seraient extensifs, caractérisés par des désherbages réduits, une absence de taille et de réglage de l'ombrage. À Ngomedzap, dans le Nyong et So'o, il a été établi par des études récentes que les systèmes agroforestiers à base de cacao présentent trois types structuraux qui impactent différemment sur l'état du peuplement cacaoyer et donc sur le rendement en cacao marchand (Jagoret, 2012). Les trois types structuraux évoqués ici sont :

- une surface terrière par cacaoyer plus faible, par rapport à celle observée dans le modèle recommandé par l’Institut de Recherche Agronomique pour le Développement (IRAD) ;
- un taux de cacaoyers adultes improductifs plus élevé de 28,4% (Jagoret, 2011) ;
- les densités de cacaoyers élevées par rapport au modèle recommandé par la recherche agronomique, qui prône une densité maximale de 1111 pieds à l’hectare en culture associée ; des densité de peuplements associés élevée de 158 arbres .ha⁻¹ (Jagoret *et al.*, 2011).

Ces trois types structuraux permettent de visualiser les principales corrélations entre les composantes du rendement et les facteurs du rendement en cacao marchand (Jagoret *et al.*, 2012). Or, les causes de ces niveaux de rendements faibles n’ont que rarement été étudiées et restent peu connues. Le décalage qui existe entre la cacaoculture telle qu’elle est habituellement décrite et ce qui est observé par certains au Centre Cameroun nous amène à nous interroger sur le fonctionnement et les conditions du maintien sur le temps long du système agroforestier à base de cacaoyer mis au point par les agriculteurs de cette région. Dans l’optique de comprendre les interactions prédominantes *in situ* dans SAFCs en zone de forêt, une évaluation des rendements potentiels en cacao marchand et concomitamment une étude de leur dynamique à travers une chronoséquence seraient un bon point de départ. Ainsi, les variables qui expliquent mieux les dynamiques observées seront mise en évidence.

Pour le faire, notre étude aura pour fondation les questions suivantes :

- comment varient les rendements potentiels en cacao dans une chronoséquence de SAFCs en fonction des variables du rendement?
- peut-on établir dans les conditions de complexité qui prévalent dans lesdits systèmes, un compromis entre services écosystémiques et rendement potentiel optimum *in situ* ?
- quel est la variable (surface terrière par cacaoyer, type architectural, la variété, la biomasse, les stocks de carbonnes) qui explique le mieux les rendements ?

1.3. Objectif de l'étude

1.3.1 Objectif global

La présente étude vise globalement à évaluer la dynamique temporelle des rendements en cacao marchand dans un réseau de champs chronoséquencé en faisant le lien avec les services écosystémiques des SAFCs.

1.3.2 Objectifs spécifiques

Plus spécifiquement, il sera question pour de :

- évaluer le rendement potentiel en cacao de chaque classe d'âge ;
- établir les relations entre le rendement potentielle d'une classe d'âge et quelques variables biophysiques spécifiques au SAFCs ;
- établir une corrélation entre le rendement en cacao et les stocks de carbone des arbres associés ;
- établir un modèle de caractérisation multicritères propre aux SAFCs.

1.4. Intérêt de l'étude

1.4.1 Intérêt pour le développement agricole

1.4.2 Intérêt pour la recherche

Dans le contexte actuel de lutte contre la faim de la sécurité alimentaire et de la lutte contre les changements climatiques, la recherche agronomique s'intéresse désormais aux systèmes de productions faisant le compromis entre ces enjeux majeurs(en particulier les SAFC). Cette étude est une partie d'une longue série, qui permettront à la recherche de déterminer les interactions (tant bien aériennes que souterraines) qui régissent les SAFC et qui sont le gage de leur durabilité.

1.5. Étendue et limites de l'étude

1.5.1 Étendue de l'étude

Cette étude traitera de l'évaluation de la production en cabosses de cacao afin d'établir le rendement potentiel de chaque classe d'âge des SAFCs. Elle s'intéressera aussi à l'évaluation des espèces associées par unité de surface, à la détermination du type architectural; détermination des biomasses des arbre, l'estimation des stocks de carbone ; classement des

plantations en fonction du niveau d'entretien, évaluation des productions associées (produisant de la nourriture) destinées soit à l'autoconsommation soit à la vente.

1.5.2 Limite de l'étude

Le réseau de parcelles qui accueille cette étude est constitué essentiellement de champs appartenant à des paysans, et dont les activités ne prennent pas en considération les différentes unités expérimentales; la disponibilité des paysans; l'évaluation des quantités produites par les arbres associés est basée sur dires d'acteurs.

La priorité est l'évaluation des rendements potentiels, en cacao marchand dans les conditions de la période de l'étude.

1.6. Présentation du Centre de Coopération International en Recherche Agronomique pour le Développement(CIRAD).

Depuis 1984 (date de sa création), le Cirad centre de recherche agronomique français œuvre avec les pays du sud pour le développement de leur agriculture et l'amélioration des conditions de vie (Mvondo, 2013). Présent dans plusieurs pays africain et au Cameroun en particulier (direction régionale), le Cirad œuvre principalement dans les axes suivants :

Appui aux filières agro-industrielles d'exportation : du cacao, coton huile de palme, banane ;

Développement local et sécurité alimentaire ;

Gestion durable des ressources naturelles : forêt du bassin du Congo, agroforesterie en zone de production du cacao et du café, fertilité en zone cotonnière ;

Alimentation des villes : approvisionnement en produits maraîchers, commercialisation des produits, gestion des déchets. (Durot, 2013).

Au Cameroun, le Cirad concentre ses activités autour de la Plate-forme de recherche pour le développement des systèmes agroforestiers durables et performants en Afrique (PCP Agroforesterie Cameroun, 2011). Le Cirad dispose à travers le monde d'un réseau de partenaires et de 12 directions régionales, à partir desquelles il mène ses activités de coopération avec plus de 90 pays.

L'unité mixte de recherche fonctionnement et conduite des systèmes de culture tropicaux et méditerranéens (UMR system), composée des chercheurs du Cirad du département

performances des systèmes de productions (persyst), des chercheurs de l'Inra du département environnement et agronomie (EA), et de Montpellier Supagro du département milieux productions, ressources et systèmes (Durot, 2013). L'UMR SYSTEM, à laquelle appartient mon maître de stage Stéphane Saj a pour but de travailler à l'évaluation et à la conception des systèmes de culture plurispécifiques faisant le compromis entre performance économique et fourniture des services environnementaux. On a trois axes majeurs de développement dans ces systèmes de culture :

- Modélisation intégrée des composantes biophysiques et techniques ;
- Conception des systèmes fournisseurs des services environnementaux ;
- Articulation entre évolution et performances de ces systèmes en tenant compte des contraintes et ressources des exploitations agricoles.

1.6.1 Cadre logique du projet SAFSE

Notre stage a été effectué au sein de l'UMR SYSTEM, et s'inscrit dans le cadre des activités du projet Recherche de compromis entre production et services écosystémiques fournis par les systèmes agroforestiers » (SAFSE), dans son work Package deux tâche 1 (WP2T1) opération 1, dont l'intitulé est :

« Services d'approvisionnements et autres services écosystémiques dans les systèmes agroforestiers, interaction et compromis. »

En région tropicale humide, les SAF à base de cultures pérennes sont très répandus ; il existe tout un gradient de complexité de ces systèmes et un gradient d'intensité de gestion. En région sèche en Afrique sub-saharienne, les parcs arborés et arbustifs sont aussi la base de l'agriculture vivrière encore particulièrement précaire. Dans ces deux régions, les SAFs connaissent des dynamiques contrastées et sont portés localement par une grande diversité d'acteurs et de pratiques dans les contextes également différents. C'est cette diversité que le projet SAFSE a l'ambition d'aborder et de conceptualiser, en fédérant les équipes du CIRAD, de l'IRD et des partenaires africains et sud-américains nationaux ayant une expérience solide de ces milieux. Le but du projet est l'exploitation optimale des SAFs en passant par la connaissance et la maîtrise des mécanismes biophysiques et socio-économiques qui régissent leur fonctionnement et leur dynamique. Les résultats escomptés devraient permettre d'éclairer le choix des acteurs et des décideurs de ces régions entre une sécurité alimentaire immédiate à la durabilité mise en doute par une vulnérabilité forte aux changements globaux, et une sécurité alimentaire sur le long terme, grâce à une production autonome, diversifiée, contribuant à une résilience accrue des agrosystèmes et des sociétés qui

en dépendent. C'est dans ce cadre que le projet « Recherche de compromis entre productions et services écosystémiques fournis par les systèmes agroforestiers » (SAFSE) travaille à comprendre, ce qui, sur une même unité de terre, permet performance et durabilité. SAFSE se propose d'analyser les compromis et les synergies entre les services d'approvisionnement (productions) et les autres types de services écosystémiques (support, régulation) procurés par les SAFs. En augmentant ainsi la connaissance des mécanismes biophysiques et socioéconomiques sous-jacents au fonctionnement et à la dynamique des SAFs, le projet vise à fournir une base générique d'optimisation des compromis entre productions et services écosystémiques pour contribuer à une résilience accrue de ces agroécosystèmes et des sociétés qui en dépendent.

CHAPITRE 2. REVUE DE LA LITTÉRATURE ET DÉFINITIONS DE QUELQUES CONCEPTS

2.2 Généralités sur les systèmes Agroforestiers à base de cacao

La déforestation est reconnue comme étant le plus grand challenge des pays des régions tropicales. Entre les années 2000 et 2010, 13 millions d'hectares de forêt humide ont été détruites à travers le monde (FAO, 2012). Ainsi, plusieurs recherches ont démontré que l'exploitation forestière et l'expansion des surfaces cultivables en agriculture, sont les principaux facteurs de la déforestation. En Afrique tropicale humide, ces deux facteurs combinés à la croissance démographique sont accusés d'être à l'origine de la dégradation des écosystèmes forestiers (érosion des sols et baisse de leur fertilité, perte de biodiversité) et même des changements climatiques (Aboubakar *et al.*, 2010). La pratique de l'agriculture itinérante sur brûlis est tenue responsable de plus de 60% de ces pertes et contribue ainsi à la perte de biodiversité sur et sous la terre. Plusieurs travaux menés dans diverses disciplines sur les agricultures tropicales soulignent l'importance des approches dynamiques et, plus particulièrement, la nécessité d'une meilleure prise en compte des évolutions spatio-temporelles des systèmes agraires et des pratiques locales (Blanc-Pamard *et al.*, 1985 & 1995; Jouve, 2007). Il s'agit de mieux comprendre la genèse des situations observable aujourd'hui et d'alimenter les anticipations des acteurs en termes de gestion des ressources renouvelables et d'aménagement des espaces ruraux. De même, Elles visent à montrer qu'au-delà des questions démographiques, il existe des stratégies paysannes qui peuvent préserver ou affecter le fonctionnement des agrosystèmes forestiers.

La pratique de l'agroforesterie a été observée à travers le monde et en particulier dans la zone tropicale, tels que l'Amérique du Sud, l'Asie et l'Afrique (Kenta, 2010). Les gouvernements coloniaux en ont fait la promotion dans l'optique de soutenir le maintien des forêts à travers la gestion des terres. Les systèmes agroforestiers (SAF) sont des systèmes tropicaux occupant des superficies considérables, estimées à plus de 10 millions de km² ou 46% de l'ensemble des terres agricoles, les terres possédant un couvert arboré supérieur à 10% et à 6,4 millions de km² sous les tropiques d'Amérique du sud, d'Afrique subsaharienne, et d'Asie du sud-est (Zomer *et al.*, 2009).

Avant 1970, le système agroforestier était essentiellement focalisé sur les productions forestières et ne donnait pas une grande importance à la production agricole (Kenta, 2010).

Aujourd'hui, parmi les SAFs, les systèmes agroforestiers complexes (SAFC) à base de cultures pérennes, et notamment ceux à base de cacao (*Theobroma cacao* L.) et de caféier arabica (*Coffea arabica* L.) et robusta (*coffea canephora* P.) présentent un intérêt particulier car le développement de ses cultures est généralement réalisé au détriment des zones forestières (Dixon *et al.*, 2001). La structure des agroforêts cacao est semblable à celle des forêts, ce qui leur permet ainsi de participer comme les forêts à la conservation physique et chimique du sol, à la régulation thermique et à la conservation des espèces (Sonwa *et al.*, 2001). Elles permettent aussi une durabilité agro-écologique accrue par une meilleure efficacité d'utilisation des ressources du milieu, une accumulation des substances nutritives et des pertes réduites dans les systèmes qui favorisent des niveau de fertilisation et de production stables dans le long terme (Tschardtke *et al.*, 2011) Face aux défis actuels de l'humanité, à savoir: crise alimentaire, et les changements climatiques, l'AF(et particulièrement les SAFCs) représentait l'unique solution permettant de capitaliser sur tous les plans. C'est pour cette raison que la communauté scientifique lui accorde une plus grande importance de nos jours. Grace aux SAFs on a une diversification des produits et de revenus ainsi qu'une diminution du cout des intrants liés à la gestion peu intensive. Vu sous l'angle de la production en cacao marchand, les SAF sont néanmoins jugés peu productif.

Ainsi donc, le cacaoyer sera associé à plusieurs espèces pérennes forestières et fruitières, et maraichères aux valeurs d'usages différentes, et variant d'un producteur à un autre, d'une localité à l'autre, et même d'une région à une autre, pour former **des systèmes agroforestiers complexes** (SAFCs).

N'ayant pas fait l'objet de plusieurs études en comparaison avec des systèmes à forts intrants, les SAFCs présentent de nos jours une grande diversité de services qui par la même occasion ont été ignorés:

les **services de support**(cycle des nutriments, biodiversité, production primaire),**les services d'approvisionnement**, concernent les productions divers des SAF qui forment la base de l'économie et du bien-être des ménages; les SAF offrent également des **services de régulation**, par exemple dans la modération des variations climatiques, le stockage du carbone, la lutte contre les maladies et les insectes ravageurs, ou les **services liés à l'eau**...(PCP Agroforesterie Cameroun, 2011).

2.2.1 Caractérisation des systèmes Agroforestiers à base de cacao

➤ *La complexité et la diversité*

Le concept de diversification appliqué à l'agriculture peut être défini comme « *l'introduction ou le développement, dans une exploitation agricole, de spéculations additionnelles aux spéculations existantes* » (Moustier, 1997). La diversification apparaît dès lors comme un moyen ou une réponse des petits exploitants face à l'instabilité des marchés internationaux (Malézieux *et al.*, 2005). D'autre part, elle est vue comme un moyen de survie pour de nombreux ménages ruraux, et une stratégie de minimisation des risques ou d'adaptation dans leur environnement (Barett *et al.*, 2001 ; Caviglia-Harris *et al.*, 2005 ; Mertz *et al.*, 2005 ; Dufumier, 2006).

➤ *Densité des peuplements cacaoyers et des peuplements associés*

Les SAFCs à base de cacaoyers présentent une association des cacaoyers à d'autres espèces végétales de tel sorte que l'écosystème résultant ressemble à celui d'une forêt naturelle en terme de richesse spécifique, de structure végétale et de biomasse aérienne et racinaire. Les plantations regorgent des espèces maintenues lors de l'abattage, et des espèces fruitières et forestières (à croissance rapide) ayant des valeurs d'usage variées en fonction du paysan. Shikata (2007), recense 115 variétés d'arbres dans 0,63 ha de cacaoyère lors d'une étude menée dans les agroforêts du sud-est Cameroun. Mais pour Kenta (2010), la moyenne est de 84 espèces à l'hectare selon les résultats obtenus dans les agroforêts du sud Cameroun.

➤ *Les pratiques agricoles dans les systèmes agroforestiers complexes étudiés à Ngomedzap*

Les pratiques courantes dans les SAFCs à base de cacao sont :

- abattage sélectif des arbres pendant la préparation du sol ;
- semis direct et à la volé pour certains, et semis des plants provenant des pépinières pour d'autres suivant des écartements et alignements dépendant de chaque paysan (semis anarchique) ;
- redensification constante du champ en termes de cacaoyers et autres essences à valeur nutritive ;
- la Taille des cacaoyers est effectuée dans les plantations de moins de 10 ans, et les âgées de plus de 10 ans bénéficient d'une taille légère qui s'apparente à l'égourmandage ;

- non utilisation des fertilisants ;
- application de produits phytosanitaires irrégulière ;
- régénération constante des vieilles tiges dans le même champ, ce qui aboutit généralement à une hétérogénéité des peuplements végétaux...

Duguma *et al.*,(2001), distinguent trois catégories de SAFs basés sur l'intensité et le niveau de gestion des plantations, et sur la possibilité de commercialisation des produits secondaires provenant des arbres fruitiers associés :

- i. les SAFs à faible intensité d'utilisation des intrants avec production de fruits commercialisables : ce système est extensif et typique des petits paysans. Ici les variétés de cacao local ou cacao allemand (forastero, amelonado) sont utilisées. Les seuls intrants achetés dans ce système sont les fongicides composés de Metalaxyl et de cuivre, donc les applications sont faites quatre fois (04) par an. Aucun contrôle chimique des capsides n'étant fait. L'évaluation de la productivité du système inclue le rendement en cacao marchand ainsi que celui des fruits. Les cacaoyères compris dans l'intervalle d'âge de 9 à 26 ans ont un rendement de 264 kg. ha⁻¹.
- ii. les SAFs faible intensité d'utilisation des intrants sans production de fruit commercialisables : dans cet autre système, la production en cacao marchand est similaire à celle du premier système ; mais le revenu additionnel provenant de la commercialisation des fruits ne faisant pas partie de la rentabilité de la plantation.
- iii. les SAFs à utilisation moyenne (semi-intensif) des intrants et production des fruits commercialisables : les pratiques de gestion sont plus intensives que celles du système extensif typique qui prédomine. Le cacao hybride utilisé ici bénéficie d'un contrôle phytopathologique plus important à raison de 8 traitements par an avec des fongicides composés de Métalaxyl et de cuivre ; deux applications pour le contrôle des capsides. Les cacaoyères de ce système dont la tranche d'âge est située dans l'intervalle de 9 à 26 ans ont un rendement de 500 kg⁻¹ha.

Cet étude ne précisent pas la variation de certaines variables caractéristiques du rendement notamment la densité de plantation, les types architecturaux ...

2.3 Généralités sur le cacao

2.3.1 Origine et dispersion du cacao dans le monde

Origine du cacao

Le cacaoyer cultivé, de son nom botanique *Theobroma cacao* L., appartient à la famille des Sterculiacées. Le genre *Theobroma* comprend quelque vingt-deux espèces, toutes originaires des forêts tropicales humides de l'Amérique équatoriale et dont la plupart sont exploitées localement pour la confection de plats cuisinés, de gelées ou de boissons rafraîchissantes. Cependant, la seule espèce cultivée commercialement pour la production de graines destinées à la préparation du chocolat ou à l'extraction du beurre de cacao est *Theobroma cacao* L. Les Mayas ont été certainement les premiers à cultiver cet arbre dont les fèves étaient utilisées à la fois comme produit de consommation et comme monnaie d'échange.

Répartition géographique

Dès la fin du XVI^e siècle, le cacaoyer est cultivé dans la plupart des régions tropicales d'Amérique centrale et du Sud ainsi que dans les Antilles. Les premières exportations de cacao vers l'Europe sont effectuées en 1585 au départ de Veracruz à destination de Cadix. D'Espagne, l'usage du cacao se répand en Europe par les cours royales, en Italie puis en France (Anne d'Autriche, fille de Philippe III d'Espagne, l'y introduisit à la suite de son mariage avec Louis XIII en 1615), puis en Hollande, en Angleterre et en Allemagne. Les plantations de cacaoyers se multiplièrent au XVII^e siècle dans le Nouveau Monde, à Trinidad, à la Jamaïque et à Haïti, au Venezuela puis à la Martinique où la culture est commencée par les Français en 1660. Au Brésil, il n'est introduit que tardivement en 1754 dans la région de Bahia. Les Espagnols, les Hollandais et les Portugais introduisent cette culture dans toutes leurs possessions d'outre-mer, dans le Sud-Est asiatique d'une part et, d'autre part, dans les îles du golfe de Guinée. C'est à partir de ces îles Fernando Pô (aujourd'hui Malabo), Sao Tomé et Príncipe, que le cacaoyer est introduit, il y a un peu plus d'un siècle, sur le continent africain. (Mossu, 1990).

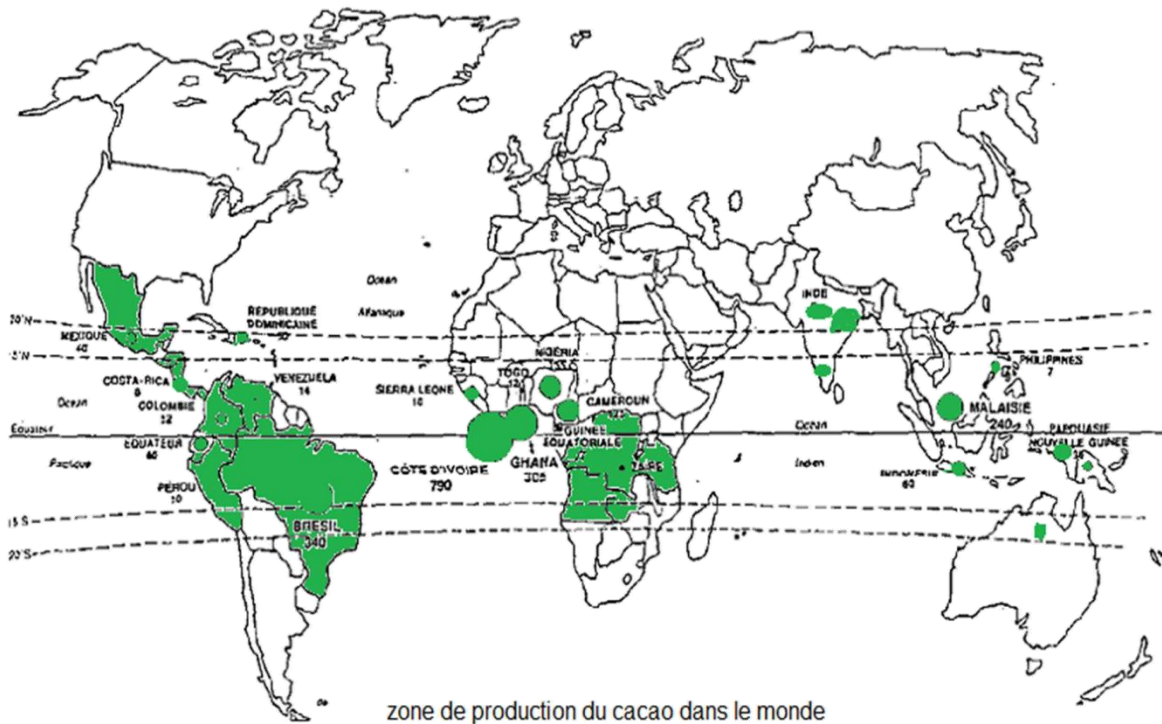


Figure 1: Zones de production du cacao dans le monde en vert (d'après Mossu, 1990 modifiée par l'auteur)

Production du cacao

Au XX^e siècle, la production du cacao a atteint 1,5 million de tonnes en 1964 et est de 4,085 million de tonnes en 2011-2012, contre 3,921 millions de tonnes pour le compte de la campagne 2012-2013. Aujourd'hui les prévisions affichent 4,162 millions de tonnes pour le compte de l'année 2013-2014 (ICCO, 2014). L'Afrique assure à elle seule 71,5 % de la production mondiale. Cette production progresse à un rythme annuel de 2 à 2,5 % depuis le milieu de la dernière décennie, tandis que la consommation ne connaît qu'un taux de croissance voisin de 1 %. Bien qu'étant l'œuvre des petits producteurs ou ménages, la totalité de la production africaine est assurée par cinq pays(04) dont la Côte d'Ivoire, le Ghana, le Nigeria, Cameroun, (ICCO, 2014). Le cacao est devenu de nos jours l'une des cultures les plus rentables dans le monde, générant en 2008, 7,4 milliard de dollars US chez les petits agriculteurs (ICCO, 2008). La même année, cette culture a générée pour la Côte d'Ivoire, le Ghana, le Nigeria et le Cameroun 6 milliards de FCFA pour une production estimée à 4.1 millions de tonnes (Prakash *et al.*, 2010).

Tableau 1: Production mondiale de cacao marchand en tonne (source: ICCO, 2014 modifié par l'auteur)

	2011/12		Estimation 2012/13		Prévision 2013/14	
Afrique	2919	71,5%	2820	71,5%	2942	71,7%
Cameroun	207		225		210	
Côte d'Ivoire	1486		1449		1550	
Ghana	879		835		870	
Nigéria	235		225		220	
Autres	113		86		92	
Amérique	655	16,0%	626	15,9%	666	16,2%
Brésil	220		185		200	
Équateur	198		192		210	
Autres	237		249		256	
Asie & Océanie	511	12,5%	496	12,6%	496	12,1%
Indonésie	440		420		410	
Nouvelle guinée Papouasie	39		36		40	
Autres	33		40		46	
Total mondial	4085	100%	3942	100%	4104	100%

2.3.2 Écologie

Le cacaoyer est une culture tropicale avec des besoins spécifiques pour sa croissance et son développement.

La température : Le cacaoyer exige une température relativement élevée, avec une moyenne annuelle située entre 30-32° C au maximum et 18-21° C au minimum. La moyenne mensuelle des minima quotidiens doit en tout cas être supérieure à 15° C et le minimum absolu est de 10° C.

La pluviosité: La variabilité du rendement des cacaoyers d'une année à l'autre est affectée davantage par la pluviosité que par tout autre facteur climatique. Le cacaoyer est très sensible à une déficience hydrique, tout particulièrement lorsqu'il est en concurrence avec d'autres plantes, ombrage ou adventices, ce qui est le cas le plus fréquent en plantation. Les pluies doivent être abondantes mais aussi et surtout bien réparties tout au long de l'année. Une pluviosité de 1 500 à 2 000 mm par an est généralement considérée comme la plus favorable à condition toutefois qu'il n'y ait pas plus de trois mois de saison sèche avec moins de 100 mm de pluie par mois (Mossu, 1990 ; BOURGIONG *et al.*, 2010). Par ailleurs, l'effet de la pluviométrie sur la productivité du cacaoyer a été observé depuis très longtemps. Comme l'affirme Jagoret (2011), il existe un rapport étroit entre la récolte d'un mois et la pluviométrie

cinq à six mois auparavant, et une corrélation entre l'importance de la récolte et la pluviométrie de l'année précédente.

L'humidité relative: Une atmosphère chaude et humide est indispensable au cacaoyer. L'humidité relative est généralement élevée dans les régions productrices de cacao: souvent à 100 % la nuit, elle descend vers 70-80 % le jour, parfois moins en saison sèche pendant laquelle la frondaison des arbres présente un aspect caractéristique où toutes les feuilles sont pendantes. Il est important de limiter l'effet des vents desséchants (Harmattan, par exemple en Afrique de l'Ouest) par l'emploi de brise-vent, le maintien d'arbres d'ombrage ou encore par l'adaptation d'une forte densité de plantation (Mossu, 1990 ; BOURGIONG *et al.*, 2010).

La lumière: Le cacaoyer est un arbuste de sous-bois originaire de la forêt amazonienne, si bien que sa culture traditionnelle a toujours été réalisée sous ombrage, ombrage de la forêt naturelle en Afrique. Il se trouve cependant que, par ses potentialités photosynthétiques et par la valeur optimale de l'éclairement qu'il peut utiliser, le cacaoyer ne peut être considéré comme une plante d'ombre typique. Par ailleurs, il peut parfaitement croître sous un ombrage très dense qui, s'il bénéficie simultanément d'une température voisine de l'optimum (32° C), n'affecte en rien ses potentialités photosynthétiques. Il est aujourd'hui démontré que l'ombrage constitue un facteur limitant de la production mais uniquement lorsque tous les autres facteurs de l'environnement sont favorables : températures optimales, humidité moyenne excellente, sol riche en humus avec apport d'engrais, traitements insecticides et anticryptogamiques bien mis en œuvre. Un ombrage provisoire est indispensable pendant les premières années de culture des jeunes cacaoyers. Cet ombrage provisoire doit être relativement dense, ne laissant passer que 50 % de la lumière totale au moins pendant deux années après la plantation. Il sera diminué progressivement au fur et à mesure du développement du cacaoyer, mais jamais avant la formation bien établie des couronnes (Mossu, 1990 ; BOURGIONG *et al.*, 2010).

Besoin en altitude: Le cacaoyer peut pousser jusqu'à 100 m d'altitude sous l'équateur avec pour limite pratique pour sa culture le niveau de la mer. (HUBERT, 1984)

Le sol : le cacaoyer peut se développer sur des sols de types très variés mais, à conditions climatiques équivalentes, il est évident que les sols les plus profonds et les plus riches se révèlent très nettement plus favorables au développement et à la production de l'arbre. La profondeur du sol doit être au minimum de 1,5 m. Celle-ci doit être d'autant plus importante que la pluviosité est insuffisante ou mal répartie. La texture du sol à cacaoyer doit répondre à deux exigences parfois contradictoires: assurer une bonne rétention en eau d'une part, une aération et un drainage corrects d'autre part. Le cacaoyer manifeste en effet une très grande sensibilité à un déficit en eau mais également à une aération insuffisante due à un excès d'eau prolongé. Le cacaoyer peut se développer sur des sols à pH très variable, allant de la forte acidité (pH 5) à la forte alcalinité (pH 8). Mais la majorité des bons sols à cacaoyer sont proches de la neutralité (pH 7), le pH optimum étant faiblement acide (pH 6,5). Les sols à cacaoyer doivent répondre à certains équilibres anioniques et cationiques (dans leur horizon de surface) qui sont, en l'état actuel des connaissances, les suivants: le rapport optimal azote total/phosphore total doit être voisin de 1,5, la teneur en phosphore assimilable (méthode Olsen-Dabin) étant au moins égale à 180 ppm de P ou 0,229 0 de P₂O₅. Les bases échangeables sont équilibrées entre elles selon 8 % de potassium (K), 68 % de calcium (Ca) et 24 % de magnésium (Mg) dans la somme des bases, l'équilibre optimal de ces bases échangeables avec la teneur en azote total doit suivre une régression linéaire de formule $S = 8,9 N - 6,15$, le taux de saturation minimum en bases échangeables doit être de plus de 60%. (Mossu, 1990 ; BOURGIONG et al., 2010).

2.3.3 Principales étapes de la culture du cacao

La culture du cacaoyer commence avec la préparation de la semence en pépinière, puis s'achève par la mise en place en champ.

1. *Mise en place de la pépinière*

Préparation semences (HUBERT, 1984 ; BOURGIONG *et al.*, 2010)

Recueillir des fèves de cabosses approchant de la maturité sur des arbres très producteurs ; extraction des graines des cabosses juste avant semis ; ne pas prendre les cinq dernières

graines se trouvant dans la partir de la cabosse rattachée directement au pédoncule car ces derniers ne germent pas généralement. Les laver avec de l'eau et du sable fin pour faciliter la germination en enlevant la couche de mucilage, puis laisser sécher à l'ombre et à l'air durant deux à trois jours.

Semis : Semer les graines dans des pots en plastiques de 30 cm de haut et 12,5 cm de diamètre de fond et 1/3 inférieur percés de trous, préalablement rempli d'une bonne terre humifère mélangée à du sable de rivière et un peu d'insecticide terricole. Les pots sont disposés de sorte qu'ils forment des planches de 1m de large. L'ombrage naturel ou artificiel doit permettre le passage de 30 à 40% de lumière. Les graines lavées (ou avec mucilage) sont placées à plat ou mieux le hile vers le bas et recouverte d'un peu de sable. A la levée des graines, supprimer les plantules à cotylédons violets. À sept ou huit mois après semis en pépinière, (70 à 80 cm pour Trinitario et 50 cm pour Criollo) l'enracinement des plants issus des semis est bon (1 ou plusieurs pivots) et les plants peuvent être transplantés.

2. *Plantation* (HUBERT, 1984 ; BOURGIONG *et al.*, 2010)

Préparation du sol : elle commence un an avant la mise en place des jeunes cacaoyers par le choix du site. Le site sera défriché de préférence en saison sèche avec abattage sélectif des arbres de la forêt. Les arbres abattus sont tronçonnés en éléments faciles à manipuler et les morceaux de troncs et de branches sont ensuite entassés en andains avec toute la végétation provenant du défrichage. On peut par la même occasion extraire les souches représentant des obstacles pour l'exploitation. Un piquetage sommaire tenant compte de l'orientation et de l'écartement des futures lignes de plantation doit être fait, avant l'andainage, pour la plantation de l'ombrage temporaire ou définitif. L'ombrage temporaire est le plus souvent assuré par des plantes vivrières qui permettent de fournir un premier revenu du terrain aménagé pour la plantation. La plus utilisée de ces cultures est le bananier et plus particulièrement du bananier plantain. Les bananiers plantains sont plantés aux mêmes écartements que les cacaoyers; ils fournissent un ombrage satisfaisant six à neuf mois après leur plantation.

Le piquetage des allées, des blocs de plantation, des lignes d'arbres d'ombrage, des trous de plantation est effectué suivant les écartements ci-après : 3 m x 2 m (1666 arbres/ha) est le plus favorable en zone où la pluviosité ne dépasse pas 1500 mm d'eau par an; un écartement de 3 m x 3,5 m (952 arbres/ha) convient bien dans les zones plus arrosées, sur de bons sols ou sur des sols désaturés recevant régulièrement des engrais; une forte densité (1600 à 2 000

arbres/ha) sera adoptée de préférence sur les sols très désaturés, si l'on n'apporte pas de fumure minérale; il existe toutefois, pour des conditions particulières d'environnement, de maintenance et d'entretien, dans certains pays (Malaisie, par ex.), des dispositifs à très forte densité: 5 000 arbres/ha ou plus, le plus souvent établis en lignes jumelées à 1m x 1m avec espace de 3 m entre les couples.

Des trous de 40 cm³ sont effectués pour accueillir les jeunes plants; ils sont rebouchés quatre à cinq semaines après incorporant d'un peu de fumier ou de bonne terre humifère.

Mise en place: la transplantation se fait en mottes; ouvrir le trou de plantation aux dimensions du pot et à l'emplacement du piquet; sectionner le fond du pot (plastique et terre) à environ 2 cm de la base. Le pivot, souvent enroulé à ce niveau, est donc ainsi sectionné; il repoussera verticalement dans le sol par croissance d'un nouvel apex orthotrope. Fendre le plastique du pot, de haut en bas et placer l'ensemble dans le trou, tout en ôtant le plastique et veiller à ce que le collet du jeune plant soit maintenu au niveau du sol; (Mossu, 1990 ; BOURGIONG *et al.*, 2010; HUBERT, 1984).

2.3.4 La plante

Le cacaoyer adulte est un arbre pouvant atteindre 12 à 15 m de hauteur lorsqu'il pousse à l'état sauvage; mais en plantation, les écartements habituellement pratiqués permettent à l'arbre adulte d'atteindre à moyenne cinq à sept m de hauteur. Lorsqu'il est issu de la germination d'une graine, le cacaoyer atteint son plein développement vers l'âge de dix ans. Il est cependant productif bien avant cet âge puisque les fleurs et les fruits apparaissent dès la troisième ou quatrième année, le plein rendement étant généralement obtenu vers six ou sept ans.

CHAPITRE 3 MATÉRIELS ET MÉTHODES

3.1 Description de la zone d'étude

3.1.1 Situation géographique et administrative

Ngomedzap est un arrondissement du département du Nyong et So'o, région du Centre. Il couvre 3580 km² avec une densité de population de 37 habitants/km². La ville est limitrophe de l'arrondissement de Mengueme (25 km) à l'Est, à l'Ouest par l'arrondissement de Mvengue (23 km), au Nord par l'arrondissement d'Olama (50 km), et au Sud par l'arrondissement d'Ebolowa. Ngomedzap est situé à 711 m d'altitude, entre le 3° 11' 0'' N, 11° 12' 0'' E (www.Get a map.net ; Tayo, 2013).

3.1.2 Milieu physique

Située dans la zone forestière humide à pluviométrie bimodale, la végétation de la localité est caractérisée par des forêts denses sempervirentes et semi-décidues à l'ouest et un couvert forestier mixte et dégradé à l'est (Tayo, 2013).

Les sols sont de type ferrallitiques (selon la classification française) fortement désaturés et bien drainés (Yerima, 2006). Ils sont acide (pH compris entre 4 et 5,5), argileux, à faible capacité d'échange cationique.

L'ensemble de la zone présente différemment : à l'ouest un relief constitué de hautes collines complexes à sommets supérieurs à 900 m, et à l'est un relief largement ondulé (Tayo, 2013, Todem, 2005).

Le climat est de type guinéen avec des températures moyennes annuelles de 25° C, et une pluviométrie comprise entre 1700 et 1800 mm par an ; répartie en deux saisons humides bien distinctes (régime pluviométrique bimodal) et permettant deux cycles de culture et un calendrier cultural bien étalé avec semis et récoltes échelonnés. La faible insolation et l'hygrométrie constamment élevée (entre juin et octobre) favorisant le développement des maladies des cultures et des animaux, contribuent aussi à la difficulté de séchage et de stockage traditionnel des récoltes (Tayo, 2013 ; IRAD, 2005).

3.1.3 Milieu socio-culturel

La population de Ngomedzap est principalement constituée des Bété parlant la langue Ewondo ; la densité de population est de 37 habitants au km⁻² (Jagoret *al*, 2011 ; Tayo, 2013). La principale activité économique est l'agriculture, au sein de laquelle la cacao culture occupe plus de 60% de la population active (Todem, 2005) ; on a également le maraîchage, la production des vivres le petit commerce la chasse et le ramassage comme activités secondaires. Le droit coutumier reste le seul moyen d'acquisition de la propriété foncière (Tayo, 2013), sans établissement systématique d'une attestation de reconnaissance des droits coutumiers régulièrement délivrée par les autorités compétentes (chefferies traditionnelles). La société est patrilocale, et traditionnellement, les hommes s'occupent de la culture du cacao et du café robusta dans les vieux vergers (hérités des parents ou des grands parents).

3.2 MATÉRIEL ET MÉTHODOLOGIE

3.2.1 Choix du site d'étude

Au Cameroun, 60 à 70 % des exportations de cacao proviennent de la Province du Centre Cameroun. Elle constitue, depuis les années 1960, le principal bassin de production du pays (Jagoret, 2009). Après la libéralisation de la filière cacao, la crise des coûts internationaux et la dévaluation du franc CFA, ce bassin de production est en plein déclin avec des productions qui atteignent difficilement 300 kg⁻¹ ha et par an (Sonwaet *al*, 2001; Todem, 2005). Cependant, les producteurs de cacao camerounais ont ainsi, semble-t-il, adopté de nouvelles stratégies qui privilégient, dans un souci de diversification ou de reconversion, d'autres cultures dans l'optique de diversifier les produits et minimiser le risque. Cependant le choix porté sur la zone de Ngomedzap se justifie par la richesse de son agro biodiversité, et le partenariat existant entre la Fédération d'union des producteurs de cacao de Ngomedzap (FUPROCAN) et les chercheurs de l'IRAD et du CIRAD depuis une décennie.

3.2.2 Choix du dispositif expérimental et description

La zone d'étude répond aux critères du projet AIRD/SAFSE qui consiste en la recherche des compromis et synergies entre production et services écosystémiques des agroforêts à base de cacao. Le choix porté sur les parcelles agroforestières s'est fait suivant un échantillonnage aléatoire simple des exploitations des planteurs appartenant au réseau de la FUPROCAM. Des parcelles répondant aux critères d'âge et de diversité des produits autres que le cacao, tout en tenant compte de la bonne représentativité de la zone sont sélectionnées. Dans les champs sélectionnés sont délimités des placettes de 800 m² (20 m × 40 m). Les parcelles sont de

formes rectangulaires car jugées plus hétérogènes et plus représentatives du peuplement. (Hairiah, *et al.*, 2010). Ces mesures sont différentes de celles que préconise l'ICRAF : parcelles de 200 m² (5 m x 40 m) pour les forêts et de 500 m² (20 m x 25 m) pour les plantations dont la densité de peuplement varie entre 300 et 900 arbres à l'hectare. Pour Hairiah, *et al.*, (2010), plus la zone d'étude est grande plus les mesures reflèteront la réalité. Les placettes utilisées dans cette étude ont été mise en place en 2013, dans le cadre de l'évaluation du potentiel des SAFs à base de cacao à séquestrer le carbone en comparaison avec les forêts secondaires de la localité. Le dispositif a 34 champs établis selon une chronoséquence de 05 classes d'âges : ≤10 ans (cacaoyères juvéniles entrant en production), 10 < âge ≤20 ans (cacaoyères adultes en production), 20 < âge ≤40 ans (cacaoyères adultes susceptibles de connaître une décroissance des rendements), 40 < âge ≤60 ans (cacaoyères sénescentes susceptibles de connaître une décroissance des rendements), et >60 ans ("cacaoyère sénescentes"). Les champs sont répartis dans 07 villages de l'arrondissement de Ngomedzap : Onoengah, Abodmveng, Nyamsifianga, Kama, Nkolmbong, Tiga, Nkoaabeu.

Tableau 2 : Effectif des agroforêts en fonction de leur âge

Classe d'âge	≤10	10 < âge ≤20	20 < âge ≤40	40 < âge ≤60	>60	Total
Nombre de champ	3	3	10	3	15	34

Dans chaque cacaoyère, une placette de 800 m² (Figure 2: dispositif d'observation), représentative de la parcelle en termes de gestion technique du peuplement cacaoyer et des peuplements associés, a été positionnée afin de disposer d'un échantillon réduit d'individus susceptibles d'être observés.

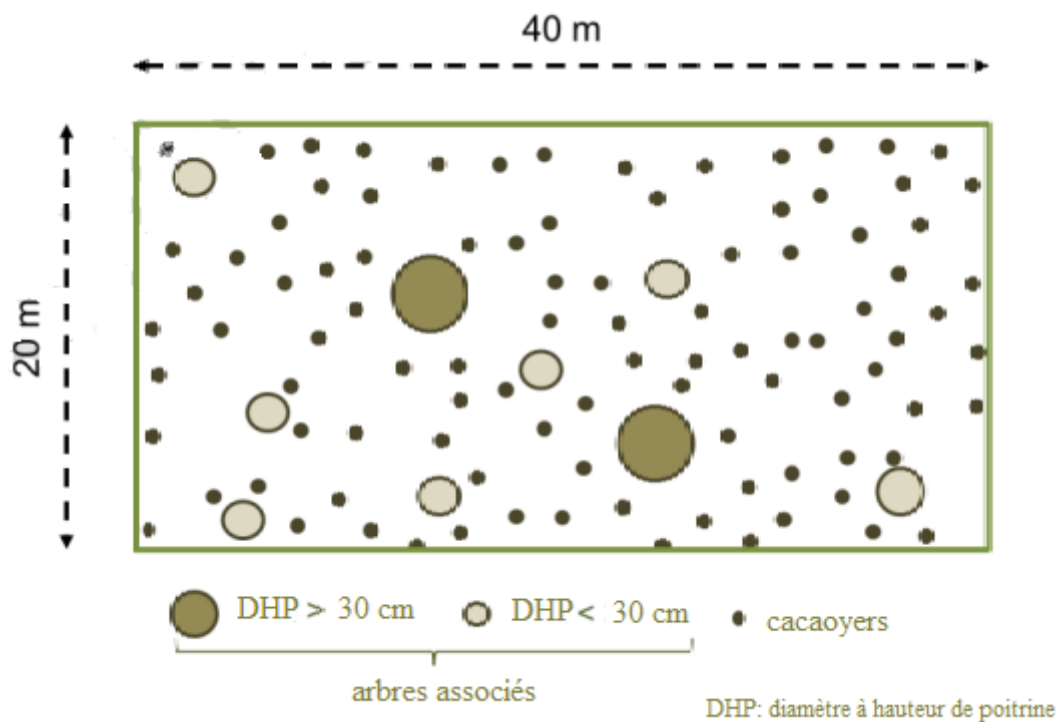


Figure 2: dispositif d'observation Saj, CIRAD, 2014

Contrairement à ce que l'on pourrait croire, il n'est pas facile d'évaluer directement le potentiel de rendement des parcelles cacaoyères sans être présent lors des différentes récoltes qui peuvent avoir lieu au cours d'une campagne ni savoir quel est le nombre de cabosses effectivement produites mais qui ne seront pas récoltées (pour cause de maladie, destruction par la faune, oubli, inaccessibilité). Cette méthode consiste en un comptage et un marquage de cabosses dont la taille est supérieure à 10 cm à intervalle de temps régulier (six semaines). Par ailleurs, des comptages plus spécifiques seront effectués sur 16 cacaoyers individualisés au sein de la placette de 800 m² (ils seront étiquetés, numérotés, mesure de la hauteur et du diamètre). Le dispositif expérimental utilisé ici est un dispositif utilisé pour les essais de sélection depuis la fin des années 70 ; c'est une randomisation totale mono arbre (Lotodé & Lachenaud, 1988), ou chaque arbre planté représente en effet une répétition statistique. Mais, dans l'optique d'éviter d'effectuer des mesures le poids de fèves fraîches produit par arbre, une méthode plus simplifiée fut proposée par Lotodé & Lachenaud (1988). Cette méthode est basée sur la pesée des cabosses mûres saines et la transformation de ce poids en kg de fèves fraîches, en le multipliant par le coefficient de transformation du poids de cabosses en poids de fèves fraîches. Cette méthode a été utilisée partiellement et publiée dans toutes les

parcelles de de sélections variétales en Côte d'Ivoire depuis les années 80 et son efficacité a été démontrée (Lachenaud, 1991).

3.2.3 Type d'échantillonnage

Le type d'échantillonnage utilisé ici est un échantillonnage aléatoire simple, pour lequel la population est divisée en entités plus ou moins homogènes dans un type d'utilisation de terre précis. La technique d'échantillonnage choisie pour la sélection des répondants permet de réduire les différents biais, et d'obtenir une représentation transversale de toutes les informations détenues par la communauté. La placette était délimitée à l'aide des rubans BTP, alors que la mesure de la superficie totale du champ se faisait avec un GPS GARIN. Tous les arbres présents dans une placette étaient marqués d'un point indélébile grâce à un aérosol colorant. Des étiquettes furent attachées aux 16 cacaoyers à l'aide des colrings. Le marquage des cabosses s'est fait à l'aide de la peinture à huile, et simultanément un comptage à l'aide d'un compteur mécanique

Annexe 7. Les mesures de DHP furent effectuées à l'aide d'un pied à coulisse, et les hauteurs des arbres grâce à une règle graduée

Annexe 7. Des fiches de collecte de donnée et un cahier ont été utilisés pour les prises de notes. Les pesés ont été effectuées à l'aide d'une balance de haute précision

Annexe 7.

3.2.4 Paramètres d'étude

Production potentiel en cabosses dans les placettes

L'évaluation de la production potentielle dans les placettes s'est effectuée par comptage et marquage des cabosses à la peinture (Figure 3: Processus de marquage et de comptage de cabosses dans la placette). Le nombre moyen de cabosses par cacaoyer (Nbcab) a été estimé à partir du nombre de fruits d'une longueur supérieure à dix centimètres. Ces fruits ne sont plus susceptibles d'être atteints par le wilt physiologique (Lachenaud, 1991a ; Bos *et al.*, 2006 cités par Jagoret, 2011), et nous ferons l'hypothèse que leur développement ira à son terme (fiche de collecte en Annexe 4).

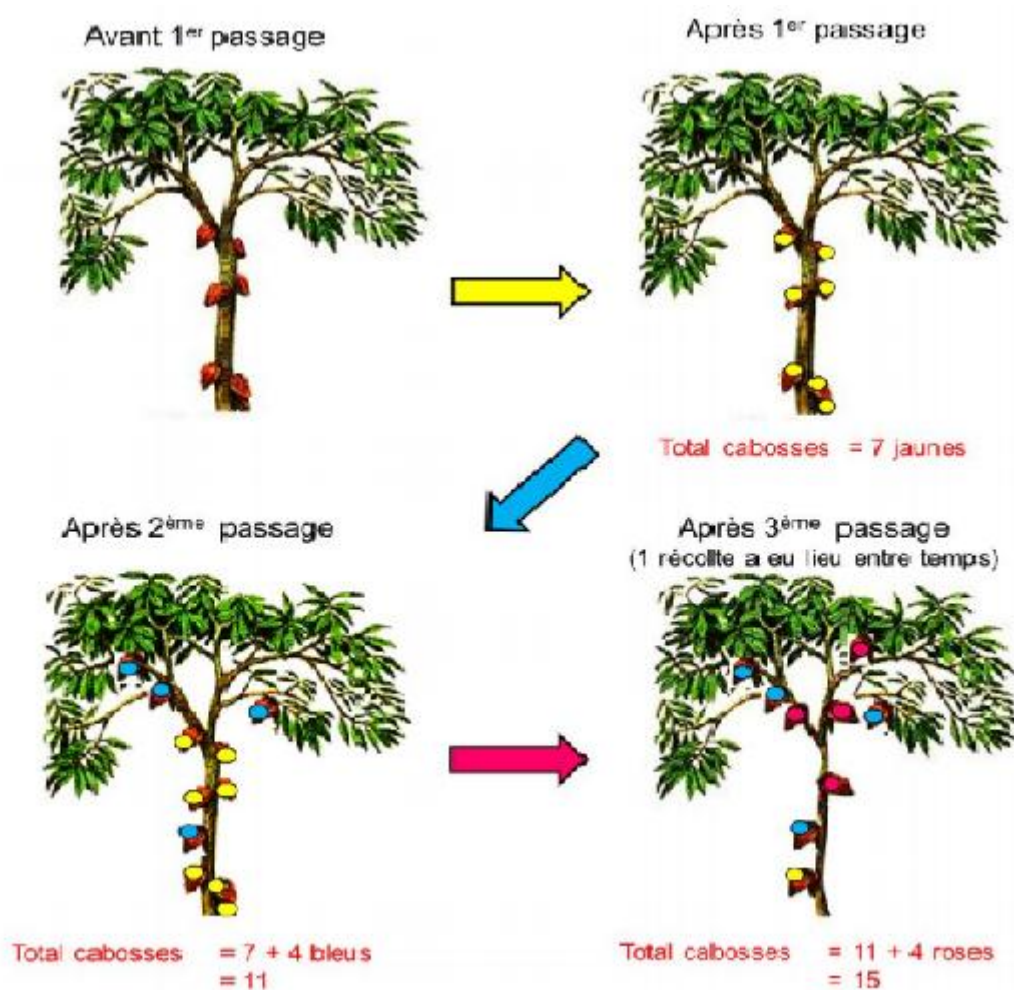


Figure 3: Processus de marquage et de comptage de cabosses dans la placette Saj, CIRAD, 2014

Production potentielle en cabosse des pieds individualisés

Dans les placettes, les 16 cacaoyers individualisés sont choisis systématiquement suivant le schéma de la Figure 4: Schéma de sélection de 16 cacaoyers dans une placette.

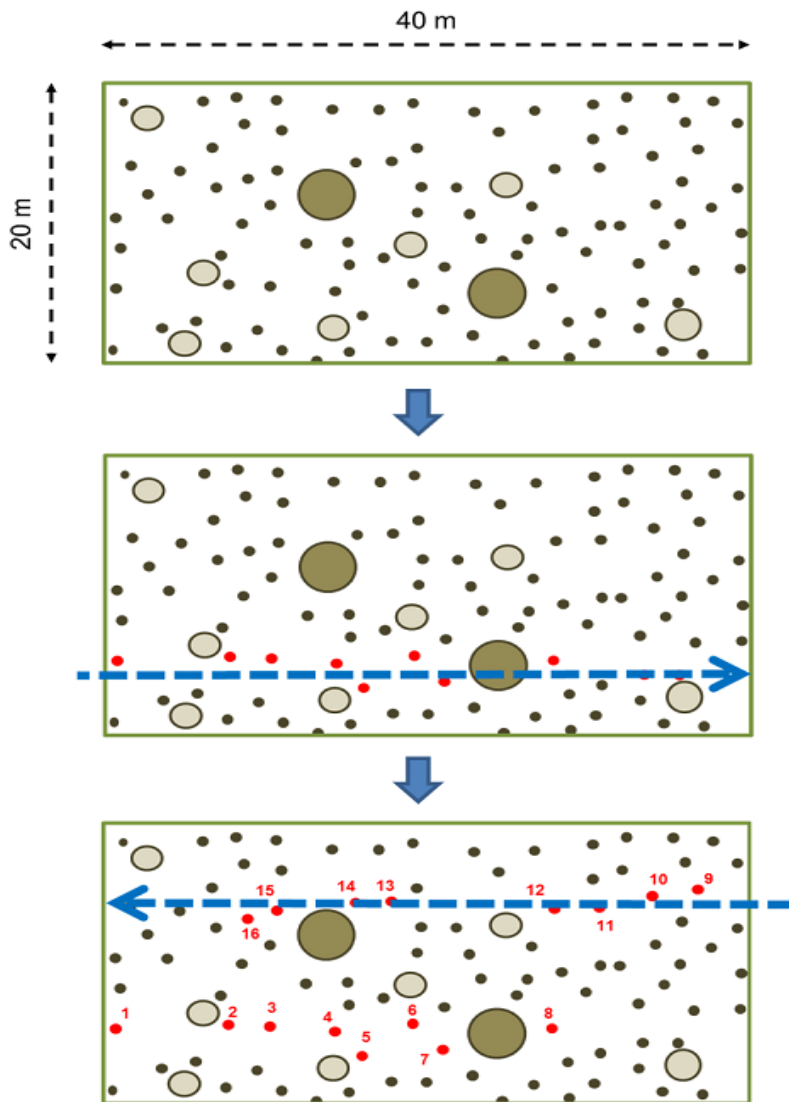


Figure 4: Schéma de sélection de 16 cacaoyers dans une placette Saj, CIRAD, 2014

Ici la placette de 800 m² est circonscrite à l'aide d'un ruban BTP dont les bandes sont de couleur rouge et blanche. Sur le sens de la largeur (20 m), on mesure 5 m à partir de l'une des 4 extrémités. Ce point correspond au premier sens de l'échantillonnage systématique de 8 cacaoyers. Ensuite on mesure (toujours dans le sens de la largeur) à partir de l'extrémité diagonalement opposée à la première, 5 m, et on suit la même logique d'échantillonnage. Lors du déplacement, si on ne rencontre pas huit cacaoyers sélectionnables, on continue le déplacement à partir du centre de la largeur (10 m). En plus du comptage et du marquage de cabosse qui ont été effectués sur tous les cacaoyers de la placette, un comptage plus

spécifique a été effectué sur les 16 cacaoyers : accrocher une étiquette sur laquelle est inscrit le n° de la parcelle et un n° (de 1 à 16) ; mesurer son diamètre à hauteur de poitrine (DHP) et préciser son architecture ; indiquer le nombre de troncs ; mesurer sa hauteur ; pour l'ensemble des cabosses mûres marquées sur ces 16 arbres, il faut repérer et compter (sans les marquer à nouveau) trois catégories de cabosses :

- les cabosses mûres saines (notées Cab S) ;
- les cabosses mûres atteintes par la pourriture (notées Cab P) ;
- les cabosses rongées par les ravageurs (noté Cab R), comme l'indique la
- Figure 5: processus de marquage et comptage des cabosses sur les 16 arbres identifiés et la fiche de collecte en Annexe 5.

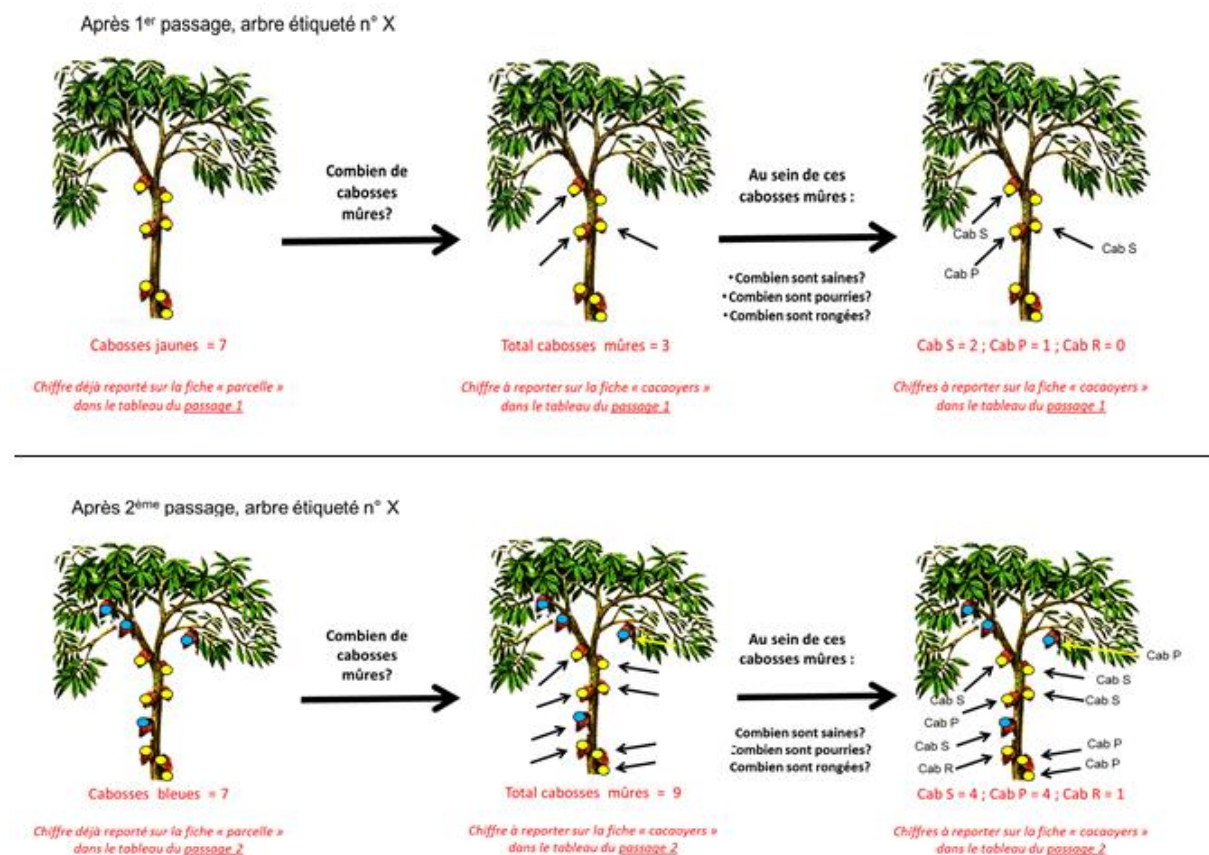


Figure 5: processus de marquage et comptage des cabosses sur les 16 arbres identifiés Saj, CIRAD, 2014

Le comptage des cabosses mûres des 16 cacaoyers échantillonnés dans les différents champs permettra d'une part, d'extrapoler le rendement réel de chaque parcelle, et par ricochet le rendement réel de chaque classe d'âge de la chronoséquence. D'autre part, la classification des cabosses mûres en Cab S, Cab P, Cab R, permettra de déterminer le (s) type (s) de perte de rendement le plus important de la localité.

Densité de peuplement cacaoyer

La densité des cacaoyers (Denscac) à l'hectare (ha) a été extrapolée à partir du comptage des individus présents dans chaque placette. Le comptage des individus présent dans la placette n'émet aucune restriction. Tous les cacaoyers jeunes adultes sénescents présents dans la placette pendant le premier passage sont comptés (les parcelles de la localité sont sujettes à une redensification constante, et une régénération par élimination des arbres improductifs ce qui aboutit à une grande fluctuation des Denscac).

Les conditions d'environnement influencent fortement la productivité d'un cacaoyer adulte qui peut être, par exemple, pratiquement nulle en cas d'ombrage trop important (Burle, 1961). Pour tenir compte de ce facteur, le taux de cacaoyers adultes improductifs par placette a été calculé à partir des comptages de cabosses par individu. Ce taux correspond aux cacaoyers âgés de plus de cinq ans dont la production moyenne au cours de la période d'observation est égale à zéro cabosse, rapporté au nombre total de cacaoyers.

Types architecturaux

Jagoretet *al.*, (2011) ont déterminés les six types architecturaux :

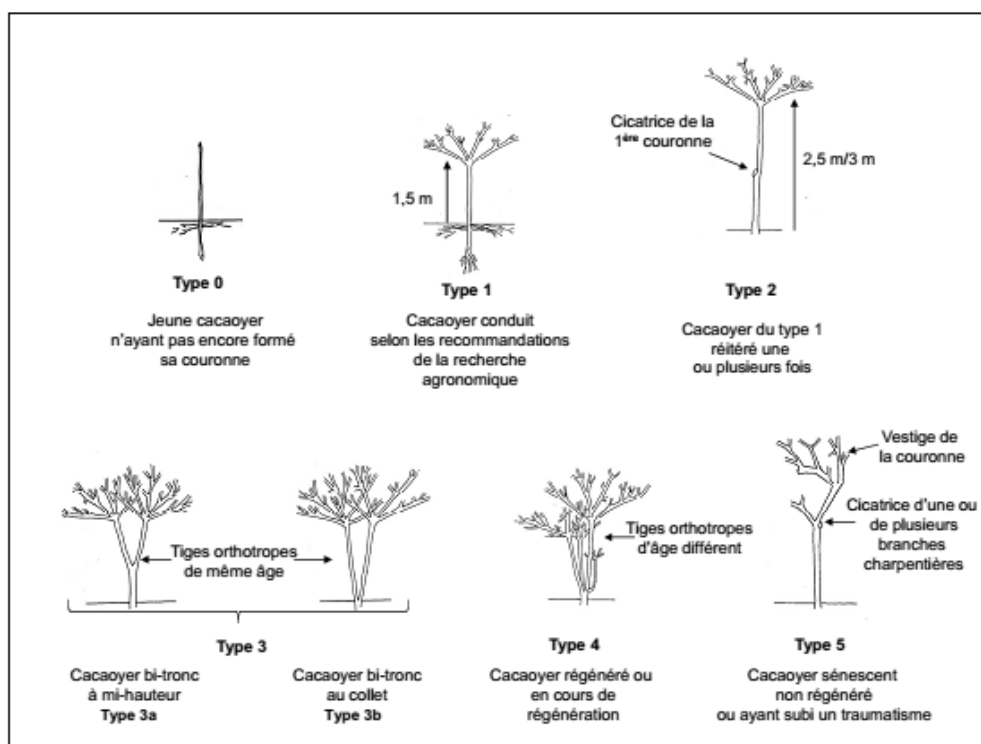


Figure 6: Typologie des architectures de cacaoyers. source : Jagoret, 2012

Les types 0 et 1 correspondent aux premiers stades de développement de cacaoyers conduits sur un seul tronc au niveau de la première couronne, tel que recommandé par la recherche agronomique. Le type 2 est représentatif de cacaoyers sur lesquels l'agriculteur a laissé croître un rejet orthotrope pour qu'une seconde couronne, plus haute que la première, puisse se développer. Les types 3a et 3b sont des cacaoyers dont le développement orthotrope initial a été contrarié suite à la destruction du bourgeon terminal. Ce traumatisme a souvent pour conséquence la formation de deux troncs de même âge situés à la base de la souche, ou à mi-hauteur du tronc initial, qui ont formé chacun une couronne. Le type 4 correspond aux cacaoyers sénescents régénérés par les agriculteurs, ou en cours de régénération, et sur lesquels l'agriculteur a laissé se développer plusieurs rejets orthotropes d'âge différent à la base du tronc initial avant d'éliminer ce dernier. Le type 5 correspond aux cacaoyers sénescents non régénérés ou ayant subi un traumatisme qui a entraîné la disparition d'une partie de la couronne (Jagoret, 2011).

Diamètre des tiges

Les diamètres ont été mesurés sur tous les cacaoyers identifiés, en vue de calculer leur surface terrière et l'estimation de la biomasse des cacaoyers.

Les variétés

L'origine génétique des cacaoyers a été déterminée, pour les individus productifs, à partir d'un examen des caractéristiques morphologiques des cabosses. Le profil génétique d'un peuplement cacaoyer est la proportion, exprimée en %, des deux origines génétiques préalablement identifiées au Centre Cameroun par Babin, (2009) (Figure 7: Variétés de cacao cultivées dans le centre Cameroun). Le matériel végétal Amelonado, également appelé « cacao allemand », est un Forastero dont les cabosses sont caractérisées par leur forme ovale et lisse très superficiellement sillonnée et une base légèrement étranglée en goulot de bouteille. Le matériel végétal hybride a généralement pour base génétique des Trinitario, forme hybride entre Forastero et Criollo, qui ont servi de base génétique dans de nombreux programmes de sélection conduits au Cameroun.

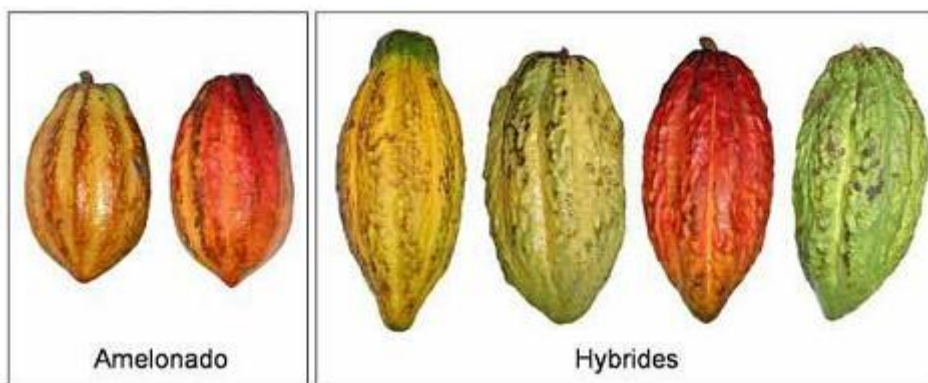


Figure 7: Variétés de cacao cultivées dans le centre Cameroun
Source : Jagoret, 2011.

Production en cacao marchand

Cent cabosses sont prélevées dans 20 champs choisis de manière aléatoire dans le réseau (à raison de cinq cabosses par champs choisi) lors du deuxième et du quatrième passage ; ces cabosses sont classées selon qu'elles sont hybrides ou selon qu'elles sont amelonado. Les cabosses sont pesées puis cassées. Ensuite on procède à un pesage et un comptage des fèves fraîches avec trie des fèves plates. Dès lors, deux possibilités s'offrent : premièrement appliquer un coefficient de transformation sur le poids frais des fèves afin d'avoir la valeur du poids sec ; deuxièmement on sèche les fèves au soleil et elles sont pesées une fois l'humidité

réduite à environ 10%. La première possibilité fut utilisée dans le cadre de cette étude. L'estimation du rendement potentiel en cacao marchand (en kg) se fera suivant l'équation :

$$\mathbf{Rdtcm} = (\mathbf{Nbcab} \times \mathbf{Ptf} \times \mathbf{Ct}) \times \mathbf{d}$$

Où

Nbcab : nombre moyen de cabosses par cacaoyer

Pdf : poids moyen de fèves fraîches par cabosse (kg)

Ct : coefficient de transformation poids de fèves fraîches/poids de cacao marchand

d : nombre de cacaoyers ha⁻¹

Surface terrière des cacaoyers dans les différentes placettes.

La surface terrière d'un arbre est la surface de la section transversale de cet arbre à 1,30 m au-dessus du sol (Rondeux, 1993). C'est la surface occupée par un arbre i à l'hectare. La surface terrière d'un peuplement (G) et représente donc la somme des surfaces terrières des individus pris individuellement (g), qui composent ce peuplement (Pardré et Bouchon, 1988). Elles se calculent à l'aide des relations suivantes

$$\mathbf{g} = \frac{\pi \mathbf{D}i^2}{4}$$

Avec :

g = surface terrière du ligneux i (m²/ha)

Di = diamètre du ligneux i

π = 3,14

$$\mathbf{G} = \sum_{i=1}^n \frac{\pi \mathbf{D}i^2}{4} \times \frac{\mathbf{d}}{\mathbf{n}}$$

Avec:

G= surface terrière d'un peuplement,

Di= diamètre du ligneux I,

d= densité du peuplement à l'hectare,

n= effectif de la population dans la placette

Cette grandeur dépend à la fois de la grosseur et du nombre d'arbres ; elle est corrélée au couvert des arbres, ce qui permet de quantifier le degré de compétition au sein du peuplement,

et les conditions d'éclairement du sol. Selon CRPF et (Formation à la gestion forestier) FOGEFOR (2011) : un peuplement dense et âgé pourra avoir une surface terrière élevée 25 à 50 m²/ha ; un peuplement plus jeune ou plus clair aura une surface terrière faible : 5 à 15 m²/ha la surface terrière moyenne par cacaoyer. La relation entre la productivité des cacaoyers et leur vigueur est connue et a été mise en évidence par plusieurs auteurs (Jagoret *et al.*, 2011). La surface terrière d'un cacaoyer a été calculée à partir du diamètre du ou des troncs de chaque cacaoyer mesurée à 1,3 mètre du sol pour les cacaoyers adultes, et à partir du diamètre au collet mesuré à 50 cm du sol pour les cacaoyers âgés de moins de cinq ans. La surface terrière totale d'un peuplement cacaoyer est la somme des surfaces terrières de tous les individus qui composent ce peuplement. Cet indice permet d'estimer la surface au sol occupée par le peuplement cacaoyer.

Biomasse aérienne des arbres (AGB)

La biomasse des cacaoyers vivant sera estimée en utilisant l'équation allométrique de Chave *et al* (2005). Cette équation prend en considération les précipitations annuelles de la localité (Saj *et al.*, 2013).

$$AGB = \exp [-2,977 + 0,94 \ln (W_i \times (DBH_i^2) \times H_i)]$$

$$AGB = 0,0509 \times (W_i \times (DBH_i^2) \times H_i)$$

Avec :

AGB = biomasse aérienne des arbres individualisé (kg) ;

H_i = hauteur de l'arbre (m) ;

W_i = densité du bois (g.cm⁻³) ;

DBH_i = diamètre à hauteur de poitrine (cm).

Les DBH_i ont été mesurés à 1,3 m du sol (Saj *et al.*, 2013), et pour les arbres plus jeunes on a considéré le diamètre au collet. La hauteur quant à elle a été mesurée à l'aide d'une règle graduée. La densité du bois considérée fut définie par Chave *et al* (2006) ; sa valeur est de 0,42 g.cm⁻³ (Saj *et al.*, 2013).

Biomasse souterraine des arbres (BGB)

L'estimation de la BGB est étroitement liée à la AGB, suivant le modèle de Cairns *et al.*, (1997), dont l'équation est la suivante :

$$\text{BGBi} = \exp(-1,0587 + 0,8836 \times \ln(\text{AGBi}))$$

D'après Cairns *et al.*, (1997), la AGB est à 83% responsable des fluctuations de la BGB ; les autres facteurs étant la latitude, le type d'arbre, la température, le taux de précipitation, l'âge et la texture du sol.

Calcul du stock de carbone

L'estimation des stocks de carbone des cacaoyers se fera en utilisant le modèle non destructif des arbres. 16 cacaoyers sont identifiés dans chaque placette de 800 m². Les 16 étant choisis selon un échantillonnage aléatoire simple tel que présenté par la Figure 4: Schéma de sélection de 16 cacaoyers dans une placette. Le même modèle a été utilisé par Saj *et al.*, (2013) dans le cadre de l'estimation des stocks de carbone des arbres associés dans les SAFs à base de cacao du centre Cameroun (Bokito, Ngomedzap, Obala). Il est souvent dit que le carbone représente 50% de la biomasse totale d'un ligneux vivant. Dans cette étude, nous allons utiliser la valeur 47,5%. En effet, cette valeur (47,5%) a été utilisée par Saj *et al.* (2013) dans l'évaluation des stocks de carbone des arbres associés dans les SAFs à base de cacao du centre Cameroun. Cette valeur provient d'une moyenne effectuée entre la valeur conventionnellement utilisée (50%) de Hairiah *et al.*, (2011), et la valeur de Kotto Same *et al.* (1997), Njomgang *et al.* (2011) de 45%, spécifiquement utilisée sur les AFs camerounais (Saj *et al.*, 2013).

3.2.5 Critères de classification des plantations en fonction du niveau d'entretien

Les plantations ont été caractérisées sur la base de trois principaux paramètres :

- la densité de peuplement cacaoyer à l'hectare ;
- la densité des arbres associés à l'hectare ;
- les activités d'entretien des plantations suivant trois modules : le désherbage, la taille, et le traitement phytosanitaire.

La finalité de cette rubrique est de produire un modèle de gestion multicritères qui permettra de caractériser les SAFCs en fonction des paramètres de gestion (gestion des peuplements végétaux et les activités d'entretien). Ce dernier sera un outil opérationnel permettant d'expliquer le rendement en cacao marchand dans les SAFCs. En ce qui concerne la densité de peuplement cacaoyer, la densité de 1600 pieds à l'hectare représente la densité maximale

qu'on puisse établir dans ces systèmes. En ce qui concerne les arbres associés au cacao dans les SAFCs, Jagoret (2011), trouve en moyenne 158 espèces arbres associés ha⁻¹ dans la région du centre Cameroun. Le nombre moyen d'arbres associés (toutes espèces confondues) sera déterminé par décompte systématique dans les placettes des plantations présentant la meilleure situation de production potentielle dans notre réseau de plantations ; la moyenne des données obtenues sera extrapolée à l'hectare.

3.2.6 Gestion des peuplements cacaoyers et peuplements associés

La diversification apparaît comme la réponse des exploitants face à l'instabilité des marchés internationaux, en substituant une source de revenu en déclin par une autre (Jagoret, 2009). Suite au processus de libéralisation de la filière cacao, concomitant aux effets de la crise des cours internationaux et la dévaluation du franc CFA, la préparation du terrain en cacaoculture de zone forestière, a connu quelques ajustements dans les activités de préparation du terrain. L'abattage du sous-bois est sélectif (HUBERT, 1984) ; les paysans laissent de façon délibérée des essences répondant aux besoins multiples : bois d'œuvre, arbres fruitier, arbres à valeur médicinale etc. D'autres espèces par contre sont semées par les paysans pour les besoin d'alimentation et en même temps pour servir d'ombrage temporaire (comme le bananier plantain), ou d'ombrage définitif (avocatier, safoutier, manguier...). Mais dans le cadre de notre étude nous allons nous intéresser essentiellement aux essences qui produisent de la nourriture dans les ménages : fruits, condiments, chenilles, feuilles etc. Nous avons utilisé un échantillon de sept plantations afin d'estimer la fréquence des différentes espèces produisant la nourriture dans la localité. Les quantités produites seront estimées à dire d'acteurs.

3.3 ANALYSE STATISTIQUE

Une analyse de la variance (ANOVA) à un facteur a été appliquée pour la variation du rendement potentiel avec l'âge. Lorsque des relations linéaires sont établies entre les variables, une analyse de la covariance (ANCOVA) avec deux variables d'arbres associés est effectuée, afin de déterminer que le rendement potentiel évolue avec l'âge. Une analyse des composantes principales (ACP) et un test de corrélation ont été effectués afin de déterminer les variables qui influencent le rendement potentiel. La comparaison de moyenne entre ces variables et les classes d'âge a été effectuée par le test de Tukey. Les valeurs significativement différentes ont été identifiées par des lettres différentes dans les tableaux.

CHAPITRE 4. RÉSULTATS ET DISCUSSION

4.1 RÉSULTATS ET DISCUSSION

4.1.1 RENDEMENT POTENTIEL EN CACAO MARCHAND ET SES COMPOSANTES.

Il ressort que le rendement potentiel (Rdt) en cacao marchand dans la localité de Ngomedzap est de 430,4 kg.ha⁻¹. La plus grande valeur est 1137,6 kg.ha⁻¹, et la plus petite valeur étant 45,5 kg.ha⁻¹. Les plantations très vieilles (âge ≥60), en plus d'être majoritaires, représentent également la classe la plus productive du réseau avec un rendement potentiel moyen de 530,1 kg.ha⁻¹. Les plantations immatures (âge ≤10) quant à elles ont le rendement potentiel moyen le plus bas 271,8 kg.ha⁻¹. Aucune différence significative n'est établie entre les différentes classes d'âge (F = 1,303 et P = 0,292) en réalisant une simple ANOVA. Les plantations très vieilles sont les plus précoces, et en même temps celles dont la production chute rapidement entre le 3^{ème} et le 4^{ème} passage (Figure 10). Par ailleurs, les cacaoyères vieilles (40 < âge ≤ 60), seraient celles-là qui produisent le plus longtemps possible ; car, jusqu'au 4^{ème} passage elles ne connaissent pas encore une chute de production de cabosse. La classification des champs selon les classes de rendement potentiel allant de Rdt < 200, à Rdt ≥ 800, (Figure 8) montre que la majorité des cacaoyères de la localité sont comprises dans les classes de rendement de 200 ≤ Rdt < 400 et 600 ≤ Rdt < 800. Très peu de champs appartiennent à la classe Rdt ≥ 800. Une fois de plus, les cacaoyères très vieilles, sont dominantes dans ces deux catégories ; elles sont suivies des plantations matures (20 < âge ≤ 40). Aucune différence significative est mise en évidence entre les cacaoyères classées en fonction des classes de rendements (F= 0,943 et P= 0,453).

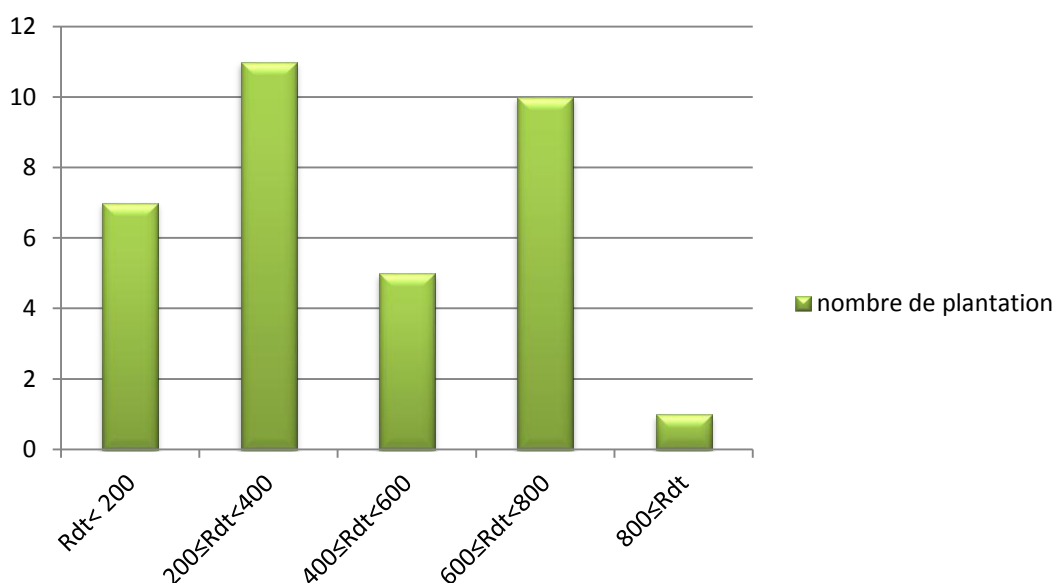


Figure 8: Histogramme de distribution des plantations en fonction des classes de rendement potentiel.

Le nombre moyen de cabosse par cacaoyer dans la zone de Ngomedzap est de 9,1 cabosses/cacaoyer. Les plantations les plus âgées ont le plus grand nombre moyen de cabosse par cacaoyer qui est de 11,9/cacaoyer. Et les cacaoyères immatures détiennent le record du plus petit nombre moyen de cabosses par cacaoyer (3,2/cacaoyer). Aucune différence significative n'est établie entre les classes ($F=3,240$ et $P=0,26$). Il faut noter entre autre que aucun cacaoyer quel que soit l'âge ne produit entre 21-30 cabosse. La plupart des plantations s'alignent entre 2-10 et entre 11-20. (Figure ci-dessous).

Table 1: Récapitulatif des rendements potentiels moyens et du nombre moyen de cabosse par cacaoyer et des stocks de carbone

Classe d'âge de cacaoyère	Rendement potentiel moyen/ha	Nombre moyen de cabosse/cacaoyer	Stock de C moyen/ha
âge ≤10	271,8(±88,9) a	3,2189(±1,44) a	109,8(±72,3) a
10 < âge ≤20	371,3(±238,8) a	6,8830(±5,14) ab	102,7(±1,4) a
20 < âge ≤40	373,5(±245,9) a	7,9286 (±4,72) a	135,9(±42,2) a
40 < âge ≤60	339,9(±270,4) a	6,9836(±5,14) ab	164,7(±78,5) a
âge ≥60	530,1(±240,1) a	11,9853(±4,59) b	151,3(±60,7) a

Sur une même colonne, les valeurs suivies par une même lettre ne sont pas significativement différentes ($P < 0,05$, test de Tukey)

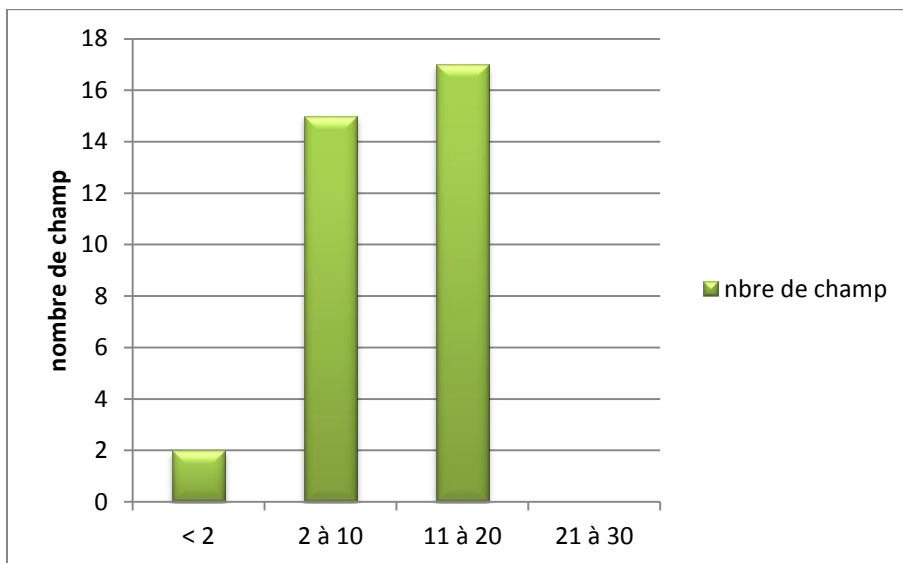


Figure 9: Histogramme de distribution des cacaoyères suivant le nombre moyen de cabosses par cacaoyer

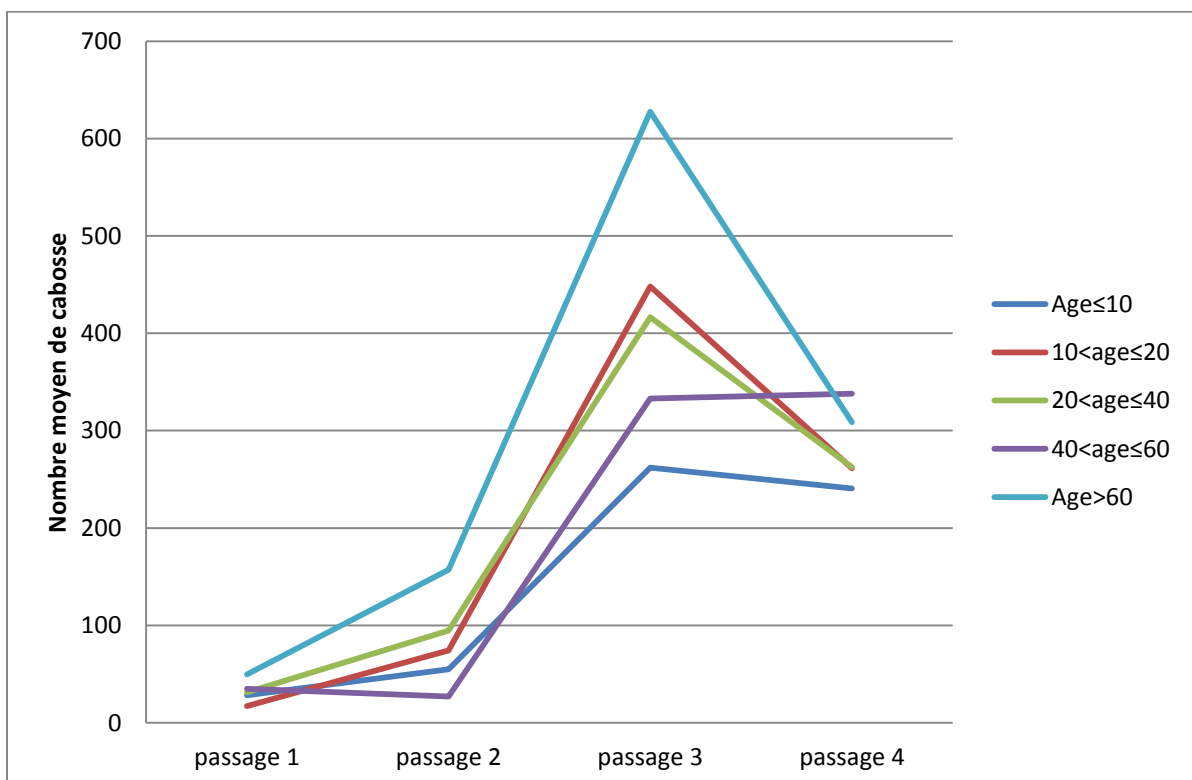


Figure 10: Courbes de production des cabosses

Le rendement potentiel moyen en cacao marchand obtenu dans le cadre de cette étude est faible par rapport à celui trouvé par Jagoret (2011) ; il est obtenu avec presque deux fois plus de cacaoyères. Cette valeur est actuellement de $430,4 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ contre $547 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$; le nombre moyen de cabosse par cacaoyer trouvé ici corrobore les résultats de Jagoret (2011). Mais il est

communément admis que le rendement des cacaoyères en culture pure, chute après 30 ans d'exploitation ; or, dans cette étude il ressort que les cacaoyères vieille de 60 ans et plus sont les plus productives. Ceci peut s'expliquer par le fait que, à l'origine, l'installation des cacaoyères utilise le brulis qui a une contribution négative dans la disponibilité des éléments nutritifs du sol. On peut donc suggérer une reconstitution lente du sol au fil du temps. De plus, les plantations très vieilles sont différentes des autres classes sur le plan du nombre d'individu (associés ou cacaoyer) par unité de surface, en terme de surface terrière et en terme de caractéristiques morphologique des peuplements. La présence d'un peuplement hétérogène dû à la redensification régulière évoquée par Jagoret (2011) serait également l'une des raisons pouvant expliquer ce résultat. Un peuplement devenu vigoureux (enracinement profond, hauteur des cacaoyers élevée), est plus compétitif, et apte à utiliser les éléments du sol lessivés vers la profondeur.

Table 2: effectif des champs dans chaque classe d'âge en 2013

Catégories d'âge	Effectifs	
	Absolu	Relatif (%)
mature	10	29,412
Très vieux	15	44,118
Vieux	3	8,824
Jeune	3	8,824
immature	3	8,824

4.1.2 Densité de peuplement cacaoyer

Dans la zone de Ngomedzap, la densité moyenne de plantation est de 1423,162 pieds/ha. Les densités les plus élevées sont identifiées dans les plantations immatures (2362,67 pieds/ha) ; contre 1211,87 pieds/ha pour les plantations très vieilles qui présentent ici les plus petites densités. Il existe une différence significative entre les classes d'âge ($F= 4,897$ et $P= 0,04$). La répartition des cacaoyères par classe de densité montre une grande variation des plantations. La majorité des cacaoyères sont répertoriées dans les deux classes de densité suivantes : $1000 < \text{densité} \leq 1300$, $1300 < \text{densité} \leq 1600$ (Figure 11). Ce qui correspond généralement aux normes recommandées par la recherche agronomique (Braudeau, 1969 ; Wood et Lass, 1985).

Table 3: Récapitulatif des densités moyennes et surfaces terrières moyennes

Classe d'âge de cacaoyère	Densité cacaoyer/ha 2014	Densité cacaoyer/ha 2013	Surface terrière en moyenne/cacaoyer	Densité arbres associés/ha
âge ≤10	2362,7(±495,1) b	2591,7(±362,6) a	5,1(±1,3) a	381,9(±182,8) a
10 < âge ≤20	1592,0(704,2) ac	1545,8(±710,8) b	18,5(±8,3) bc	247,2(±44,5) bc
20 < âge ≤40	1382,6(482,9) a	1396,3(±586,1) b	25(±8,8) bd	254,9(±123,9) bc
40 < âge ≤60	1417,0(413,5) a	1333,3(±334,1) b	14,1(±4,6) bc	222,2(±77,6) bcd
âge ≥60	1211,9(284,8) ad	1200,8(±280,9) b	26,9(±5,3) bd	157,8(±48,6) bd

Sur une même colonne, les valeurs suivies par une même lettre ne sont pas significativement différentes ($P < 0,05$, test de Tukey)

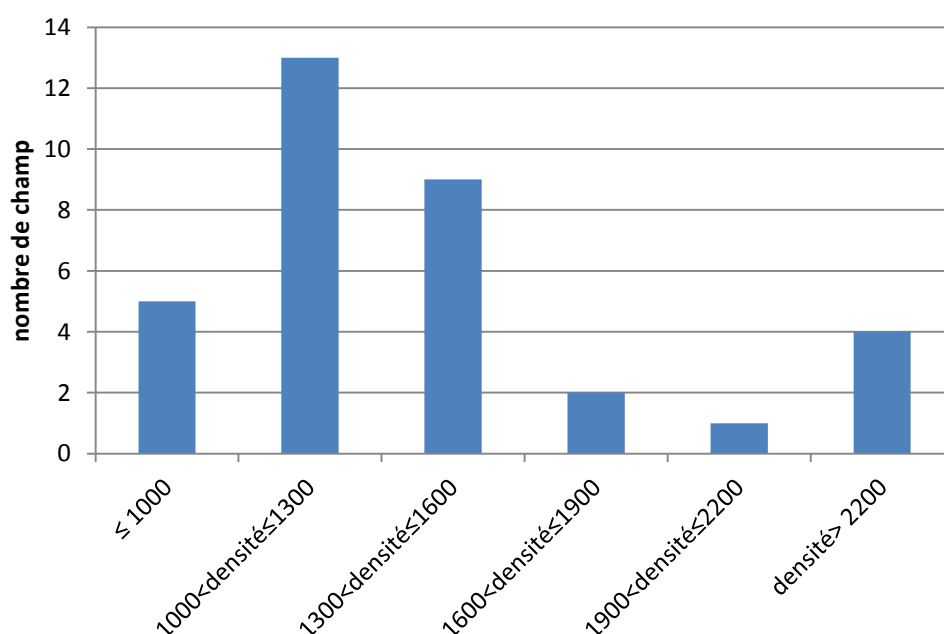


Figure 11: Histogramme de distribution des cacaoyères par classe de densité

La Figure 11 représente les densités de peuplement cacaoyer de 2013-2014 ; à partir de cette figure on voit une variation de la gestion des peuplements cacaoyer d'une cacaoyère à une autre à travers le réseau. Selon les données des densités de peuplement cacaoyer de l'année 2013 sur les mêmes unités, une différence significative est établie ($F = 6,258$ et $P = ,001$) entre les plantations immature et le reste de classe d'âge du réseau. La plus grande densité moyenne est 2591,7 pour les plantations immatures, et la plus petite densité moyenne est de 1200,8 pour les plantations très vieilles. Une corrélation positive de Pearson ($r = 0,956$) est établie entre les densités de peuplement cacaoyer de 2013 et celles de 2014. Ce qui suggère une

variation régulière des densités de peuplement cacaoyères dans les SAFCs déjà évoquée par Jagoret (2011). Il faut par ailleurs noter que la redensification des plantations commence dans les jeunes plantations et devient continue dans le temps Figure 13.

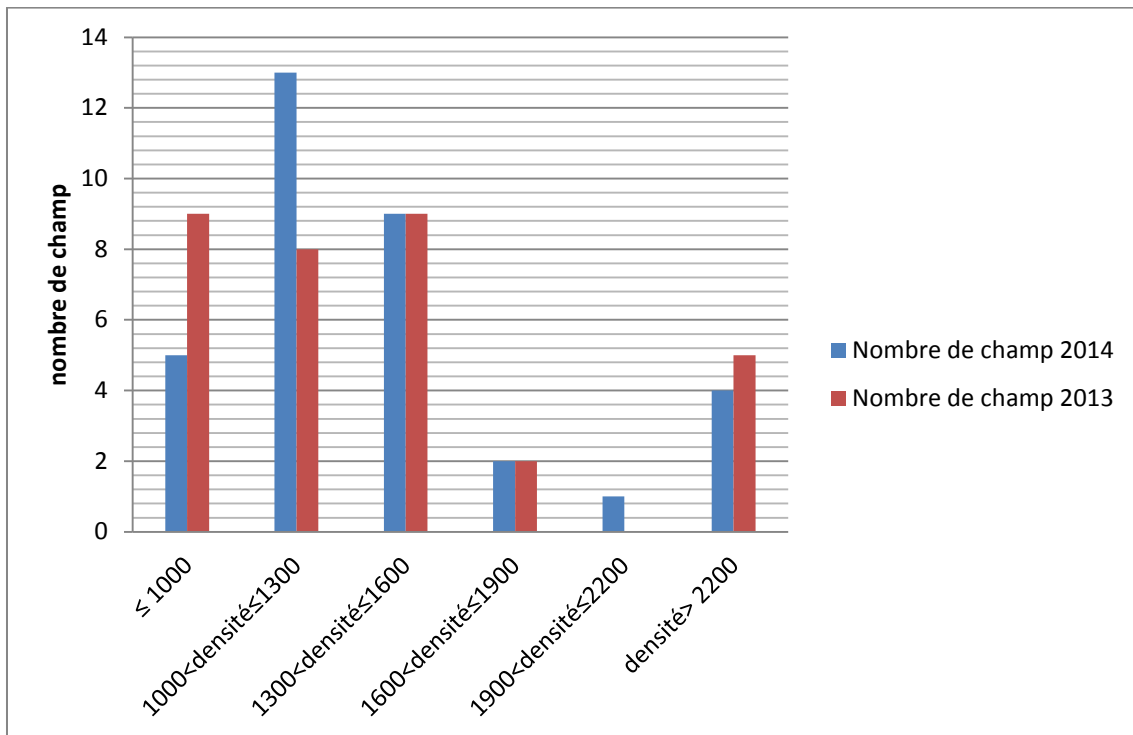


Figure 12: Histogramme regroupant les densités 2013-2014 par classe de densité

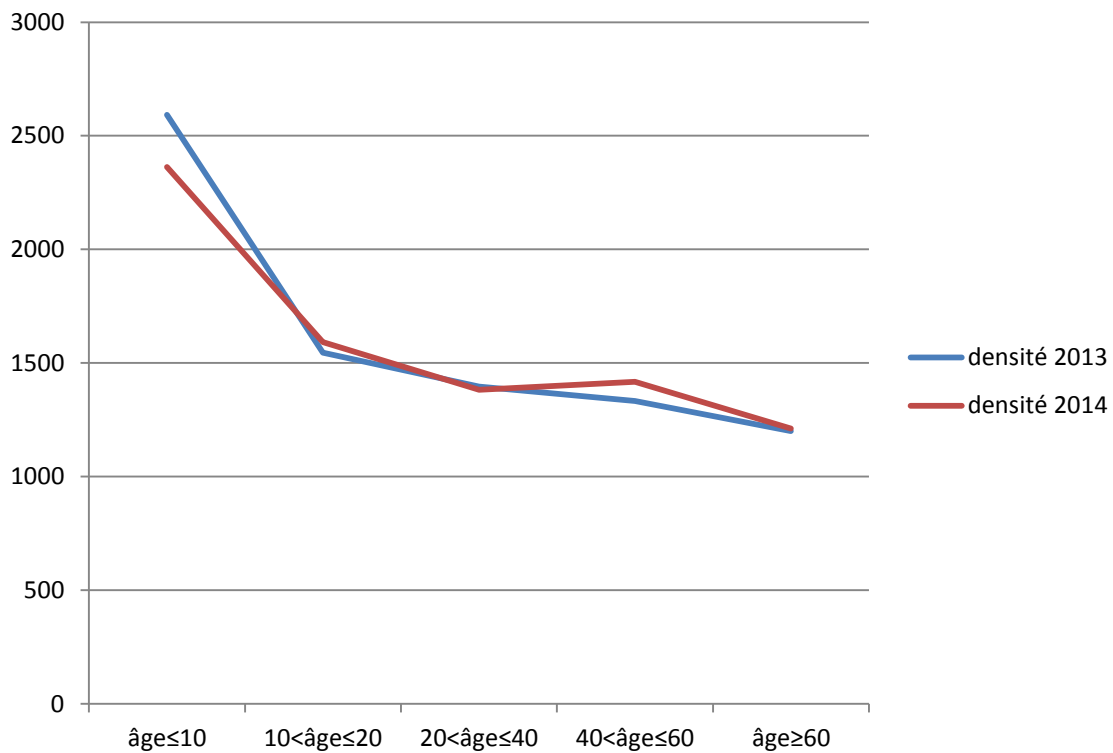


Figure 13: Courbes d'évolution des densités de peuplement cacaoyer avec l'âge.

La densité moyenne de plantation connaît une légère évolution par rapport aux résultats de Tayo (2013), qui a trouvé 1175 plants/ha dans le même réseau de plantations, Jagoret (2011) 1723 plants/ha dans la même localité. D'autre part, Sonwa (2004), établit dans une étude menée dans la région du sud Cameroun, que la densité moyenne de peuplement cacaoyer est de 1168 pieds/ha. Ces résultats suggèrent une dynamique inter et intra annuelle des peuplements cacaoyer dans l'ensemble du réseau. Le fait que la majorité des cacaoyères se retrouvent dans la classe des cacaoyères très vieilles, suggère également une régularité des pratiques de régénération des cacaoyères, et non d'un déplacement des zones de cacao cultures. La régénération dans cette localité se fait particulièrement par une redensification des cacaoyères en place par semis de jeunes cacaoyers sous les vieux. Aucune corrélation n'est établie entre le rendement en cacao marchand et la densité de peuplement cacaoyer ce qui confirme les résultats obtenus par Jagoret (2011) dans les SAFCs du Centre Cameroun. Mais les densités de peuplement cacaoyer très élevées affectent négativement la hauteur des cacaoyers qui, à leur tour établissent une augmentation significative des rendements en cacao. Ceci suggère que le nombre moyen d'individu par unité de surface influence la morphologie du peuplement, et indirectement la productivité.

4.1.3 Surface terrière de peuplement cacaoyer

La surface terrière moyenne dans la localité de Ngomedzap est estimée à 22,5 m²/ha. Les cacaoyères très vieilles ont la plus grande valeur moyenne (26,85 m²/ha) alors que les cacaoyères immatures ont la plus petite valeur moyenne qui est de 5,12 m²/ha. Une différence significative (F= 8,547 et P= 0,005) est établie entre les différentes classes d'âges (Table 3). La surface terrière moyenne du réseau en 2013 est de 28,08 ; il y a une corrélation positive ($r= 0,512$ et $P= 0,01$) entre les valeurs de 2013 et celles obtenue en 2014. La surface terrière étant fonction du DHP de la plante, ce résultat indique la présence d'un peuplement de plus en plus jeune au fil du temps ; ce qui est encore conforme à l'hypothèse de la redensification constante dans les cacaoyères de Ngomedzap.

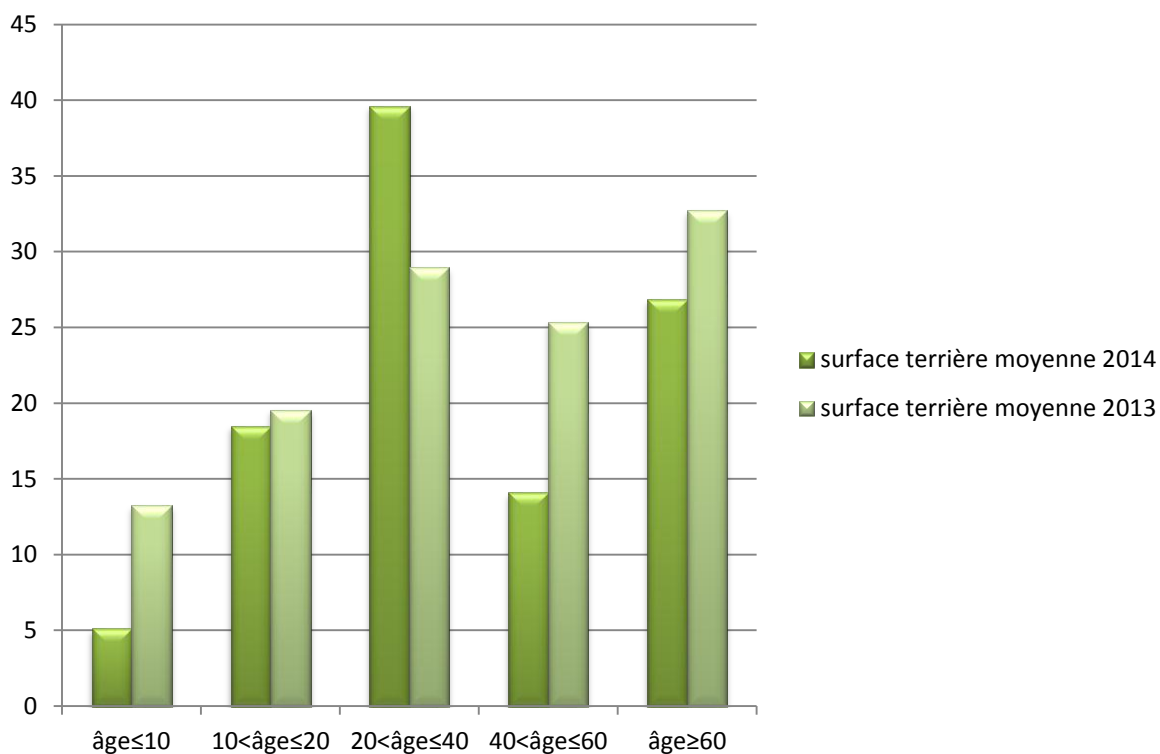


Figure 14: Histogramme présentant l'évolution des surfaces terrières au fil du temps

La relation entre la vigueur de l'arbre et sa productivité établie par Glendinning, (1960 ; 1966). Lachenaud et Mossu, (1985), confirme l'augmentation du rendement avec la ST/cacaoyer. Or, la ST/cacaoyer augmente significativement avec la hauteur des cacaoyers ; ce résultat est concordant avec celui de Jagoret (2011), qui suggère une influence indirecte du rendement par la densité de peuplement cacaoyer.

4.1.4 Densité des arbres associés

À Ngomedzap, le nombre moyen d'Ass dans les cacaoyères est de 219,8 arbres/ha. Les cacaoyères immatures ont les densités moyennes les plus élevées (381,9 arbres /ha) ; alors que les très vieilles cacaoyères ont une densité moyenne la plus basse dans le réseau (157,8 arbre/ha). Une différence significative ($F=4,312$ et $P=0,007$) existe entre les classes d'âge (Table 3). La figure ci-dessous nous présente une évolution des densités des Ass selon les âges des cacaoyères. La densité des Ass diminue progressivement avec l'âge de la cacaoyère ; or dans les cacaoyères immatures, le rendement augmente rapidement avec la baisse de la densité des arbres associés.

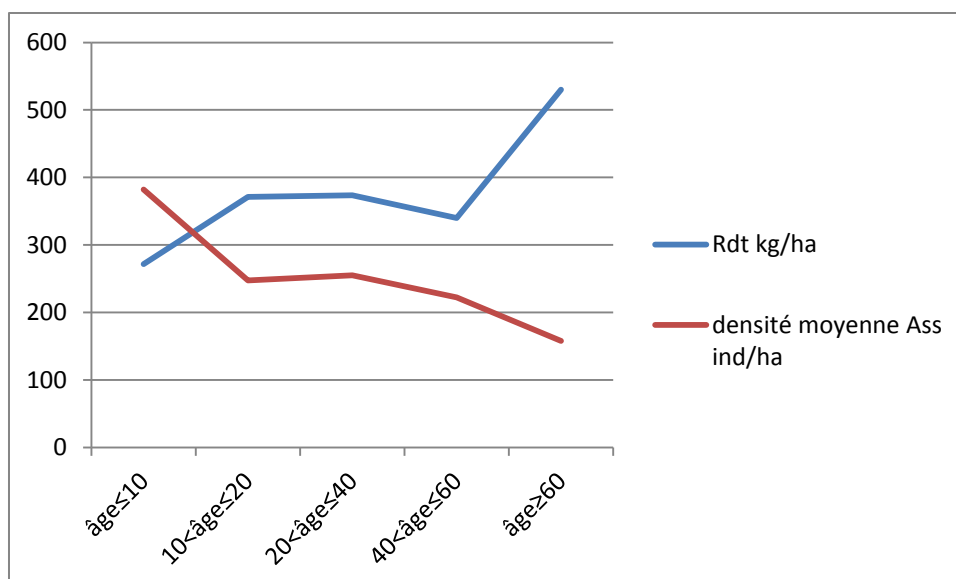


Figure 15: évolution des rendements potentiels et des densités des arbres associés dans la chronoséquence

Les cacaoyères de la localité de Ngomedzap sont maintenues dans un système complexe des immatures, jusqu'aux plus âgées. Les résultats du Table 3 indiquent après 10 ans il n'y a aucune différence significative entre les différentes classes d'âges ; ce qui évoque une certaine stabilité du système dans le temps. Les densités de peuplement cacaoyer suivent la même tendance en se stabilisant une fois la plantation devient jeune. La trajectoire de vie des SAFCs dans la zone de Ngomedzap reste liée à une évolution ascendante ou descendante des variables dans un système stable.

4.1.5 Stock de carbone

Le stock de carbone moyen des SAFCs de Ngomedzap est obtenu à partir des stocks de carbone provenant des arbres associés et des stocks de carbone provenant des cacaoyers. Il ressort que les SAFCs de Ngomedzap séquestrent en moyenne 139,9 t/ha. La classe de cacaoyères vieilles a le potentiel de séquestration le plus élevé (164,7 t/ha). Les jeunes cacaoyères ont le potentiel de séquestration le plus bas (102,7 t/ha).

Les Ass aux SAFCs de Ngomedzap séquestrent en moyenne 135,9 tonne de carbone /ha. Le potentiel de séquestration est plus élevé dans les vieilles cacaoyères (160,3 t/ha) contre 99,7 t/ha pour les jeunes cacaoyères. Aucune différence significative ($F=0,867$ et $P=0,495$) n'est enregistrée entre les classes d'âges. On peut observer dans l'histogramme de la

figure ci-dessous, qu'une densité élevée d'arbres associés n'implique guère un potentiel de stockage élevé.

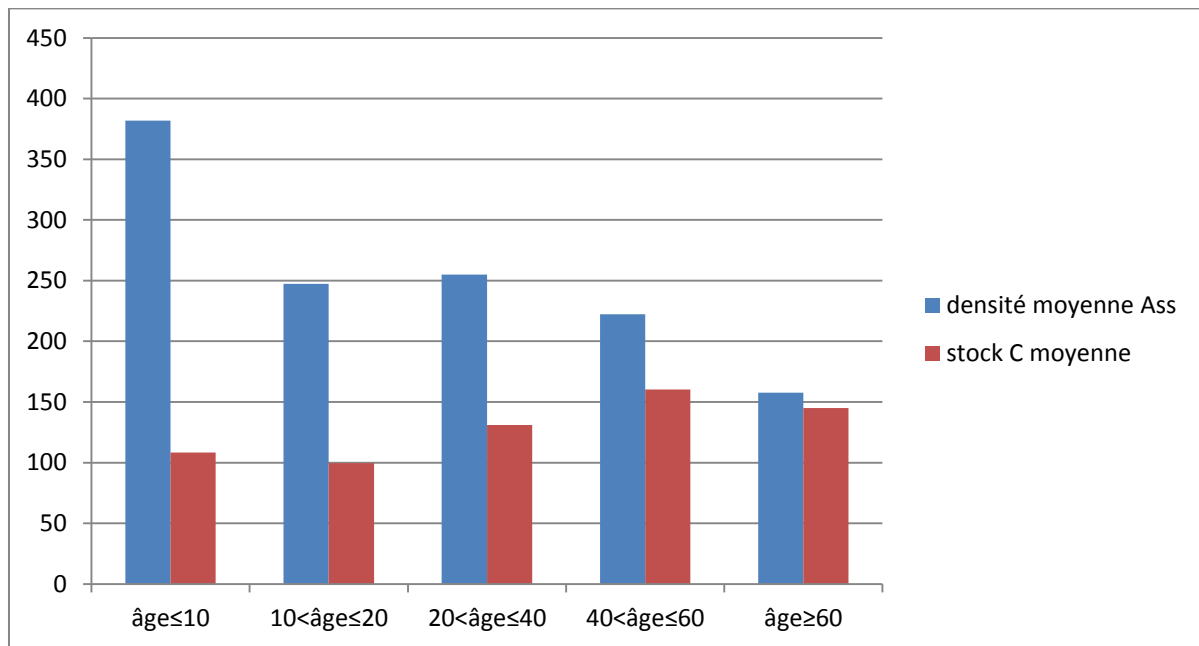


Figure 16: histogramme présentant l'évolution des stocks de C et des densités des arbres associés selon les âges.

Aucune différence n'a été établie entre les classes d'âge en ce qui concerne les stocks de carbone. Le peuplement cacaoyer, bien que plus abondant (environ 10 fois) que le peuplement d'arbres associés dans la zone d'étude, a la plus faible valeur de stock de C. Ce résultat corrobore les résultats de Saj *et al.* (2013), Tayo (2013), obtenus dans les SAFCs du centre Cameroun. L'augmentation significative du potentiel de stockage total est observée avec une augmentation de : la ST des arbres dont DHP est supérieur à 30 cm, la ST des Ass, la ST total des arbres dans un champ, la hauteur des Ass, la quantité de C stockée par les arbres de DHP supérieur à 30 cm, et de la quantité total de C séquestré par les Ass (Annexe 2).

4.1.6 Relation entre le rendement potentiel et les variables d'état du peuplement cacaoyer

D'après les résultats de l'ANOVA, aucune différence significative n'est observée entre les classes d'âge de cacaoyère. L'analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée avec le rendement potentiel en cacao et les variables d'état des cacaoyères (Annexe 3). Les axes 1 et 2 regroupent 77,16% de l'information. L'axe F2 est seulement constitué de : la ST total du peuplement (arbres associés et cacaoyères) d'une cacaoyère, la ST des arbres associés, la ST des arbres associés dont le DHP est supérieur à 30 cm, la densité des arbres associés dont le DHP est supérieur à 30 cm. Les autres variables se retrouvent sur l'axe F1.

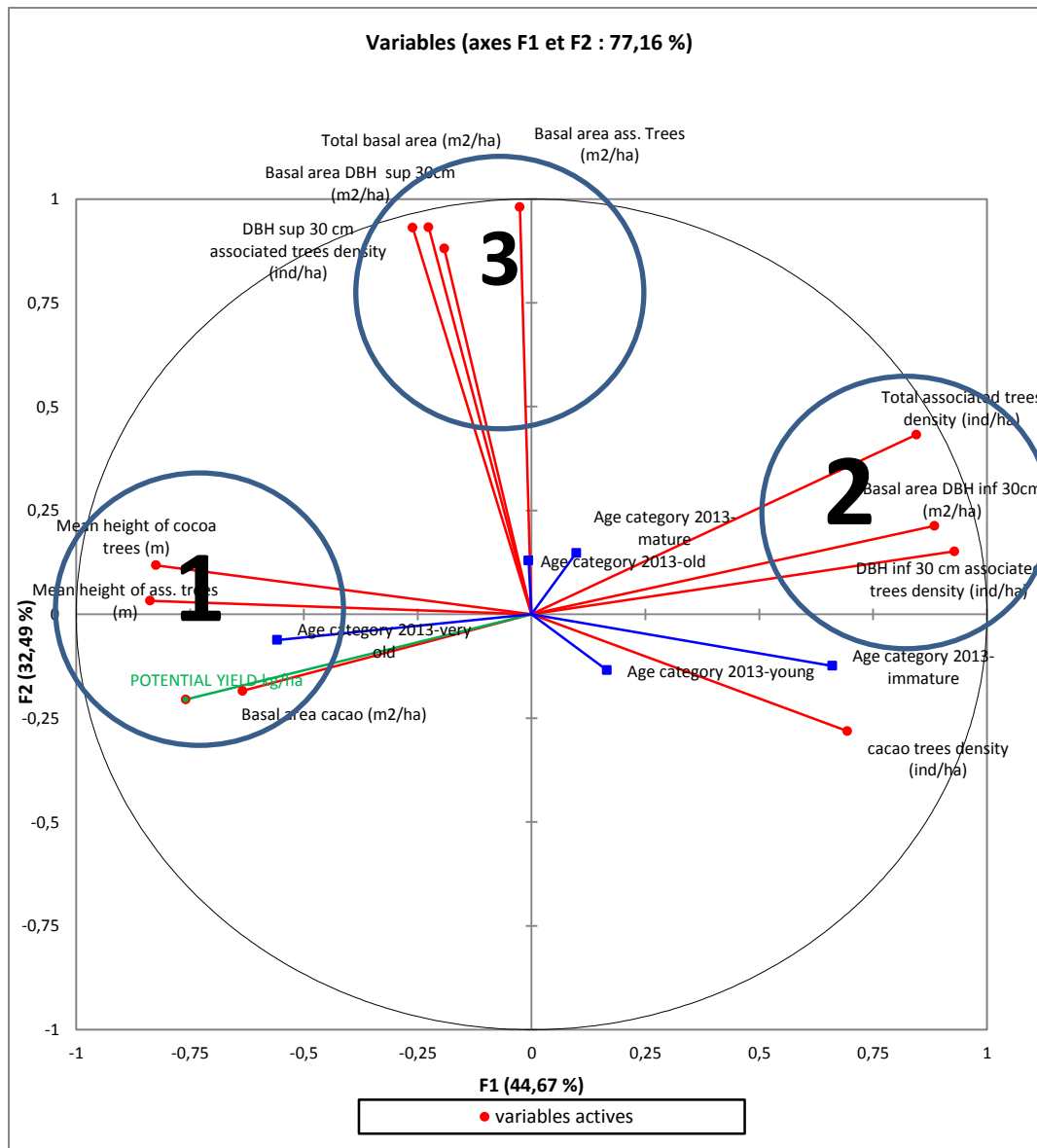


Figure 17: Analyse en composantes principales des variables actives et des variables supplémentaires du rendement

Les corrélations (cf. Annexe 3) enregistrées ici sont :

- le rendement potentiel augmente significativement avec : la surface terrière des cacaoyers, la hauteur des cacaoyers et des arbres associés (groupe 1): Aucune relation n'est établie entre le rendement potentiel et la densité de peuplement cacaoyer ($r = -0,172$) ;
- il existe une corrélation négative entre rendement potentiel et le nombre d'espèces associées dont le DHP < 30 cm/ha, la densité total d'espèces associées/ha, la surface terrière (ST) des espèces associées dont le DHP < 30 cm (groupe 2) ;
- le rendement potentiel est significativement non corrélé aux variables formant le groupe 3 ;

- la densité totale des espèces associées à l'hectare diminue significativement avec : l'augmentation du rendement potentiel à l'hectare, augmentation de la ST des cacaoyers, la hauteur des cacaoyers, la hauteur des arbres associés et l'âge des cacaoyères (particulièrement celles âgées de plus de 60) ;
- la ST des cacaoyers augmente avec la hauteur moyenne des cacaoyers, la hauteur moyenne des arbres associés ; elle augmente dans les cacaoyères très vieilles ;
- il y a une diminution significative des variables suivantes dans les plantations très vieilles : densités des cacaoyers à l'hectare, densité des arbres associés de diamètre inférieur 30 cm, la densité totale des arbres associés, ST des arbres dont le DHP est inférieur à 30 cm ;
- aucune corrélation n'est établie entre les variables de structure, les variables d'état et les cacaoyères immatures, les cacaoyères jeunes, les cacaoyères mature.

Une analyse de la covariance (ANCOVA, Table 4) est établie afin de discuter les résultats de l'ANOVA. Il ressort de cette dernière qu'il existe une différence significative ($F= 3,805$ et $P= 0,027$) entre les différentes classes d'âge des plantations pour le rendement potentiel.

Table 4: Analyse de la covariance

Dependent Variable:POTENTIAL YIELD kg/ha					
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1,139E+06	12	94950,799	2,602	,030
Intercept	65587,099	1	65587,099	1,797	,196
Agecategory2013	416567,007	3	138855,669	3,805	,027
BasalareaDBHinf30cmm2ha	119090,407	1	119090,407	3,263	,087
Meanheightofass.treesm	986,992	1	986,992	,027	,871
Agecategory2013 * BasalareaDBHinf30cmm2ha	241991,160	3	80663,720	2,210	,120
Agecategory2013 * Meanheightofass.treesm	384260,679	3	128086,893	3,510	,035
Error	693377,292	19	36493,542		
Total	8,079E+06	32			
Corrected Total	1,833E+06	31			

Aucune relation n'est établie entre le stock total de C SAFCs et la densité des Ass ($r= 0,068$) ; et une densité élevée d'Ass entraîne une diminution significative du rendement. Cependant, aucune relation négative n'est établie entre la ST des Ass dont DHP est supérieur à 30 cm, la ST totale des Ass, la ST total des arbres dans un champ, la hauteur des Ass, la quantité de C stockée par les arbres de DHP supérieur à 30 cm, et de la quantité total de C séquestré par les Ass (Annexe 2) ; ce qui est également le cas avec le rendement potentiel des cacaoyères. De

tout ceci ressort la possibilité d'un certain compromis entre le rendement potentiel en cacao marchand optimal et le potentiel de séquestration de C optimal des SAFCs. Ce résultat suggèrerait que le potentiel de séquestration optimal de C reste inconnu car aucune relation n'est établie entre la densité des Ass et les stocks de C des arbres associés ($r= 0,094$).

4.1.7 Relation entre le rendement potentiel et les stocks de carbone des SAFCs

Une corrélation positive est établie entre le rendement potentiel et la quantité de carbone (C) séquestré dans les SAFCs. Le rendement potentiel augmente significativement avec les stocks de C des cacaoyers ($r= 0,745$) tableau (Annexe 2). Aucune relation n'est établie entre le stock total de C des SAFCs et leurs rendements potentiels en cacao marchand ($r= 0,102$). En fin de compte, c'est la ST qui compte et pas le nombre d'individus. D'autre part, ce résultat suggère également que les arbres dont le DHP est supérieur à 30 cm, et la surface terrière supérieur à 30 cm, seraient les plus à même d'établir le compromis entre rendement élevé et stock de C élevé. Les stocks de C sont donc étroitement liés aux caractéristiques morphologiques des Ass.

4.1.8 Produits autres que le cacao issus des SAFCs

Dans la localité de Ngomedzap, 15 espèces d'Ass qui produisent de la nourriture pour les ménages sont répertoriées. *Persea americana* est l'espèce la plus fréquente (38,5%), alors que *Coula edulis* est la moins fréquente (0,5%). Par contre *Dacryodes edulis* est présent dans toutes les plantations échantillonnées. Les quantités moyennes produites par chaque espèce sont consignées dans le tableau en Annexe 1.

En effet, en plus du cacao et du C séquestré par les SAFCs, une gamme très variée de produits entrant dans l'alimentation des ménages dans la zone d'étude est répertoriée. La grande diversité de ces produits est étroitement lié au nombre d'espèces élevées : 15 espèces/ha (Annexe 1). Ce résultat est faible par rapport à celui trouvé par Sonwa (2008), qui obtint 29 espèces dans le sud Cameroun. Les quatre espèces les plus récurrentes sont : *Persea americana*, *Dacryodes edulis*, *Mangifera indica*, *Triplochyton scleroxylon* (ce dernier sert de support pour les chenilles comestibles). Or, Sonwa détermine particulièrement 5 espèces les plus récurrentes, avec des fréquences élevées à savoir : *Dacryodes edulis*, *Persea americana*, *Mangifera indica*, *Citrus sinensis* et *Citrus reticula*. L'intrus dans cette liste est l'Ayous (*Triplochyton scleroxylon*). Ceci est dû à l'implication directe de cet arbre dans l'alimentation des ménages. L'arbre est le plus vu sous l'angle de son intérêt en foresterie. Il est donc

important, d'évaluer systématiquement la totalité des arbres produisant de la nourriture au ménage, car les chenilles constituent un plat très prisé dans la localité de Ngomedzap, et de plus en plus dans la cité capitale.

4.1.9 Critères de classification des plantations en fonction du niveau d'entretien

La classification ci-dessous établie sur 8 classes allant de 0 à 8, permettra d'expliquer les rendements potentiels sur la base de trois critères :

- le nombre d'arbre associé (toute espèce) de diamètre supérieur ou égal 5 cm dans une surface d'1 ha ;
- la densité de peuplement cacaoyer dans une surface de 1 ha ;
- l'entretien des cacaoyères basées sur trois principaux critères (le désherbage, la taille, et les traitements phytosanitaires).

La densité d'Ass utilisée ici est obtenue de l'évaluation du nombre moyen d'Ass par cacaoyère obtenu par Jagoret (2011).

Table 5: Critères de classification des plantations

Classes	Densité cacaoyer /ha	Densité Ass/ha	Critères d'entretien des plantations	Mention
0	≤ 1600	≤ 158	Trois opérations d'entretiens bien conduites	Champ très bien tenu
1	≤ 1600	≤ 158	Au moins 1 opération bien conduites et 2 autres approximativement conduites	Champ bien tenu
2	≤ 1600	≤ 158	Trois opérations d'entretien approximativement conduites	Champ assez bien tenu
3	≥ 1600	≤ 158	Au moins deux opérations d'entretien menées	Champ passablement tenu
4	≤ 1600	≥ 158	Au moins 1 opération d'entretien bien conduite	Champ médiocre
5	≥ 1600	≥ 158	Moins de deux opérations d'entretien conduites	Champ très mal tenu
6	≤ 1600	≥ 158	Moins de deux opérations d'entretien conduites	Champ abandonné
7	≤ 1600	≤ 158	Aucune activité d'entretien	Foret naturelle

Le critère entretien a trois niveaux de caractérisation sachant que le nombre moyen de désherbage à Ngomedzap est de deux désherbages par ans ; hypothétiquement les conditions idéales sont fixées à 3 désherbages (D) :

Indice	Nombre de Mention	désherbage
1	3	Champ bien tenu
2	2	Champ moyennement tenu, prolifération réduite de chenilles défoliatrices.
3	1 ou 0	Champ abandonné, impossibilité de mener d'autres activités d'entretien

Les traitements phytopathologiques (P) sont établis en fonction du calendrier agricole des paysans. Il est généralement recommandé d'effectuer au moins 3 traitements insecticides, et des traitements fongiques (réguliers) pendant la période allant du mois de Mai à Octobre.

Indice	Traitements	Mention
a	Aucun	Champ abandonné
b	Traitement fongique régulier, aucun traitement insecticide	Champ mal tenu
c	Traitement fongique régulier, au moins 2 traitements insecticides, aucun traitement rodenticide.	Champ moyennement tenu
d	Traitement fongique régulier, 3 traitements insecticides, au moins traitement rodenticide ou dispositif de capture ou de répulsion des rongeurs	Champ bien tenu

Le dernier critère est la taille (T), avec trois types de taille :

- la taille d'entretien : égourmendage et recepage ;
- taille de formation : contrôle de la taille des arbres ;
- taille de régénération : rajeunissement de la plantation.

1= aucune taille : champ mal tenu ;

2= un type de taille uniquement : champ moyennement tenu ;

3= deux types de taille : champ assez bien tenu ;

4= trois types de taille : champ bien tenu.

Exemple de classification : le champ N°2, qui a 141,7 arbres associés, une densité de peuplement cacaoyer de 875 pieds à l'hectare. Deux désherbages par an ; traitements fongiques réguliers, au moins 2 traitements insecticides, aucune lutte contre les rongeurs ; deux types de tailles. **Sa classification se fera ainsi qu'il suit : classe 2 : D₂, P_c, T₃.**

La plupart des cacaoyères de Ngomedzap présentent un nombre d'Ass supérieur à 158, et sont comprises dans la classe de densité de peuplement cacaoyer $1000 < \text{densité} \leq 1300$; à priori, toutes les plantations se retrouveront dans la **classe 4**, correspondant à des champs médiocres.

Le dernier critère permettra la séparation des différentes cacaoyères dans la classification. Cette classification permet de ressortir les principales sources de limitation des rendements dans les SAFCs. Les études menées par Sonwa (2004) montrent qu'en l'absence d'application des pesticides, dans les cacaoyères à forte densité de plantation la production de cabosse est médiocre. De plus il est clairement établi que la productivité du cacaoyer diminue lorsqu'il est cultivé sous un ombrage élevé (Braudeau, 1969 ; Jagoret, 2011 ; Mossu, 1990). Ce modèle permet la coalition des trois principales sources de limitation des rendements dans les SAFCs et permet une vision globale de la cacaoyère et peut être utilisé pour expliquer la trajectoire des cacaoyères.

CHAPITRE 5. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

5.1 Conclusion

À la suite de Jagoret (2011), cette étude vise à l'évaluation *in situ* de la production potentielle en cacao marchand, et elle établit en même temps les relations qui existent entre la production potentielle en cacao marchand, et les différents services écosystémiques. Il ressort donc de ce qui précède que le rendement potentiel des SAFCs reste encore très faible, impacté négativement par la structure du peuplement associé, et la structure du peuplement cacaoyer. La ST des cacaoyers apparait comme le facteur expliquant le mieux les rendements potentiels des SAFCs, alors que les densités élevées des Ass, et particulièrement celles des Ass qui ont une ST inférieur à 30 cm (et donc un DHP inférieur à 30 cm), concourent à une baisse de rendement dans les SAFCs. Les pratiques des paysans dans ce type de cacaoculture mettent un accent sur le cacao et l'approvisionnement des ménages en produits alimentaires divers. Nonobstant la faiblesse des stocks de carbone des cacaoyers, la redensification inhérente dans les SAFCs (militant en faveur de la conservation des forêts) et la séquestration du C par les espèces associées sont le gage de la durabilité de ces systèmes. À cet effet, les différentes voies d'amélioration des SAFCs devraient prendre en considération le rendement en cacao marchand et les services écosystémiques qui se voudront adapter aux habitudes alimentaires de chaque localité, dans le volet des services d'approvisionnement.

5.2 Recommandations

Afin de garantir la qualité de cette étude en milieu paysans :

- la mise en place d'un cadre opérationnel de dialogue et de sensibilisation des paysans au sujet des différentes descentes des groupes de chercheurs et du personnel de terrain au début et à la fin des activités serait d'une grande importance ;
- la nécessité de la connaissance de l'évolution des éléments du sol dans chaque classe d'âge seraient un argument irréfutable confirmant les variations de rendement observée entre les différentes classes d'âges ;
- une brèche devrait également être ouverte vers le volet « niveau d'entretien » qui a un impact non négligeable sur les rendements potentiels observés ;
- une étude ou un suivi variétal *in situ* rigoureuse serait également nécessaire dans l'optique de faciliter la phase du projet concernant les voies d'amélioration des SAFCs.

Afin de tirer profit des études en cours dans leurs plantations :

- les paysans se doivent d'être accessible et ouverts au dialogue avec les équipe de terrain ;
- les paysans devraient être plus organisé et méthodique dans la formulation des doléances ou réclamation.

Enfin, il faut mentionner que le payement des services écosystémique serait une touche supplémentaire encourageant la conservation des écosystèmes par les paysans.

BIBLIOGRAPHIE :

- ASSOUMOU J., 1977. L'économie du cacao. Agriculture d'exportation et bataille du développement. Paris, France, Jean-Pierre Delarge, 351 p.
- ASOMANING E.J.A., KWAKWA R.S., HUTCHEON W.V., 1971. Physiological studies on an Amazon shade and fertiliser trial at the Cocoa Research Institute of Ghana. Ghana Journal of Agricultural Science 4 : 47-64.
- BABIN R., 2009. Contribution à l'amélioration de la lutte contre le miride du cacaoyer *Sahlbergella singularis* Hagl. (Hemiptera : Miridae). Influence des facteurs agroécologiques sur la dynamique des populations du ravageur. Thèse de doctorat, Université Montpellier III-Paul Valéry, Montpellier, France, 202 p.
- BANQUE MONDIALE. 2008. Rapport sur le développement dans le monde 2008. L'agriculture au service du développement. Version abrégée. Washington: World Bank
- BARETT C.B., BEZUNEH M. & ABOUD A., 2001. Income diversification, poverty traps and policy shocks in Côte d'Ivoire and Kenya. Food Policy, 26, 367-384.
- BIDZANGA NOMO L., 2005. Farmers' ecological and agronomic knowledge about The management of multistrata cocoa systems in Southern Cameroon. PhD thesis, University of Wales, Bangor, Grande Bretagne, 258 p
- BLANC-PAMARD C., LERICOLLAIS A. (Eds), 1985. Dynamique des systèmes agraires. À travers champs, agronomes et géographes, Paris, ORSTOM.
- BLANC-PAMARD C., CAMBRESY L. (Eds), 1995. Dynamique des systèmes agraires. Terre, terroir, territoire : les tensions foncières, Bondy, ORSTOM
- BRAUDEAU J., 1969. Le cacaoyer. Collection Techniques agricoles et productions tropicales. Paris, France, Maisonneuve et Larose, 304 p
- CAPILLON A., SEBILLOTTE M., 1980. Etude des systèmes de production des exploitations agricoles. Une typologie. In: Servant J., Pinchinat A. (eds). Caribbean Seminar on Farming Systems Research methodology (Pointe à Pitre, 4-8 mai 1980). Versailles, France, Inra : 85-111.
- CAVIGLIA-HARRIS J.L. & Sills E.O., 2005. Land use and income diversification: comparing traditional and colonist populations in the Brazilian Amazon. Agric. Econ., 32, 221-237.
- Convention cadre des nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC). 2008. Glossary of CDM terms.

CHAMPAUD, J. (1966). L'économie cacaoyère du Cameroun. Cah Orstom Ser Sci Hum 3:105–124

BEER J, MUSCHLER RG, KASS D, SOMARRIBA E (1998) Shade management in coffee and cacao plantations. Agrofor Syst 38:139–164

Commission Des Foret d'Afrique Centrale (COMIFAC). 2008. Etats des forêts du Bassin du Congo.406p.

DUFUMIER M., 2006. Diversité des exploitations agricoles et pluriactivité des agriculteurs dans le Tiers Monde. Cah. Agric., 15(6), 584-588

DUGUMA et al., 2001. Smallholder cocoa cultivation in agroforestry systems of west and Central Africa: challenges and opportunities. Agrofor Syst 51:177-188

EMMANUEL F. TORQUEBLAU, 2000. A renewed perspective on agroforestry concepts and classification. ICRA, Agropolis International, avenue Agropolis, 34394 Montpellier cedex 5, France Received 11 October 1999; accepted 24 July 2000

FAO, 2012. Situation des forêts du monde. Tome 12

FiBL, 2012. Système agroforestier pour sécuriser les récoltes de cacao. Rapport d'activité 2012.

HAIRIAH, K., Dewi, S., AGUS, F., VELARDE, S., EKADINATA, A., RAHAYU, S., et al. (2010). Measuring Carbon Stocks. Across Land Use Systems: A manual. Bokor, Indonesia: World Agroforestry Centre (ICRAF)

<http://fr.getamap.net>/Ngomedzap - Centre Region Carte (Plan), Photos et la meteo, 2006 - 2014

html <http://www.aquaportail.com/definition-5173-chronosequence-de-peuplement>

ICCO, 2008. Manual of the best known practices in cocoa production. Version 1 International cocoa organization.

ICRAF, 1995. Alternatives to Slash-and-burn. A global initiative. ICRAF, Nairobi, Kenya. 12p

ICCO, <file:///H:/May> 2013 Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics.htm

ICCO, 2014 Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics, Vol. XL, No. 1, Cocoa year 2013/14

IRAD. 2005. zone agro-écologique: forêts humides à pluviométrie bimodale. Page disponible sur http://www.irad-cameroon.org/zones_fr.php?idz=4&idRub=1

IRAM REDCI, 2013. Etude sur le potentiel de commercialisation du cacao du Cameroun en «Indication Géographique»

- DUROT Claire, 2013. Evaluation et comparaison des stocks de carbone des systèmes agroforestiers à base de cacaoyers du Centre Cameroun : Cas de l'arrondissement de Bokito. Mémoire Msc.
- JAGORET P., 2011. Analyse et évaluation de systèmes agroforestiers complexes sur le long terme : Application aux systèmes de culture à base de cacao au Centre Cameroun. Thèse de doct., SupAgro, Montpellier, 236p. + annexes.
- JAGORET P., 2009. Diversification des exploitations agricoles à base de cacao au Centre Cameroun : mythe ou réalité ? *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 2009 13(2), 271-280.
- JAGORET P., ISABELLE MICHEL-DOUNIAS, DIDIER SNOECK, HERVE TODEM NGNOGUE, ERIC MALÉZIEUX, 2012. Afforestation of savannah with cocoa agroforestry systems: a small-farmer innovation in central Cameroon. *Agroforest Syst* (2012) 86:493–504 DOI 10.1007/s10457-012-9513-9.
- JOUVE Ph., 2007. Le jeu croisé des dynamiques agraires et foncières en Afrique Subsaharienne. *Cahiers Agricultures* Vol. 16, N° 5, septembre-octobre 2007, pp. 379-385.
- KENTA SAKANASHI, 2010. Cocoa-based Agroforestry in Southern Cameroon: Is it Real or Ideal? Graduate School of Agriculture, Kyoto University Japan.
- LACHENAUD, Ph., 1991. Effet de quelques variables saisonnières sur la relation entre poids de cabosses et poids de fèves fraîches chez le cacao. Bilan d'observation en Côte d'Ivoire. *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XXXV, N°2, avril-juin 1991, p 113-120.
- LOSCH B., FUSILLIER J.L., DUPRAZ P. Stratégies des producteurs en zone caféière et cacaoyère du Cameroun. Quelles adaptations à la crise ? Montpellier : Cirad-Dsa, Collection « Documents Systèmes Agraires » n° 12, 1991 ; 252
- LOTODÉ, R. & LACHENAUD, Ph. Méthodologie destinée aux essais de sélection du cacao. *Café Cacao Thé*, vol XXVIII, N°2, avril-juin, p.83-88.
- MALÉZIEUX E. & MOUSTIER P., 2005. La diversification dans les agricultures du Sud : à la croisée de logiques d'environnement et de marché. Un contexte nouveau. *Cah. Agric.*, 14(3), 277-281
- MÉMENTO DE L'AGRONOME, 2002. Les plantes stimulantes. Cirad-Gret-Ministère des affaires étrangères.
- MERTZ O., WADLEY R.L. & CHRISTENSEN A.E., 2005. Local land use strategies in globalizing world: subsistence farming, cash crops and income diversification. *Agric. Syst.*, 85, 209-215

- MILLEVILLE P., 1972. Approche agronomique de la notion de parcelle en milieu traditionnel africain : la parcelle d'arachide en moyenne-Casamance. Cahiers Orstom, série Biologie 17 : 23-37.
- MOKANY, K., RAISON, J. et PROKUSHKIN. 2006. Critical analysis of root: shoot ratios in terrestrial biomes. *Global Change Biology* 12: 84-96
- GUY MOSSU, 1990. Le cacaoyer
- MOUSTIER P., 1997. La diversification comme réponse au marché. Illustration par le cas du maraichage en Afrique sub-saharienne. In : Place de l'arboriculture fruitière et de l'horticulture dans la diversification agricole. Montpellier, France : CIRAD-FHLOR
- MVONDO S.K., 2013. Carbon stock in Talba. Mémoire de fin d'études. Faculté d'Agronomie et des Sciences Agricoles, Université de Dschang, Cameroun.
- PCP. 2011. Pôle de compétence en partenariat, Agroresterie-Cameroun
- PETITHUGUENIN, P. (1995). Regeneration of cocoa cropping systems: the Ivorian and Togolese experience. In: Ruf F, Siswoputranto PS (eds) *Cocoa cycles: the economics of cocoa supply*. Woodhead Publishing, Londres, pp 89–107
- RAYMOND BOURGOING, HERVE TODEM, 2010. Association du cacaoyer avec les fruitiers. Systèmes innovants en cacaoculture. Guide technique. © CIRAD, IRAD.
- STÉPHANE SAJ, PATRICK JAGORET & HERVÉ TODEM NGOGUE, 2013. Carbon storage and density dynamics of associated trees in three contrasting *Theobroma cacao* agroforests of Central Cameroon. *Agroforest Syst* (2013) 87:1309-1320 DOI 10.1007/s10457-013-9639-4
- SEBILLOTTE M., 1975. Comment aborder et suivre l'introduction dans un système de culture de nouveaux procédés de travail du sol ? *Bulletin Technique d'Information* 302-303 : 555-567.
- SONWA D, 2004 Biomass management and diversification within cocoa agroforests in the humid forest zone of Southern Cameroon. Gottingen. Gottingen, Cuvillier
- SONWA D., WEISE S.F., TCHATAT M., NKONGMENECK B., ADESINA A.A., NDOYE O. et GOCKOWSKI J., 2001. Rôle des agroforêts cacao dans la foresterie paysanne et communautaire au Sud Cameroun. 10 p.
- TAYO GAMO K., dynamique de la biodiversité ligneuse et des stocks de carbone dans les systèmes agroforestiers à base de cacaoyer au centre Cameroun : cas de ngomedzap. Mémoire de fin d'études. Faculté d'Agronomie et des Sciences Agricoles, Université de Dschang, Cameroun.

TODEM NNGOGUE, H. 2005. Bilan financier des systèmes de cacaoculture du Centre-Cameroun. Mémoire de fin d'études. Faculté d'Agronomie et des Sciences Agricoles, Université de Dschang, Cameroun. 88p.

VARET F.et BERRY D., 1997. Contribution à l'amélioration des performances des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer et de caféiers du grand sud Cameroun. C2D/PROGRAMME D'APPUI À LA RECHERCHE AGRONOMIQUE PROJET 8 : AGROFORESTERIE.

WOOD et LASS, 1985. Cultures pérennes tropicales: Enjeux économiques et écologiques de la diversité.

www.cirad.fr, (2011). Améliorer les systèmes agroforestiers en zone tropicale humide : Cas des cacaoyers et des caféiers.

ANNEXE

field n°	Avocatier	Mangier	Safoutier	Oranger	Mandarinier	Ayos	Banancier	Palmier	kolatie	Irvinia gabonensis	citronier	Apwa	Ndjangsang	Guayave	Noixette	Nombre Ass total
2	10	2	12	1	1	2	1	1	2	2	0	1	2	1	0	38
6	16	6	5	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	30
7	0	4	5	2	3	7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	22
20	0	1	8	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	12
25	0	5	11	2	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	22
27	19	5	7	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	33
39	32	0	7	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	43
total	77	23	55	5	5	10	4	5	4	4	2	2	2	1	1	200
fréquence	38,5	11,5	27,5	2,5	2,5	5	2	2,5	2	2	1	1	1	0,5	0,5	100
Quantités	962,5 kg	191,6 kg	157,1 Litres	25 Litres	33,3 Litres	16,6 Litre	42,5 régimes	15,6 Litre	40 kg	10 Litres	40 Litres	50 kg	40 Litres	20 Litres	50 Litres	

Annexe 1: Récapitulatif des arbres Associés aux cacaoyères produisant de la nourriture

Matrice de corrélation (Pearson) :

Variables	POTENTIAL YIELD kg/ha	cacao trees density (ind/ha)	associated trees density (ind/ha)	associated trees density (ind/ha)	total trees density (ind/ha)	Basal area cacao (m ² /ha)	DBH inf 30cm (m ² /ha)	DBH sup 30cm (m ² /ha)	ass. Trees (m ² /ha)	Total basal area (m ² /ha)	Mean height of cocoa trees (m)	Mean height of ass. trees (m)	Cocoa C stock (t/ha)	Ass tree inf 30 diam C stock (t/ha)	Ass tree sup 30 diam C stock (t/ha)	Associated trees total C stock (t/ha)	Total C in trees (t/ha)
POTENTIAL YIELD kg/ha	1	-0,172	-0,488	-0,112	-0,513	0,743	-0,550	0,037	-0,108	0,087	0,529	0,321	0,745	-0,533	0,140	0,072	0,102
cacao trees density (ind/ha)	-0,172	1	0,618	-0,460	0,455	-0,232	0,539	-0,357	-0,212	-0,274	-0,668	-0,599	-0,342	0,476	-0,342	-0,286	-0,298
DBH inf 30 cm associated trees density (ind/ha)	-0,488	0,618	1	-0,094	0,947	-0,622	0,922	-0,121	0,123	-0,040	-0,626	-0,776	-0,641	0,826	-0,226	-0,121	-0,147
DBH sup 30 cm associated trees density (ind/ha)	-0,112	-0,460	-0,094	1	0,231	-0,090	0,043	0,794	0,800	0,780	0,283	0,196	-0,026	-0,041	0,653	0,659	0,655
Total associated trees density (ind/ha)	-0,513	0,455	0,947	0,231	1	-0,637	0,915	0,139	0,379	0,213	-0,520	-0,695	-0,635	0,795	-0,010	0,094	0,068
Basal area cacao (m ² /ha)	0,743	-0,232	-0,622	-0,090	-0,637	1	-0,628	0,013	-0,153	0,110	0,655	0,551	0,967	-0,619	0,132	0,053	0,092
Basal area DBH inf 30cm (m ² /ha)	-0,550	0,539	0,922	0,043	0,915	-0,628	1	-0,105	0,159	-0,005	-0,562	-0,654	-0,640	0,944	-0,183	-0,062	-0,087
Basal area DBH sup 30cm (m ² /ha)	0,037	-0,357	-0,121	0,794	0,139	0,013	-0,105	1	0,965	0,974	0,239	0,209	0,052	-0,190	0,889	0,881	0,879
Basal area ass. Trees (m ² /ha)	-0,108	-0,212	0,123	0,800	0,379	-0,153	0,159	0,965	1	0,966	0,089	0,035	-0,117	0,061	0,835	0,858	0,850
Total basal area (m ² /ha)	0,087	-0,274	-0,040	0,780	0,213	0,110	-0,005	0,974	0,966	1	0,262	0,181	0,136	-0,102	0,874	0,877	0,879
Mean height of cocoa trees (m)	0,529	-0,668	-0,626	0,283	-0,520	0,655	-0,562	0,239	0,089	0,262	1	0,720	0,779	-0,509	0,342	0,281	0,312
Mean height of ass. trees (m)	0,321	-0,599	-0,776	0,196	-0,695	0,551	-0,654	0,209	0,035	0,181	0,720	1	0,618	-0,513	0,386	0,325	0,349
Cocoa C stock (t/ha)	0,745	-0,342	-0,641	-0,026	-0,635	0,967	-0,640	0,052	-0,117	0,136	0,779	0,618	1	-0,618	0,174	0,096	0,136
Ass tree inf 30 diam C stock (t/ha)	-0,533	0,476	0,826	-0,041	0,795	-0,619	0,944	-0,190	0,061	-0,102	-0,509	-0,513	-0,618	1	-0,203	-0,076	-0,100
Ass tree sup 30 diam C stock (t/ha)	0,140	-0,342	-0,226	0,653	-0,010	0,132	-0,183	0,889	0,835	0,874	0,342	0,386	0,174	-0,203	1	0,992	0,994
Associated trees total C stock (t/ha)	0,072	-0,286	-0,121	0,659	0,094	0,053	-0,062	0,881	0,858	0,877	0,281	0,325	0,096	-0,076	0,992	1	0,999
Total C in trees (t/ha)	0,102	-0,298	-0,147	0,655	0,068	0,092	-0,087	0,879	0,850	0,879	0,312	0,349	0,136	-0,100	0,994	0,999	1

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0,05

Annexe 2: Matrice de corrélation (Pearson)

Matrice de corrélation (Pearson (n)) :

Variables	POTENTIAL YIELD	cacao trees density	associated trees	associated trees	total trees	area cacao (m ²)	DBH inf 30cm	DBH sup 30cm	cacao ass. Trees	basal area (m ²)	height of cocoa	height of ass. trees	category 2013-m	category 2013-v	category 2013-o	category 2013-y	category 2013-in
POTENTIAL YIELD kg/ha	1	-0,172	-0,488	-0,112	-0,513	0,743	-0,550	0,037	-0,108	0,087	0,529	0,321	-0,155	0,373	-0,119	-0,077	-0,208
cacao trees density (n/ha)	-0,172	1	0,618	-0,460	0,455	-0,232	0,539	-0,357	-0,212	-0,274	-0,668	-0,599	-0,031	-0,354	-0,050	0,068	0,651
DBH inf 30 cm associated trees	-0,488	0,618	1	-0,094	0,947	-0,622	0,922	-0,121	0,123	-0,040	-0,626	-0,776	0,132	-0,512	-0,043	0,115	0,613
DBH sup 30 cm associated trees	-0,112	-0,460	-0,094	1	0,231	-0,090	0,043	0,794	0,800	0,780	0,283	0,196	0,246	-0,012	0,153	-0,104	-0,423
Total associated trees	-0,513	0,455	0,947	0,231	1	-0,637	0,915	0,139	0,379	0,213	-0,520	-0,695	0,208	-0,504	0,007	0,078	0,462
Basal area cacao (m ² /ha)	0,743	-0,232	-0,622	-0,090	-0,637	1	-0,628	0,013	-0,153	0,110	0,655	0,551	0,054	0,403	-0,082	-0,259	-0,451
Basal area DBH inf 30 cm	-0,550	0,539	0,922	0,043	0,915	-0,628	1	-0,105	0,159	-0,005	-0,562	-0,654	0,163	-0,548	0,132	0,117	0,447
Basal area DBH sup 30 cm	0,037	-0,357	-0,121	0,794	0,139	0,013	-0,105	1	0,965	0,974	0,239	0,209	0,035	0,120	0,084	-0,187	-0,163
Basal area ass. Trees	-0,108	-0,212	0,123	0,800	0,379	-0,153	0,159	0,965	1	0,966	0,089	0,035	0,078	-0,025	0,118	-0,155	-0,044
Total basal area (m ² /ha)	0,087	-0,274	-0,040	0,780	0,213	0,110	-0,005	0,974	0,966	1	0,262	0,181	0,093	0,080	0,097	-0,224	-0,163
Mean height of cocoa trees	0,529	-0,668	-0,626	0,283	-0,520	0,655	-0,562	0,239	0,089	0,262	1	0,720	-0,018	0,478	0,033	-0,167	-0,676
Mean height of associated trees	0,321	-0,599	-0,776	0,196	-0,695	0,551	-0,654	0,209	0,035	0,181	0,720	1	-0,134	0,451	0,141	-0,068	-0,646
Age category 2013-m	-0,155	-0,031	0,132	0,246	0,208	0,054	0,163	0,035	0,078	0,093	-0,018	-0,134	1	-0,574	-0,201	-0,201	-0,201
Age category 2013-v	0,373	-0,354	-0,512	-0,012	-0,504	0,403	-0,548	0,120	-0,025	0,080	0,478	0,451	-0,574	1	-0,276	-0,276	-0,276
Age category 2013-o	-0,119	-0,050	-0,043	0,153	0,007	-0,082	0,132	0,084	0,118	0,097	0,033	0,141	-0,201	-0,276	1	-0,097	-0,097
Age category 2013-y	-0,077	0,068	0,115	-0,104	0,078	-0,259	0,117	-0,187	-0,155	-0,224	-0,167	-0,068	-0,201	-0,276	-0,097	1	-0,097
Age category 2013-in	-0,208	0,651	0,613	-0,423	0,462	-0,451	0,447	-0,163	-0,044	-0,163	-0,676	-0,646	-0,201	-0,276	-0,097	-0,097	1

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0,05

Annexe 3: matrice de corrélation entre le rendement potentiel et les variables d'états du peuplement cacaoyer

Field n°	Nom planteur	Coordonnées GPS	N :	E :	N :	E :								
2	ESSOMBA Cosmas	des angles												
Square size according to GPS (m²)						25557								
1 case = un comptage de cabosses sur un cacaoyer			1 case = un comptage de cabosses sur un cacaoyer			1 case = un comptage de cabosses sur un cacaoyer								
Passage 1 / date : 03-04-2014 / peinture : ROUGE	cocoa 1	0	cocoa 9	0	Passage 2 / date : 09-06-2014 / peinture : BLEUE	cocoa 1	16	cocoa 9	41	Passage 3 / date : 07-08-2014 / peinture : NOIRE	cocoa 1	23	cocoa 9	19
	cocoa 2	1	cocoa 10	0		cocoa 2	0	cocoa 10	10		cocoa 2	1	cocoa 10	11
	cocoa 3	1	cocoa 11	0		cocoa 3	0	cocoa 11	0		cocoa 3	1	cocoa 11	3
	cocoa 4	4	cocoa 12	0		cocoa 4	0	cocoa 12	0		cocoa 4	0	cocoa 12	6
	cocoa 5	6	cocoa 13	0		cocoa 5	1	cocoa 13	0		cocoa 5	10	cocoa 13	0
	cocoa 6	1	cocoa 14	0		cocoa 6	6	cocoa 14	0		cocoa 6	4	cocoa 14	0
	cocoa 7	0	cocoa 15	1		cocoa 7	0	cocoa 15	2		cocoa 7	0	cocoa 15	8
	cocoa 8	0	cocoa 16	0		cocoa 8	17	cocoa 16	2		cocoa 8	6	cocoa 16	3
	1	0				4	0				8	10		
	0	0				0	1				11	21		
	0	0				0	8				0	28		
	0	0				0	0				0	0		
	0	0				0	1				0	5		
	3	0				0	1				0	2		
	5	0				0	3				0	8		
	0	0				0	0				3	11		
	0	0				0	0				29	7		
	0	1				14	0				52	8		
	0	0				0	3				3	0		
	0	1				0	0				1	0		
	0	0				0	7				4	2		
	0	4				0	9				7	4		
	0	2				1	0				1	19		
	0	3				2	7				7	39		
	1	0				0	1				1	5		
	0	0				1	2				3	16		
	0	0				4	18				0	5		
	0	0				1	7				3	3		
	0	0				2	8				29	10		
	3	2				0	0				2	5		
	0	0				0	6				27	8		
	0	0				0	1				26	19		
	0	1				1	17				17	22		
0				15				0	1					
0				3				4						
0				0				0						
total passage 1 =	41			total passage 2 =	243			total passage 3 =	591					

Annexe 4: Fiche de collecte parcelle © Saj, CIRAD, 2014

Field n°	2			Nom planteur	ESSOMBA Cosmas																
					A = x+y+z	x	y	z		A = x+y+z	x	y	z		A = x+y+z	x	y	z			
	Height (m)	DBH (cm)	Architecture		Nb total de cabosses mûres	Nb cabosses mûres saines	Nb cabosses mûres pourries	Nb cabosses rongées		Nb total de cabosses mûres	Nb cabosses mûres saines	Nb cabosses mûres pourries	Nb cabosses rongées		Nb total de cabosses mûres	Nb cabosses mûres saines	Nb cabosses mûres pourries	Nb cabosses rongées			
Cocoa tree 1	4,5	7,6;5,3	3a	Passage 1 date: 03-04-2014 peinture : ROUGE	0				Passage 2 date: 09-06-2014 peinture : BLEUE	0				Passage 3 date: 07-08-2014 peinture : NOIRE	0						
Cocoa tree 2	3,2	6,1;6,3	3a		0					0						0					
Cocoa tree 3	3,8		6		2	0					0						0				
Cocoa tree 4	4,85	7,3;3,6			4	0					0						0				
Cocoa tree 5	5,1	9,4;2,3;3,3			2	0					0						0				
Cocoa tree 6	6,3	6,3;9,2;3,3	3a			1	1	0		0	0						0				
Cocoa tree 7	4,8		8		5	0					0						0				
Cocoa tree 8	4,6	6,5,5			4	0					0						0				
Cocoa tree 9	4,65		7,8		5	0					0						1	1	0	0	0
Cocoa tree 10	4,25		7		5	0					0						0				
Cocoa tree 11	4		4,5		2	0					0						0				
Cocoa tree 12	3,15	6,3;6,3			5	0					0						0				
Cocoa tree 13	5		7,3		5	0					0						0				
Cocoa tree 14	3,5		5,3		5	0					0						0				
Cocoa tree 15	4,9	11,9;7			5	0					0						0				
Cocoa tree 16	4,5	5,1;6,2	3a			0					1	0	0			1	0				

Annexe 5: Fiche de collecte cacaoyer © Saj, CIRAD, 2014

Annexe 6: Statistiques descriptives

Variable	Observations	Obs. avec données manquantes	Obs. sans données manquantes	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
POTENTIAL YIELD kg/ha	34	0	34	45,448	1137,579	430,442	241,160
cacao trees density (ind/ha)	34	0	34	750,000	2950,000	1423,162	566,949
DBH inf 30 cm associated trees density (ind/ha)	34	0	34	12,500	425,000	123,162	108,325
DBH sup 30 cm associated trees density (ind/ha)	34	0	34	8,333	179,167	96,569	35,806
Total associated trees density (ind/ha)	34	0	34	58,333	487,500	219,730	110,846
Basal area cacao (m ² /ha)	34	0	34	10,228	52,629	28,086	10,396
Basal area DBH inf 30cm (m ² /ha)	34	0	34	0,759	38,481	14,272	10,479
Basal area DBH sup 30cm (m ² /ha)	34	0	34	8,856	156,434	101,069	39,459
Basal area ass. Trees (m ² /ha)	34	0	34	26,205	183,392	115,340	39,745
Total basal area (m ² /ha)	34	0	34	40,250	204,642	143,426	39,517
Mean height of cocoa trees (m)	34	0	34	1,914	4,777	3,718	0,712
Mean height of ass. trees (m)	34	0	34	11,878	27,563	21,872	3,732
Cocoa C stock (t/ha)	34	0	34	1,199	8,842	5,002	2,234
Ass tree inf 30 diam C stock (t/ha)	34	0	34	0,308	25,326	10,188	7,252
Ass tree sup 30 diam C stock (t/ha)	34	0	34	13,848	271,703	124,808	56,143
Associated trees total C stock (t/ha)	34	0	34	29,056	282,978	134,996	55,128
Total C in trees (t/ha)	34	0	34	30,339	289,357	139,998	55,387



Ruban BTP



Aérosol colorant



Compteur mécanique



GPS GARMIN



Règle graduée



Pied à coulisse



Balance à haute précision

Annexe 7: photo de quelques outils de travail