

## *De la Savane à la Forêt*



### Mémoire de Fin d'Etude

**Evaluation et comparaison des stocks de carbone des systèmes  
agroforestiers à base de cacaoyers du Centre Cameroun**

***Cas de l'arrondissement de Bokito***



## Résumé

**Résumé :** Au Centre Cameroun, le cacao est principalement produit par des petites exploitations familiales basées sur de systèmes agroforestiers (SAFs) complexes. Ces systèmes sont composés de cacaoyers et d'arbres associés. Ils sont reconnus pour leur stockage important de carbone (C) et ont ainsi le potentiel de limiter les impacts du changement climatique. L'étude est localisée dans l'arrondissement de Bokito, dans la zone de transition forêt-savane. On y trouve des SAFs établis sur savane et sur forêt. Cette étude a pour objectif l'analyse des effets des méthodes de gestion des SAFs sur les capacités de stockage du C dans la biomasse des arbres vivants. Pour cela, 66 parcelles ont été recensées dont 10 témoins. Les témoins sont composés de 5 forêts peu perturbées et de 5 savanes non exploitées. Afin de déterminer les facteurs influençant le stockage, les parcelles ont été étudiées en fonction de la composition de l'agroécosystème (étude du peuplement associé et de leur canopée), de l'âge de la cacaoyère et du précédent cultural. 5 350 cacaoyers et 1 216 arbres associés ont été mesurés afin d'estimer les stocks de C des parcelles. L'estimation du C stocké par la biomasse aérienne et souterraine des arbres a été faite à l'aide d'équation allométrique basée sur une méthode non destructive. Une forêt naturelle stocke en moyenne 121 tC.ha<sup>-1</sup> contre les 9 stockés en moyenne dans une savane non exploitée. Quant aux SAFs, sur forêt, ils stockent en moyenne 85 t contre 58 tC. ha<sup>-1</sup> sur savane.

**Mots clés :** Allométrie - Carbone - Services écosystémiques - Systèmes agroforestiers cacaoyers - Zone de transition savane/forêt

**Abstract:** In Central Cameroon cocoa is mainly produced by household farming systems based on complex associations between cocoa and companion trees. These systems are credited for stocking significant amount of carbon (C) and hence have the potential to mitigate climate change. The site study (Bokito) is located on the forest-savannah transition zone, and these agroforestry systems (SAF) are setup on two kind of previous systems: forest or savannah. In this study, we investigated the effects of local management strategies on carbon storage of live tree. In the 66 fields studied which 10 are cocoa trees less and are qualified as C sample (5 natural/remnant forests and savannah). In this study, first we tried to figure out the possible influences on carbon storage as biodiversity, canopy, age-rating, and previous systems. We measured 5 350 cocoa trees and 1 219 companion trees. Tree sampling was non-destructive and to estimate C storage we used allometric models for above and belowground biomasses. The average C stock in a natural forest was 121 Mg C.ha<sup>-1</sup>, compared to 9 Mg C.ha<sup>-1</sup> in an exploited savannah and was 85 Mg C.ha<sup>-1</sup> in an AFS established on forest and of 58 Mg C.ha<sup>-1</sup> in an AFS established on savannah.

**Keywords:** Allometry – Carbon - Ecosystemic services - Agroforetry system - forest-savannah transition zone



## Remerciements

Je tiens en premier lieu à remercier mon maître de stage, Stéphane Saj pour sa confiance et sa bonne humeur. Je remercie aussi chaleureusement les chercheurs du Cirad rencontrés à Yaoundé ou au cours de leurs visites des plantations. Merci aussi à Patrick Jagoret pour son implication et sa présence lors de ma soutenance de mémoire.

Je remercie également mon tuteur de stage, Sitraka Andrianarisoa et Guillaume Chirat du Cirad pour leurs conseils lors des nombreuses relectures de mon mémoire.

Je tiens aussi à remercier tout particulièrement mes collègues et amis qui m'ont aidée pendant la collecte des données, J-P, Mballa et Chef Emma. Je remercie aussi les habitants et voisins de Bakoa qui ont permis que mon séjour au village se passe pour le mieux. Merci encore pour votre accueil, votre patience devant mon regard étonné et pour le partage de votre quotidien. Une pensée particulière pour ma famille d'accueil au village, Régine et les enfants, Flore, Bonté, Passion, Le Don, Dagly, Gigi et les autres. Ce fut des moments inoubliables passés chez vous.

A Yaoundé, je tiens à saluer les stagiaires et thésards de la case de passage qui sans eux ma mission au Cameroun n'aurait pas été aussi folklorique. Pensée particulière envers Marin, François et encore Pierre et Andres pour leur accueil à Montpellier.

Enfin, je tiens aussi à remercier ma famille et mes proches avec qui ça n'a pas été facile de communiquer pendant ces 4 mois en brousse mais qui m'ont accompagnée chaque jour.

## Sommaire

Introduction.....	1
Partie 1 : Cadre de l'étude.....	3
1.1 Le service d'accueil, l'UMR System .....	3
1.2 Le Cirad au Cameroun .....	4
Partie 2 : Contexte général et problématique de recherche .....	5
2.1 Eléments contextuels sur la cacao-culture.....	5
2.1.1 Une production majoritairement africaine .....	5
2.1.2 Variation des marchés internationaux.....	5
2.1.3 Des systèmes de production en réponse à la demande mondiale .....	6
2.2 Les SAFs cacaoyers, le cas du Centre Cameroun.....	8
2.3 Les services écosystémiques associés aux SAFs.....	13
2.3.1 Le cycle du carbone et émissions de gaz à effet de serre .....	13
2.3.1 Le cas des SAFs : service de régulation.....	16
2.3.2 Estimation des stocks de carbone et capacité de stockage des SAFs .....	16
2.4 La problématique et les hypothèses .....	18
Partie 3 : Matériels et méthodes.....	19
3.1 La zone d'étude, le Centre Cameroun.....	19
3.2 Possibles facteurs de variation des stocks .....	20
3.2.1 Le précédent culturel.....	21
3.2.2 L'âge des parcelles.....	21
3.2.3 Pratiques et structures des SAFs .....	24
3.3 Estimation des stocks de carbone .....	25
3.3.1 Mesures biophysiques des biomasses .....	25
3.3.2 Estimation de la biomasse aérienne.....	27
3.3.3 Estimation de la biomasse souterraine des racines .....	27
3.3.4 L'estimation du C à l'hectare .....	28
3.4 Traitement et analyse des données .....	28

Partie 4 : Présentation et analyse des résultats .....	31
4.1 Effet des facteurs « Précédent cultural» et « Classe d'âge » des SAFs .....	31
4.1.1 Effet du précédent.....	31
4.1.2 Effet de l'âge du système .....	38
4.2 Effet de la chronoséquence = précédent x âge du système.....	38
4.3 Comparaison aux témoins.....	43
Partie 5 : Discussion des résultats .....	46
Conclusion et perspectives.....	50

## Introduction

Ces dernières années, la recherche sur le changement climatique a avancé de manière considérable. Elle confirme que les émissions de gaz à effet de serre provenant des activités humaines, telles que l'utilisation de combustibles fossiles, sont responsables du réchauffement climatique que l'on observe actuellement sur Terre (GIEC, 2007). Le 9 Mai 2013, la concentration journalière de CO<sub>2</sub> atmosphérique a dépassé le seuil des 400 parties par million (ppm) pour la première fois depuis 1958 à la station de Mauna Loa (Hawaï). De plus, selon la FAO, 25 à 30% des gaz à effet de serre relâchés chaque année dans l'atmosphère sont causés par la déforestation. Les arbres étant constitués à 50 % de carbone (Nair, 2012), ces stocks sont libérés dans l'atmosphère lorsque ces derniers sont abattus ou brûlés.

En Afrique, la cacaoculture a longtemps été synonyme de déforestation. Aujourd'hui, l'Afrique couvre 70% de l'offre mondiale de cacao (Agritrade, 2012): la Côte d'Ivoire et le Ghana (60%) puis le Cameroun et le Nigéria (10%). En Côte d'Ivoire, la surface forestière est passée de 13 à 3 millions d'hectares entre 1960 et 1990 du fait de l'expansion des surfaces cacaoyères (Hanak Freud et al., 2000). Cependant, à l'opposé des systèmes intensifs, on trouve au Cameroun, cinquième plus grand producteur mondial, des systèmes reposant sur un mode de production traditionnel sous l'ombrage naturel de la forêt. On parle de Systèmes AgroForestiers cacaoyers (SAFs). Ces systèmes composés de cacaoyers et d'arbres forestiers ou fruitiers, conservent des rendements stables dans le temps, sans requérir une utilisation massive d'intrants chimiques (Jagoret, 2011).

En vue de réduire les impacts du changement climatique, le mécanisme REDD (Réduction des émissions liées à la déforestation et à la dégradation des forêts) a été mis en place par les Nations Unis en 2008. Il s'agit d'une initiative qui vise à introduire les forêts tropicales dans la lutte contre le changement climatique. La mention REDD+ correspond à la prise en compte de l'augmentation des stocks de carbone dans les pays en développement (Programme ONU-REDD, 2011). En générant de nombreux services écologiques, les systèmes agroforestiers sont perçus comme durables et donc éligibles aux mécanismes du REDD. Ils sont connus pour séquestrer du carbone et contiendraient en moyenne 62% des stocks de carbone d'une forêt primaire (Kotto-Same, et al., 1997).

La cacaoculture Africaine et les systèmes agroforestiers cacaoyers reposent sur l'agriculture familiale (Duguma et al., 2000). Une meilleure caractérisation des stocks et flux de carbone de ces systèmes nécessitent encore de nombreux efforts (Thangata et al., 2012). C'est dans ce contexte de conservation des ressources forestières que l'estimation de la biomasse agroforestière et donc la capacité de stockage du carbone de ces agroforêts est nécessaire.



Qu'en est-il pour les cacaoyères du Centre Cameroun? Le projet SAFSE<sup>1</sup> vise à la recherche de compromis entre productions et services écosystémiques fournis par les systèmes agroforestiers tropicaux. S'étendant de 2012 à 2015, ce projet permet de conceptualiser une orientation de travail partagée par les chercheurs du CIRAD (Centre International de Recherche Agronomique pour le Développement), de l'IRD (Institut de recherche pour le développement) et de leurs partenaires nationaux au Sud. Il s'appuie sur un dispositif de recherche en partenariat déjà existant (PCP Agroforesterie Cameroun). Au Cameroun, ce projet se focalise sur la production agroforestière et trois zones d'études y ont été sélectionnées. Au cœur du projet SAFSE, l'étude présentée ci-après permet l'estimation de la biomasse aérienne et du carbone stocké par les arbres des cacaoyères relevées dans une de ces zones, l'arrondissement de Bokito. Situées dans la zone péri-forestière, ces cacaoyères possèdent la particularité d'être implantées sous forêt ou sur savane. A long terme, ce projet invite à s'interroger sur l'évaluation de ces systèmes culturaux et sur l'impact de leur composition et de leur structure sur la fertilité du sol.

Dans le cadre de l'estimation des stocks de carbone des SAFs de l'arrondissement de Bokito, situé dans la région Centre Cameroun la problématique suivante a été posée : Quelles sont les facteurs influençant le stockage de carbone dans les systèmes agroforestiers cacaoyers ?

Une fois le cadre de l'étude présenté (partie 1), l'étude développera le contexte général de la cacaoculture et les services écosystémiques rendus par les SAFs cacaoyers du Centre Cameroun (partie 2). Cette deuxième partie permettra la mise en évidence d'une problématique et des hypothèses de travail. Cette partie donnera suite à la caractérisation de la zone d'étude et à la présentation de la méthodologie de travail (partie 3). L'analyse des résultats tentera de répondre aux hypothèses (partie 4). Enfin, la partie discussion permettra de critiquer les résultats et d'élargir le spectre de l'étude (partie 5).

---

<sup>1</sup> Systèmes AgroForestiers et Services Ecosytémiques

Partie 1 : Cadre de l'étude
-----------------------------

### 1.1 Le service d'accueil, l'UMR System

L'unité mixte de recherche *Fonctionnement et conduite des systèmes de culture tropicaux et méditerranéens* (UMR System) travaille pour l'évaluation et la conception de systèmes de culture alliant performances économiques et production de services environnementaux. Les recherches sont principalement axées sur les systèmes sylvo-arables mécanisés, sur les systèmes viticoles à cultures intercalaires dans la zone méditerranéenne et sur les agroforêts à caféiers ou à cacaoyers en zone tropicale.

L'UMR System compte une quarantaine de collaborateurs (dont 29 agents permanents). Elle est composée de chercheurs du Cirad<sup>2</sup> du département *Performances des systèmes de production* (Persyst), de l'Inra<sup>3</sup> du département Environnement et Agronomie (EA) et de Montpellier Supagro du département *Milieus productions, ressources et systèmes* (MPRD). L'unité est dirigée par M Christian Gary, directeur et chercheur à l'Inra et par M Patrick Jagoret, directeur adjoint et chercheur au Cirad. Elle est organisée autour de deux équipes : l'équipe AMPLUS (Analyse et Modélisation du champ cultivé PLUriSpécifique) ; et l'équipe CONSYST (CONception de SYSTèmes de culture). Cette dernière vise à la production d'outils originaux de pilotage, d'évaluation ou de conception de systèmes de culture plurispécifiques.

On retrouve trois axes de développement principaux au niveau de ces systèmes de culture :

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

C'est dans cette unité de recherche, représenté par Stéphane Saj au Cameroun, qu'est étudiée l'évaluation des performances et dynamique des agroforêts complexes. Les enjeux majeurs de recherche concernent principalement l'évaluation et l'amélioration de la productivité et des services écosystémiques produits.

---

<sup>2</sup> Centre de recherche agronomique français pour le développement

<sup>3</sup> Institut National de Recherche Agronomique

## 1.2 Le Cirad au Cameroun

Le Cirad, centre de recherche agronomique français, répond avec les pays du Sud, aux enjeux internationaux de l'agriculture et du développement. En Afrique Centrale, le Cirad est principalement présent au Cameroun où ses principaux domaines d'action sont les suivants :

- appui aux filières agro-industrielles d'exportation : cacao, coton, palmier à huile, banane ;
- développement local et sécurité alimentaire ;
- gestion durable des ressources naturelles : forêts du bassin du Congo, agroforesterie en zone cacaoyère, fertilité en zone cotonnière ;
- alimentation des villes : approvisionnement en produits maraichers, commercialisation des produits, gestion des déchets.

L'agroforesterie au Cameroun est une part importante des thématiques de recherche où un pôle de compétences en agroforesterie a été créé en partenariat avec l'IRAD (Institut camerounaise de recherche agricole pour le développement) et les universités de Dschang et Yaoundé I (PCP, 2010). Le projet du pôle porte sur la gestion intégrée des agricultures familiales dans les écosystèmes agro-forestiers humides du Sud Cameroun. Ces systèmes font vivre plus d'un million de familles camerounaises et représentent 40% des exportations nationales du secteur primaire (Etoa, 2009). Les stratégies nationales prévoient un taux de croissance de 5 à 8% pour 2015. On comprend dès lors l'importance considérable des enjeux de développement relatifs à la performance et à la durabilité de ces systèmes.

C'est dans ce cadre au sein de l'UMR System, que l'étude pilotée par le projet SAFSE, porté notamment par le Cirad, s'inscrit. Elle vise à l'évaluation de la séquestration du carbone dans la biomasse vivante des arbres présents dans les SAFs à base de cacaoyers du Centre Cameroun.

Partie 2 : Contexte général et problématique de recherche
---

## 2.1 Eléments contextuels sur la cacao-culture

Le cacaoyer, *Theobroma cacao L.*, est un arbre originaire des forêts humides d'Amérique tropicale de la famille des Sterculiacées. Il fut diffusé suite à la découverte du Nouveau monde par les conquistadors espagnols. On compte trois grands groupes variétaux: les Criollo, les Forastero et les Trinitario. Ces derniers sont inter-fertiles et produisent des hybrides largement cultivés. La variété la plus cultivée demeure le Forastero qui représente plus de 90 % de la production mondiale (Agritrade, 2012).

### 2.1.1 Une production majoritairement africaine

La cacao-culture couvrait près de 10 millions d'hectare dans le monde selon le Cirad en 2010. Elle consiste à la production de fèves de cacao, principalement pour l'industrie du chocolat. La culture du cacao est très ancienne et était déjà présente chez les Mayas (Mossu, 1990). Elle concerne environ 70 pays localisés dans la zone intertropicale où 72% de l'offre se situe dans les pays du groupe Afrique, Caraïbes et Pacifique (Agritrade, 2012). Cependant la région la plus consommatrice de cacao au monde demeure l'Europe avec 40% de la consommation totale en 2010 (FAO, 2004).

Dès son introduction à la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle, l'Afrique assura la plus grande partie de la production mondiale. On estime que 3,2 tonnes sont produites annuellement par le continent africain (soit 74,8 %). Elle est assurée par l'agriculture familiale (>80%), où le cacao demeure leur principale source de revenu (Duguma et al., 2000). Ainsi les trois quarts de la production mondiale proviennent des quatre pays africains suivant : la Côte d'Ivoire (1,5 million de tonnes), le Ghana (1 million de tonnes), le Nigéria (240 000 tonnes) et le Cameroun (229 000 tonnes). La récolte 2010-2011 a atteint un niveau record de 4,3 millions de tonnes, soit une augmentation de 18,5% par rapport à l'année précédente. Cependant, les années 2012 et à venir sont déficitaires. L'année 2011-2012 a atteint une production plus faible de 4,011 millions de tonnes. Cette baisse est due à un épisode de sécheresse en Afrique de l'Ouest (ICCO, 2013).

### 2.1.2 Variation des marchés internationaux

En représentant 3 à 4 milliards d'euros de chiffre d'affaires par an, le cacao est la troisième matière première agricole tropicale échangée dans le monde derrière le sucre et le café (De la Chesnais, 2009). Les prix mondiaux sont extrêmement volatiles et sont sujets à la spéculation rendant les petits producteurs très vulnérables. Depuis 1973, l'ICCO<sup>4</sup> coordonne les accords internationaux sur le cacao dans le but de stabiliser le marché.

---

<sup>4</sup> Organisation Internationale du Cacao

Suite à un excédent de production, la fin des années 1980 est marquée par une baisse des cours mondiaux du cacao. Le marché en place dérégulé, de nombreux pays ont aboli leur monopole d'Etat sous la pression du FMI<sup>5</sup> et de la Banque Mondiale. En effet, depuis le début des années 1990, les cours mondiaux subissent de fortes fluctuations d'année en année. L'année 1994 est marquée par la libéralisation du marché camerounais. Elle s'est concrétisée par un abandon d'un prix fixe d'achat au fournisseur, par l'arrêt de la distribution d'intrants subventionnés ainsi que par l'introduction d'une taxe à l'exportation. La dévaluation du franc CFA a par ailleurs entraîné le renchérissement du coût des produits phytosanitaires (Ndoye et al., 2000). Ces mesures ont considérablement affaiblis les revenus des petits producteurs camerounais et ont conduit à l'extensification de la production (soit augmentation de la surface par planteur), à la baisse de la qualité et à la décroissance des recettes à l'exportation (Lipchitz et al., 2008). Ce secteur représentait alors 13% des recettes à l'exportation des produits bruts et fournissait des revenus à plus de 40 % de la population camerounaise (Alary, 1996).

Le prix du cacao a diminué en monnaie constante de 3,5 % par an en moyenne depuis 1980 (Lipchitz et al., 2008). En 2011, l'excédent de production a engendré une chute des prix d'une ampleur qui n'avait pas été enregistrée depuis 1977 (Agritrade, 2012). Cependant, au Cameroun, le cacao est resté la culture la plus importante en termes de valeur et de volume (Duguma et al., 2000).

### 2.1.3 Des systèmes de production en réponse à la demande mondiale

Au cours des dernières années, la production de cacao est passée de 1.5 millions de tonnes en 1964 (Mossu, 1990) à environ 4 millions de tonnes en 2013 (Agence Française de Développement, 2013). Cette hausse a été principalement permise par l'augmentation des investissements étrangers directs, suite à la libéralisation des marchés (FAO, 2004). La demande de chocolat ne cesse d'augmenter à raison de 2 à 3 % par an et provient essentiellement d'une croissance dans les nouvelles économies émergentes, en particulier l'Asie (Agritrade, 2012).

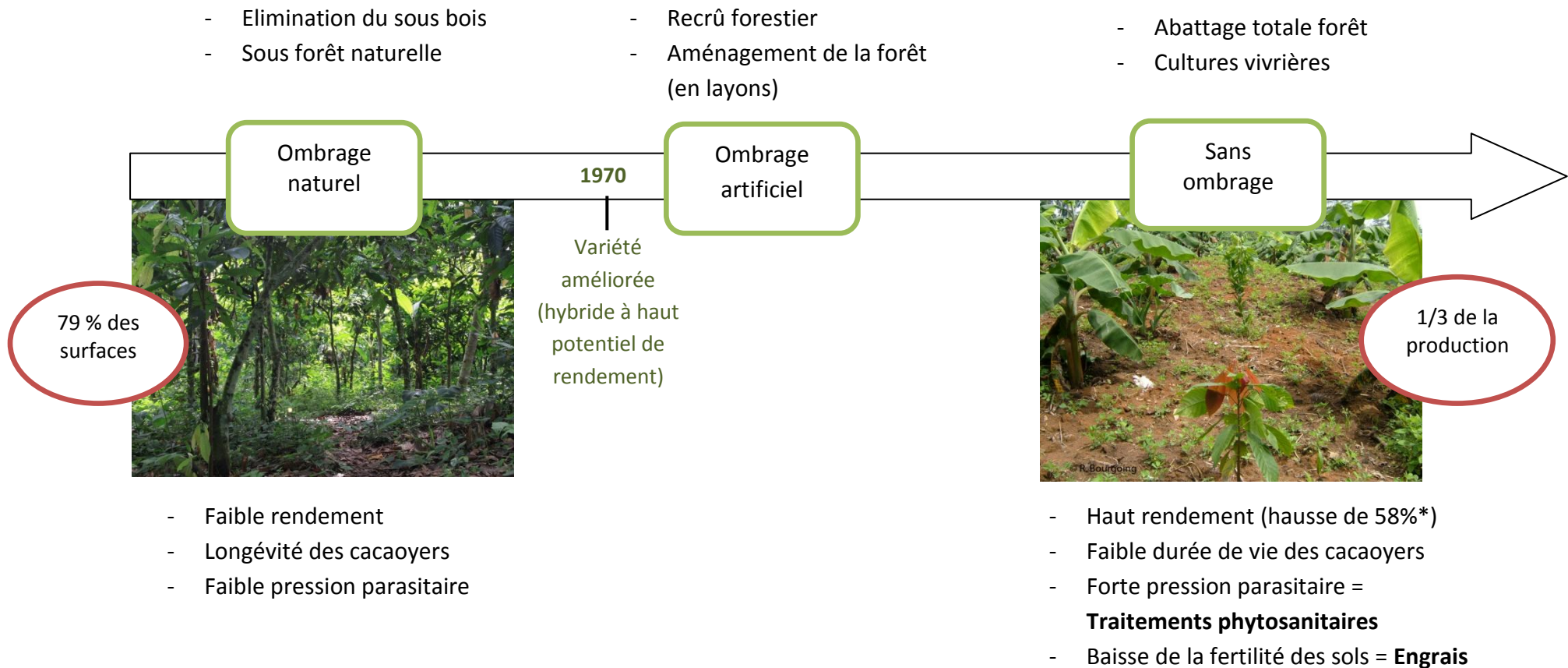
Afin d'assurer la production, les agrosystèmes cacaoyers en plein soleil ou sous ombrage homogène et léger sont privilégiés. Bien que ne représentant que 21% des surfaces de production, la monoculture sous soleil procure à ce jour un tiers de la production africaine (Gockowski et al., 2011). Cependant, pour être viable ce mode de production est très intensif en travail et en intrants chimiques (fertilisation minérale et traitements phytosanitaires). La culture intensive a ainsi permis d'assurer la production de la Côte d'Ivoire du Ghana, permettant leur maintien au rang de premiers producteurs mondiaux. Selon le CNRA<sup>6</sup>, les rendements atteignent 2 à 3 tonnes à l'hectare. Néanmoins, après 10 à 20 ans de culture à « plein régime », une baisse de la productivité est constatée notamment faute de fertilisation minérale suffisante. Cette dernière entraîne à son tour une diminution

<sup>5</sup> Fonds Monétaire International

<sup>6</sup> Centre Nationale de Recherche Agronomique de Côte d'Ivoire

## « Le cacaoyer est une plante d'ombre... »

### Augmentation des surfaces au dépend de la forêt



... *mais sa productivité augmente au soleil* » (Mossu, 1990).

rapide de la rentabilité, et, face à des coups d'entretien de plus en plus élevée la plantation est alors abandonnée. Ce processus est souvent évoqué comme une des causes de déforestation en Afrique (Ruf et al., 1995). En effet, en Côte d'Ivoire près de 90 % des 2 000 000 hectares des plantations ont été installés après défriche de la forêt primaire ou secondaire. Aujourd'hui, face à l'épuisement des réserves forestières, ce modèle de plantation et de replantation extensif itinérant ne paraît plus possible selon le CNRA.

Cependant au Cameroun, cinquième producteur mondial, la cacaoculture repose sur des systèmes traditionnels, ils représentaient 91,9 % des plantations en 2001. La figure 1 rassemble les principaux moyens de production du cacao africain et leur évolution afin de répondre à la demande grandissante. De nos jours, selon l'IITA<sup>7</sup>, la cacaoculture intensive couvre 1/3 de la production africaine pour 21 % des surfaces.

En Afrique Centrale, la cacaoculture traditionnelle extensive repose sur des systèmes agroforestiers où le cacaoyer est couramment planté dans les forêts secondaires et jachères forestières à fine canopée. Pratiqués sur des petites surfaces sous l'ombrage naturel de la forêt, ces derniers assurent une régularité de production (Mossu, 1990 & Jagoret, 2011).

---

<sup>7</sup> International Institute of Tropical Agriculture

## 2.2 Les SAFs cacaoyers, le cas du Centre Cameroun

La cacaoculture camerounaise est l'une des plus anciennes du continent africain. Elle est apparue entre 1886 et 1887 dans la région du Mont Cameroun et des environs de Kribi. Elle a été introduite par la colonisation allemande et cela sous forme de grandes plantations (Alary, 1996). Aujourd'hui, la vente du cacao est la plus haute source de revenu pour l'agriculture familiale camerounaise. Il est estimé que plus de 400 000 foyers seraient producteurs de cacao au Cameroun (Losch et al., 1990). La production est principalement issue de deux bassins de production : le Sud-Ouest et le Centre-Sud (Figure 2). Cependant 60 à 70 % des exportations proviennent de la région du Centre Cameroun (Jagoret, 2009).

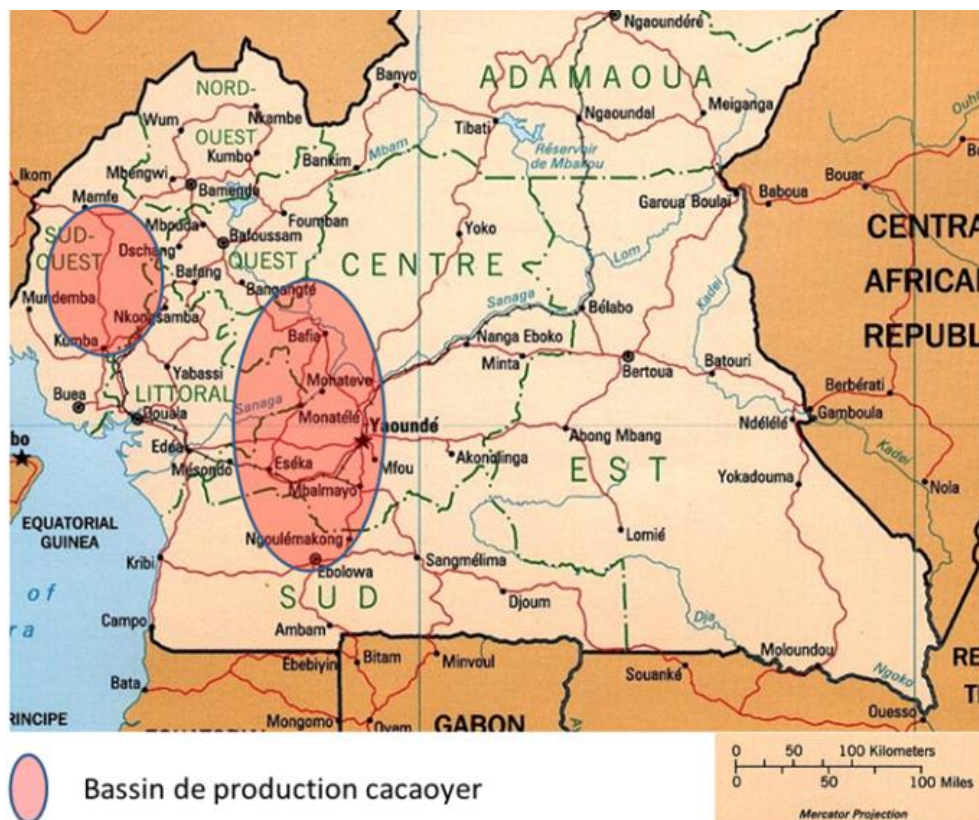


Figure 2: Localisation des deux principaux bassins de production cacaoyer du Cameroun (Jagoret, 2011)



- **Ecologie des cacaoyères étudiées**

Il existe des SAFs cacaoyers dans la région Centre Cameroun. Le laboratoire de botanique tropicale de Montpellier définit les systèmes agroforestiers complexes comme tel :

« Un système agroforestier est un système de gestion des ressources, contrôlé par la population locale où des arbres sont associés à l'activité agricole ou d'élevage sur une même parcelle de façon à ce que l'écosystème résultant ressemble à celui d'une forêt naturelle en termes de richesse spécifique, de structure végétale et de biomasse aérienne et racinaire. »

Ainsi ces systèmes sont composés d'un peuplement cacaoyer dominant par leur nombre ainsi que d'un peuplement d'espèces associées (cultures pérennes et annuelles). Ils sont généralement constitués d'arbres forestiers et d'arbres fruitiers.

En Afrique Centrale, les cacaoyers sont traditionnellement plantés sous une fine canopée dans les forêts secondaires ou dans les jachères forestières. Après débroussaillage, certaines essences sont volontairement gardées pour répondre à diverses fonctions. Elles génèrent des services d'approvisionnement par la production, culturels ou encore agronomiques. Cependant les arbres associés aux cacaoyers ont tous la particularité de lui créer de l'ombrage.

Par ailleurs, la raréfaction des forêts exploitables a conduit à la mise en place des cacaoyères sur savane dans certaines zones du Centre Cameroun (notamment dans l'arrondissement de Bokito). L'installation sur savane se déroule différemment que sous couvert arboré. Elle nécessite tout d'abord l'élimination d'un couvert herbacé (souvent dominé par *Imperata cylindrica*) en implantant des palmiers à huile à forte densité ou des cultures vivrières à cycle court (arachide, courge, maïs, banane plantain). Dans le premier cas, les palmiers sont progressivement remplacés par cacaoyers et arbres fruitiers (colatiers, safoutiers, avocatiers). De la même manière dans le second cas, on ajoute palmiers et arbres fruitiers qui fourniront l'ombrage nécessaire au développement des jeunes cacaoyers (Jagoret et al., 2012).

Dans les cacaoyères du Centre Cameroun les espèces les plus représentatives du peuplement associé sont les arbres suivants:

- arbres fruitiers : manguier (*Mangifera indica*), safoutier (*Dacryodes edulis*), avocatier (*Persea americanum*), colatier (*Cola nitida*), oranger (*Citrus sinensis*), mandarinier (*Citrus reticula*), etc. ;
- arbres forestiers conservés pour l'ombrage : ayous (*Triplochyton scleroxylon*), fromager (*Ceiba pentandra*), fraké (*Terminalia superba*), iroko (*Milicia excelsa*) ;
- arbres médicinaux utilisés dans la pharmacopée locale;



Figure 3: SAF à base de cacaoyer mature, Bokito, source: Claire Durot.



Figure 4: Extension d'une cacaoyère sur savane par la plantation de bananiers et de maïs, Source: Claire Durot.

- plantes annuelles : bananier, plantain, macabo,...
- autres : palmier à huile (*Elaeis guineensis*) utilisé aussi notamment pour la production de vin de palme.

Ces systèmes très diversifiés et complexes, induisent l'apparition de certaines plantes spontanées et peuvent ainsi être apparentés à la forêt.

- **Source de revenu et modes de gestion**

Dans les SAFs du Centre Cameroun, la vente du cacao assure 75% des revenus (Jagoret, 2009). Néanmoins, les cultures associées tel que le palmier à huile, le plantain et le maraîchage ou les cultures vivrières permettent en plus de couvrir les besoins alimentaire de la famille, de diversifier les sources de revenus (Jagoret et al., 2009). Une telle association permet aux agriculteurs de faire face à l'instabilité des marchés internationaux (Malézieux et al., 2005). Selon (Jagoret, 2011), le rendement potentiel des SAFs à base de cacaoyer du Centre Cameroun a été estimé à 649 kg/ha dans l'arrondissement de Bokito. On observe toutefois des différences significatives entre les cacaoyères de moins de 10 ans (229 kg/ha) et les cacaoyères plus âgées (703 à 764 kg/ha).

D'un point de vue sanitaire, la pourriture brune et mirides sont les principaux obstacles à la production dans la région Centre Cameroun. La pourriture brune des cabosses est due à un champignon phytopathogène du genre *phytophthora*. Les cabosses infectées présentent une ou plusieurs tâches brunes. Très contagieux, ce champignon peut induire une perte de rendement allant jusqu'à 95%. Quant aux mirides, il s'agit d'un insecte piqueur-suceur (*Distantiella theobromae* et *Sahlbergella singularis*) entraînant nécrose et flétrissement des jeunes tiges. Ces attaques peuvent conduire à la mort du cacaoyer (Mossu, 1990). Une des complexités des agroforêts repose sur le fait qu'une structure très ombragée favorise le développement de la pourriture brune alors qu'au contraire les zones exposées à la lumière favorisent l'apparition de mirides. En cas d'apparition des nuisances et pour éviter de trop grandes répercussions sur le rendement, les cacaoyères nécessitent un traitement phytosanitaire approprié. Ces intrants, sont dans la plupart des cas, les seuls apportés aux cacaoyères.

Enfin, outre les activités de taille des cacaoyers, de récolte des cabosses et de contrôles des maladies, une des interventions principales du planteur repose sur le réglage de l'ombrage et des arbres associés. Au centre Cameroun, ces systèmes ne sont ni mécanisés, ni fertilisés et consomment très peu d'intrants (phytosanitaires seulement). De manière générale, on constate la réduction du nombre d'arbres associés au cours du temps afin de limiter la concurrence entre toutes les espèces pendant la phase productive du cacaoyer.

Dans une optique de conservation des ressources forestières et de lutte contre la pauvreté, les SAFs cacaoyers sont perçus comme durable par la FAO<sup>8</sup>. De plus en comparaison à l'agriculture sur abattis-brûlis, les agroforêts peuvent être gérés à long terme et demeurent productives plus de 50 ans (Duguma et al., 2000).

En complément des services d'approvisionnement (liés à la production alimentaire), impactés par la modification du rendement de la culture et donc par la demande mondiale en cacao, les SAFs génèrent de nombreux avantages agroécologiques.

### 2.3 Les services écosystémiques associés aux SAFs

Les services écosystémiques rendus par ces systèmes sont nombreux. Selon l'INRA, les services écosystémiques sont définis comme tel :

*Bénéfices que les êtres humains tirent du fonctionnement des écosystèmes. L'expression a été forgée dans le champ des sciences biologiques pour mettre en évidence les liens de dépendance de l'humanité vis-à-vis des milieux naturels.*

Les forêts tropicales sont considérées comme le premier réservoir mondial de diversité biologique terrestre, aussi bien en ce qui concerne les espèces que les écosystèmes. Les SAFs sont les systèmes agricoles s'apparentant le plus aux forêts en termes de biodiversité. Ainsi, en étant générateur de biodiversité, les SAFs tropicaux sont qualifiés de diversifiés et complexes. De manière générale, la diversité des espèces augmente la production de biomasse, l'accumulation du carbone dans le sol, la résistance aux maladies, la durabilité et la résilience de l'écosystème (Hooper et al., 2005).

Ainsi, les SAFs permettent une productivité globale plus élevée par unité de surface, un meilleur contrôle de la pression parasitaire et sont générateurs de services écologiques tels que la conservation de la biodiversité, le maintien de la fertilité des sols et la séquestration du carbone. (Jagoret, 2011). Par conséquent la gestion des terres agricoles est primordiale pour une conservation efficace de la biodiversité.

#### 2.3.1 Le cycle du carbone et émissions de gaz à effet de serre

Aujourd'hui l'évaluation de la biomasse des forêts est en pleine expansion et ceci à des fins multiples. Elle permet d'estimer l'état des ressources forestières et des stocks de carbone et leur évolution. Les forêts représentent une des réserves les plus importantes de carbone pour l'écosystème mondial. Avec 178 millions d'hectares, les forêts d'Afrique centrale constituent le second plus grand massif de forêts tropicales au monde, dont 13%

---

<sup>8</sup> Organisation des Nations-Unies pour l'Alimentation

sont au Cameroun. Ces forêts stockeraient 39 milliards de tonnes de carbone (Bulter, 2013) sur les 638 milliards de tonnes à l'échelle mondiale.

Le carbone est l'un des principaux éléments de la matière organique constituant les êtres vivants. Il est fixé par les végétaux pour leur croissance et cela à partir du CO<sub>2</sub> présent sous forme dissoute dans les océans ou sous forme gazeuse dans l'atmosphère. Il est ensuite soit rejeté dans l'air ou dans l'eau par la respiration, soit séquestré plus ou moins longtemps dans les sols et les fonds marins. Le cycle du carbone joue un rôle déterminant dans l'effet de serre, étant donné son influence sur la concentration de CO<sub>2</sub> présent sous forme gazeuse dans l'atmosphère<sup>9</sup>.

Selon les estimations du GIEC<sup>10</sup>, les émissions mondiales de Gaz à Effet de Serre (GES) anthropiques dépassent les 50 milliards de tonnes équivalent CO<sub>2</sub> par an. Ces émissions seraient responsables de plus de la moitié de la montée des températures à la surface du globe depuis 1951 à 2010. En vue de réduire ces émissions, le rapport du GIEC préconise la création de puits de carbone. Aussi, la mise en place de systèmes de culture efficaces et durables permettrait d'augmenter la résilience des milieux face aux effets négatifs du changement climatique.

Dans le cadre du protocole de Kyoto, un marché du carbone a été mis en place. Il s'agit de la mise en place de quotas d'émission de GES. Ce marché est connecté au Mécanisme pour un Développement Propre (MDP). Les MDP sont des moyens d'aide au développement pour les pays du Sud. Ainsi les pays industrialisés peuvent remplir leur engagement en finançant des projets afin de réduire leur émission dans un pays au Sud. Considérant que l'agroforesterie s'inscrit comme une activité du MDP, ces systèmes pourraient bénéficier d'un paiement revenant aux populations autochtones pour le carbone stocké (Akinnesi et al., 2009).

En effet, l'estimation de la biomasse et du carbone est utile et permet de donner une valeur économique aux forêts. Le mécanisme REDD+<sup>11</sup> mis en œuvre dans la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (UNFCCC) devrait permettre aux pays en développement de tirer des bénéfices pour réduire leur déforestation, la dégradation forestière, augmenter leurs stocks de carbone forestier et la conservation de leurs forêts. Le mécanisme REDD+ aurait la capacité de réduire l'impact des changements climatiques par le biais de moyens durables. Les systèmes agroforestiers pourraient bénéficier de ce mécanisme (Thangata et al., 2012).

---

<sup>9</sup> Définition proposé par Actu-Environnement.com

<sup>10</sup> Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat

<sup>11</sup> Réduction des émissions liées à la déforestation et à la dégradation des forêts

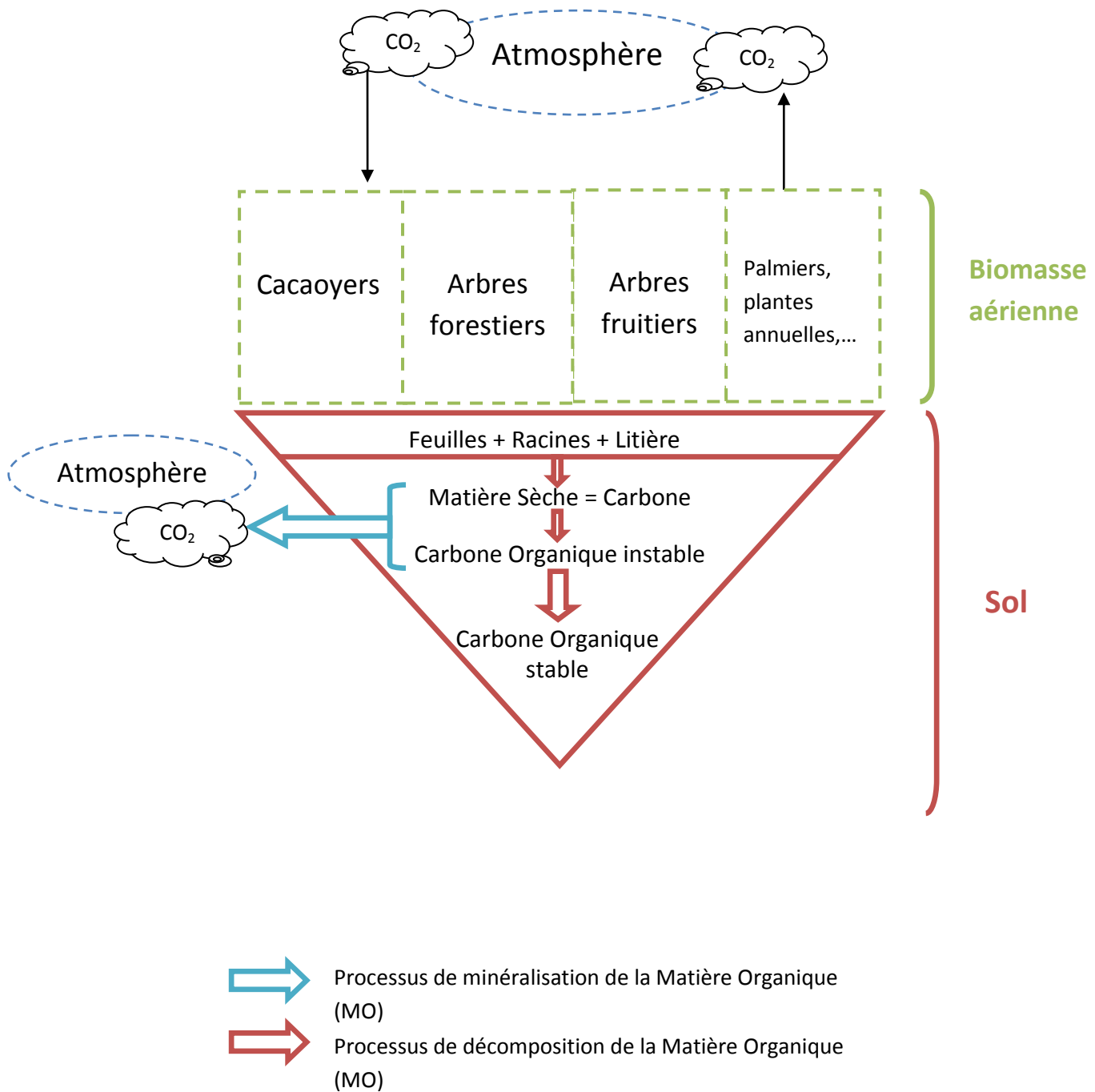


Figure 5: Représentation schématique du processus de séquestration du Carbone dans les SAFs

L'agroforesterie apparaît ainsi comme une composante indissociable à ce mécanisme en reliant préservation de l'environnement, stockage de carbone tout en assurant une production alimentaire durable.

### 2.3.1 Le cas des SAFs : service de régulation

Il est estimé que près d'un million d'hectares des forêts d'Afrique de l'Ouest aurait été déforesté par la cacao-monoculture alors que quatre millions d'hectares aurait été dégradé par sa culture sous forêt (Gockowski & Sonwa, 2011). A l'inverse des systèmes de production intensifs, les systèmes agroforestiers sont connus pour stocker du carbone et pour capturer du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) (Nair, 2012). Ce potentiel a été mis en lumière par la recherche scientifique et ceci particulièrement depuis le protocole de Kyoto. En effet, l'agroforesterie est reconnue par l'UNFCCC comme une activité capable de séquestrer du carbone dans le cadre des mesures de reforestation et de plantation. Ce plus grand potentiel de fixation vient d'une meilleure efficacité de capture et d'utilisation des ressources en comparaison à des systèmes en monoculture (Hamon et al., 2009).

Dans le cas des systèmes agroforestiers, il s'agit de capturer le CO<sub>2</sub> atmosphérique par le processus de photosynthèse et de stocker le carbone fixé dans la plante, qui passera dans la matière en décomposition pour finir dans le sol (Figure 5). En effet, dans les SAFs tropicaux plus de la moitié du C absorbé par les plantes est dirigé vers le sol via la croissance des racines, leur décomposition, les exsudats racinaires et la décomposition de la litière (Montagnini et al., 2004). Le rôle clé des agroforêts dans le cycle du carbone est qualifié de service écosytémique de régulation. Ce haut potentiel de stockage, de séquestration et/ou d'émission de GES permet de réguler le climat. On distingue deux principaux segments de stockage au niveau de la plante : biomasse aérienne (carbone présent dans toute la biomasse vivante au-dessus du sol, y compris les tiges, les souches, les branches, l'écorce, les graines et le feuillage) et biomasse souterraine (carbone présent dans toute la biomasse de racines vivantes) (FAO, 2010).

L'étude de la captation du C par la biomasse aérienne des arbres en milieu tropical est intéressante. En effet, en 25 ans les stocks de C dans la végétation peuvent augmenter de 50 tonnes contre 10 tonnes de C à l'hectare dans les sols (Montagnini et al., 2004).

### 2.3.2 Estimation des stocks de carbone et capacité de stockage des SAFs

Le carbone est stocké dans le feuillage, les tiges, les systèmes racinaires et surtout dans les tissus ligneux des tiges principales des arbres. Les arbres sont de véritables réserves de carbone et ceci grâce à leur longue durée de vie. Le stockage potentiel des SAFs est différent d'une région à l'autre (Albrecht et al., 2003). De plus le carbone stocké dépend du système mis en place et ainsi des conditions environnementales et socio-économiques. L'estimation des stocks de carbone est permise par la mesure de la biomasse aérienne.

Tableau 1: Estimation des stocks de C retrouvés dans la littérature

Lieu (Région)	Estimation (tC.ha <sup>-1</sup> )	Age et type du système	Référence
Sud Cameroun	125	SAF sous forêt (âgées de 26 ans)	(Duguma et al., 2000)
	200	Jachère forestière (âgée de 10 à 20 ans)	
	243	Forêt primaire <sup>12</sup>	
Sud Cameroun	49	Cacaoyère à très faible ombrage (considérée en plein soleil)	(Gockowski et al., 2011)
	89	SAF sous forêt	
	227	Forêt	
Est du Ghana	131	SAFs (taux d'ombrage >25 %)	(Wade, et al., 2010)
	155	Forêt primaire	
	39	Systèmes intensifs (taux d'ombrage <25 %)	

Il s'agit de mesures indirectes basées sur des modèles régressifs (Chave, et al., 2005). Ces mesures s'opposent aux méthodes destructives de la masse sèche du bois, méthodes de plus jugées laborieuses et coûteuses. Néanmoins, l'estimation des stocks du carbone des SAFs est difficile. En effet, la densité de peuplements, les multiples variétés et leur complexité rend plus difficile les méthodes de mesures du C, qui conduit à un déficit en matière de recherche sur les SAFs (Nair, 2012). Dans ces systèmes très diversifiés, l'utilisation d'une équation spécifique à une essence, issue d'échantillonnage destructif et à un lieu donné semble préférable. L'allométrie des arbres, relation statistique entre leur biomasse et une autre caractéristique dendrométrique, varie systématiquement selon l'espèce considérée et le site (Henry, et al., 2011). Les forêts tropicales d'Afrique Centrale rassemblent plus de 300 espèces et il n'est alors pas possible de mettre en place des équations pour estimer la biomasse de chaque espèce. Au Cameroun, 164 équations sont disponibles et accessibles à

<sup>12</sup> Où la biomasse aérienne représente 50% des stocks de carbone



ce jour sur la plate-forme en ligne GlobAllomeTree<sup>13</sup>. L'utilisation d'une équation générale en fonction de la zone écologique ou du type de forêt a été testée et s'est avérée satisfaisante dans les pays tropicaux (Brown, 2002).

L'estimation des stocks de C des SAFs cacaoyers d'Afrique centrale a déjà eu lieu. Il apparaît que les SAFs à base de cacaoyers du Sud Cameroun contiendraient 62 % des stocks de carbone d'une forêt primaire (Kotto-Same et al., 1997). Néanmoins, les stocks de C des SAFs cacaoyers établis sous forêt n'ont pas été comparés à ceux établis sur savane, ces derniers étant spécifiques de la zone de transition forêt-savane du Centre Cameroun.

#### 2.4 La problématique et les hypothèses

En comparaison aux systèmes intensifs, les SAFs sont les systèmes de production s'apparentant le plus possible aux forêts originelles. Par la mesure du C stocké par la biomasse des arbres vivants, l'étude cherche à mettre en évidence les différences de stockage entre les forêts et les SAFs. L'existence de SAFs à base de cacaoyers issus de forêt et de savane est spécifique à la zone de transition du Centre Cameroun. Ainsi, les systèmes semblables à la forêt créés sur savane peuvent-ils rattraper les stocks des SAFs créés sous forêt, voir ceux des forêts non perturbées ?

On peut dès lors poser les hypothèses suivantes :

- H1 : Les stocks des SAFs se rapprochent des stocks des forêts originelles.
- H2 : Le précédent cultural ainsi que l'âge de la cacaoyère influent sur le potentiel de stockage des SAFs.
- H3 : Les stocks de carbone sont influencés par l'agrobiodiversité du SAF.

Au sein des SAFs, l'agrobiodiversité du peuplement associé aux cacaoyers est fortement influencée par les choix et pratiques de l'agriculteur. L'étude tentera de caractériser la nature des stocks de C des SAFs en les comparant à ceux des forêts originelles.

---

<sup>13</sup> Site internet conçu pour améliorer l'accès aux équations allométriques pour les arbres au niveau international et développée conjointement par la FAO, le centre de recherche français CIRAD et l'université de la Tuscia en Italie (UNITUS-DIBAF) - <http://www.globallometree.org>.

Partie 3 : Matériels et méthodes

3.1 La zone d'étude, le Centre Cameroun

Dans le cadre du projet SAFSE, des agroforêts à base de cacaoyers jugées comme des systèmes complexes et diversifiés ont été retenues pour la mesure des stocks de carbone des SAFs à base de cacaoyer. On retrouve de tels systèmes la région Centre Cameroun.

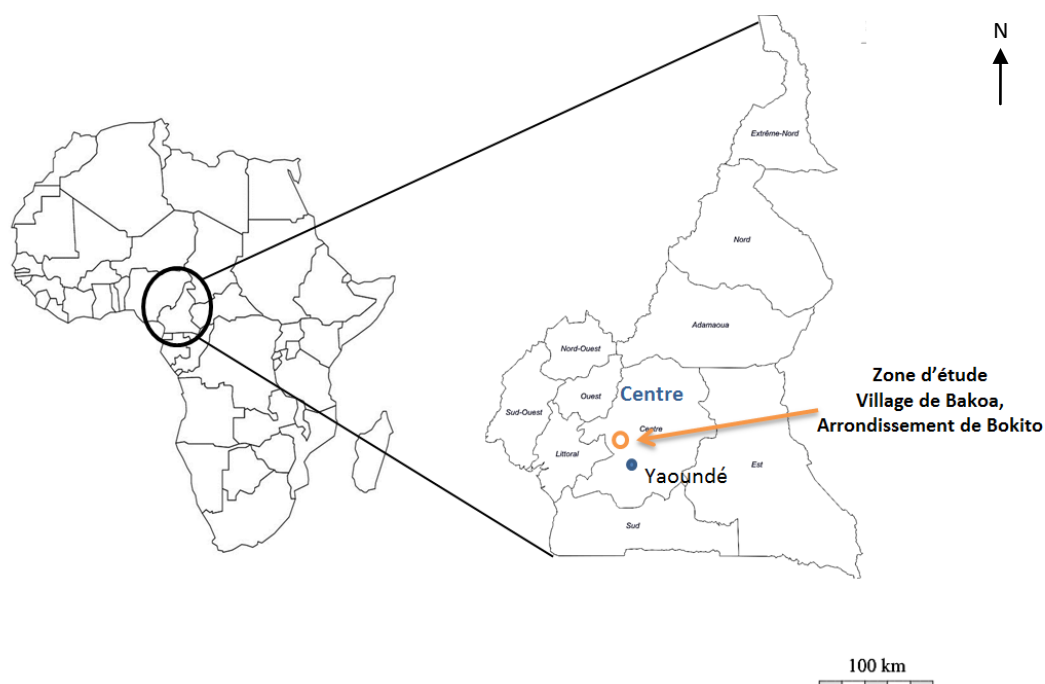


Figure 6: Carte du Cameroun et localisation de la zone d'étude, Source : Claire Durot

L'étude (Figure 6) a été menée autour des villages de Bakoa, Begni, Yorro et Guefigué de l'arrondissement de Bokito (7,125 km<sup>2</sup>): 4°30 latitude N et 11°10 longitude E ; 450 à 500 m d'altitude. La zone de Bokito, du département du Mbam et Inoubou, est située dans la zone de transition entre la forêt et la savane. Cette zone est composée d'une mosaïque de forêt et de savanes herbeuses, arborées ou boisées (FAO, 1985). On parle de forêt dense humide semi-caducifoliée guinéo-congolaise. Il s'agit du domaine le plus septentrional de la région congo-guinéenne en contact avec la région soudano-zambienne (Santoir & Bopda, 1995).

Les savanes sont composées d'une formation herbeuse dominée par l'*Imperata cylindrica*. Après défrichage de la forêt on trouve la succession de végétation où les espèces dominantes sont les suivantes (FAO, 1985):

- formation herbeuse à *Pennisetum purpureum* ;
- formation herbeuse à *Imperata cylindrica* ;
- savane arbustive à *Annona senegalensis* et *Bridelia ferruginea* ;
- savane arbustive à *Terminalia glaucescens* et *Annona senegalensis* (et aussi *Bridelia ferruginea*, *Albizia sp.*, *Crossopteryx febrifuga*, *Hymenocardia sp.*, *Cussonia sp.*).

Cette zone est caractérisée par un climat chaud et humide avec une moyenne annuelle de température de 25°C. La pluviométrie est de 1 300 mm par an ce qui représente un déficit moyen de 200 mm pour la culture du cacao (Jagoret et al., 2012). La saison sèche a lieu de décembre à mars où la pluviométrie est inférieure à 70 mm par mois. Les sols sont ferrallitiques et faiblement désaturés. On parle d'oxisols. La couche arable est composée de plus de 60% de sable et contient moins de 2% de matière organique (Santoir et al., 1995). Ces conditions climatiques et pédologiques ne semblent pas les plus idéales à la culture du cacao (Burle, 1961) mais l'expansion de la cacaoculture a conduit les agriculteurs à s'adapter au contexte naturel local.

Les habitants et notamment les producteurs font partis de la tribu Yambassa. Dans l'arrondissement, la densité de population a été estimée à environ 30 habitants au km<sup>2</sup> en 2003. Malgré un développement tardif de la cacaoculture dans le Centre Cameroun (1950), la production cacaoyère est devenue la principale ressource monétaire du pays Yambassa et cela même après la libéralisation de la filière. La cacaoculture concerne la majeure partie des assolements (60% de la surface cultivée et 75% du revenu agricole des ménages). Elle représente donc un patrimoine familial important (Filipski et al., 2007).

### 3.2 Possibles facteurs de variation des stocks

66 parcelles ont été échantillonnées (Annexe 1). On compte 56 cacaoyères et 10 parcelles témoins non exploitées (5 savanes et 5 forêts). La mesure de la biomasse aérienne des arbres se fait de la même manière pour chaque parcelle à la différence que les parcelles témoins sont dépourvues de cacaoyers. Les parcelles ont été retenues en fonction des possibles facteurs de variation des stocks établies grâce aux hypothèses de travail (Partie 2.4). Ces parcelles ont été choisies en fonction de l'âge des parcelles et du précédent cultural. De manière générale les parcelles sont de petites tailles et n'excèdent pas 2 hectares. Les rendements en fève de cacao sont variables d'une cacaoyère à l'autre et varient en fonction de l'âge, du mode de gestion, de la pression parasitaire et de l'usage ou non de pesticides.

### 3.2.1 Le précédent cultural

La nature de la parcelle avant l'implantation de la cacaoyère est un critère très important. En effet, dans chaque catégorie d'âge, on compte en moyenne 5 parcelles originaires d'un précédent « Forêt » et 5 originaires d'un précédent « Savane ».

Afin d'avoir un aperçu sur l'évolution des stocks de C selon l'âge des parcelles et leur précédent cultural, 10 témoins ont été retenus. On compte 5 témoins « Savane » et 5 témoins « Forêt ». On considère que les savanes arborées accumulent moins de carbone que les forêts humides (FAO, 2011). La savane constitue le témoin « négatif » en termes d'accumulation de C et ne doit pas avoir été exploitée pendant un minimum de 10 ans pour être sélectionnée dans l'étude. Selon l'assolement des cultivateurs, la terre après avoir été cultivée est laissée en jachère. Les végétaux présents sont donc issus de la régénération spontanée. La forêt constitue le témoin « positif » en termes d'accumulation de C et ne doit pas avoir été exploitée. Il demeure difficile de trouver des forêts vierges dans la zone d'étude.



Figure 7: Parcelle témoin savane, Bokito, Source: Claire Durot.

### 3.2.2 L'âge des parcelles

La chronoséquence comporte des mesures effectuées sur des sites considérés similaires mais séparés qui représentent une séquence de gestion des terres (nombre d'années depuis la mise en place de la cacaoyère, par exemple). Elle est souvent utilisée à la place d'études ou de mesures expérimentales répétées dans le temps sur un même site<sup>14</sup>. Elle permet d'avoir un aperçu sur l'évolution des SAFs d'un même précédent végétal à des

<sup>14</sup> Définition proposée par le GIEC dans (GIEC, 2003)

âges et stades de développement différents en fonction de la durée de vie d’une cacaoyère et sont à considérer sur plusieurs décennies compte tenue de la durée de vie d’un arbre. Selon la date d’implantation des cacaoyers, les parcelles ont été classées selon la typologie suivante :

- ≤ 10 ans, immature ;
- [10 ; 20] ans, mature ;
- [20 ; 40] ans, mature ;
- [40 ; 60] ans, mature ;
- ≥ 60 ans, vieillissante.

Lorsque les cacaoyères sont d’un âge inférieur à 10 ans, elles sont qualifiées d’immature, de 10 à 60 ans de mature et supérieur à 60 ans de vieillissante. Au sein de chaque classe d’âge, on trouve des parcelles très diversifiées et localisées de manière aléatoire au sein de la zone de transition Forêt-Savane. La chronoséquence s’établit en fonction de l’origine de la parcelle. On peut donc établir qu’il existe une chronoséquence basée sur le précédent cultural Savane et une chronoséquence basée sur le précédent cultural Forêt.

Le tableau 2 recense les parcelles étudiées par catégorie d’âge et par précédent cultural.

**Tableau 2: Nombre de parcelles étudiées par classe d’âge et type de précédent**

Catégorie d’âge (an)	Précédent cultural	
	Savane	Forêt
≤10	4	7
[10 ; 20]	5	5
[20 ; 40]	7	6
[40 ; 60]	5	5
≥60	5	7

De manière générale, 5 parcelles par catégorie d’âge ont été retenues. Cependant, dans la zone d’étude, les jeunes cacaoyères sur savane demeurent rares.

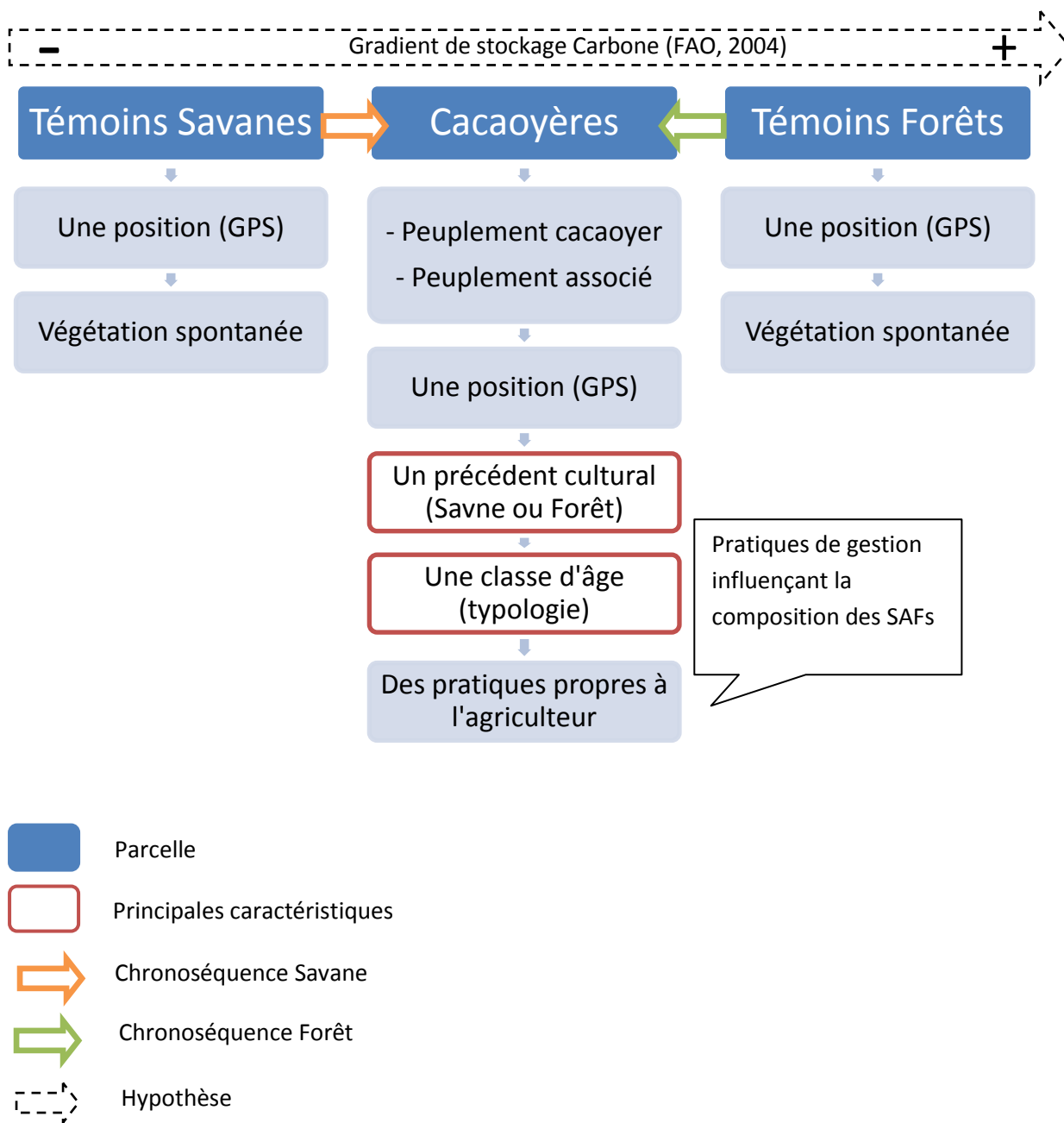


Figure 8: Représentation schématique des informations par parcelle et hypothèse de travail

### 3.2.1 Pratiques et structures des SAFs

La structure des SAFs peut varier d’une parcelle à l’autre. En effet, la diversité des parcelles au sein de la chronoséquence est la résultante des pratiques du producteur. On distingue les pratiques d’implantation (mise en place des cacaoyers et des espèces associées) et les pratiques de régénération (redensification des peuplements cacaoyers, réglage de l’ombrage par introduction ou élimination des arbres associés). Ainsi, le dispositif des plantations varient au cours du temps.

Les pratiques de gestion, en sélectionnant les essences présentes dans la parcelle, influent sur la structure des SAFs. Ainsi ces essences sont introduites ou conservées en fonction de leurs usages. Les essences ont été classées selon les usages suivants :

**Tableau 3: Définition des principaux usages relevés dans les SAFs**

Usages	Définitions
<b>Agronomique</b>	Arbres introduits ou conservés pour ses capacités à fertiliser le sol et/ou à distribuer l’eau.
<b>Culturel</b>	Arbres introduits ou conservés pour son utilité dans la vie de la communauté, allant de la pharmacopée locale, de la cuisine (épices, vers...), du culte à la fabrication d’outils ou d’instruments de musique.
<b>Forestier</b>	Arbres introduits ou conservés pour la production de bois d’œuvre ou de chauffe.
<b>Fruitier</b>	Arbres introduits ou conservés pour la production alimentaire autoconsommée par la famille et/ou génératrice de revenus en complément du cacao marchand.

Les usages par essence ont été établis selon les dire des agriculteurs. Certaines essences remplissent plusieurs fonctions. Elles sont présentées en Annexe 2.

Enfin, en complément aux mesures biophysiques un échange rapide avec le planteur est nécessaire afin d’obtenir des informations complémentaires aux observations scientifiques. La fiche exploitation (Annexe 3) permet de recenser les producteurs de cacao collaborant au projet. Elle renseigne sur le statut familial de l’exploitant, sur ses cultures principales ainsi que sur ses activités génératrices de revenu. Certains actifs présentent plusieurs cacaoyères au sein des parcelles retenues. De plus, la fiche parcelle (Annexe 4) renseigne sur l’origine, sur la date de lancement de la cacaoculture, sur l’âge moyen du peuplement et estime les rendements (cacao et espèces associés) selon le dire des agriculteurs. Elle met en évidence les principaux problèmes rencontrés par les agriculteurs (pourriture brune, bioagresseurs...) et la conduite de la cacaoyère (type de semis, variété, gestion de l’ombrage).

### 3.3 Estimation des stocks de carbone

Au sein des SAFs, l'étude s'intéresse au carbone stocké dans la biomasse aérienne et souterraine des arbres vivants (cacaoyers et peuplement associé). Les stocks de carbone sont estimés à partir de la biomasse aérienne des arbres. La biomasse individuelle d'un arbre est mesurée à l'aide d'une équation allométrique, équation établie à partir de caractéristiques dendrométriques telles que le diamètre ou la hauteur. On utilise une équation adaptée à la zone climatique et aux feuillus (Chave, et al., 2005). La collecte des données nécessaires à l'estimation de la biomasse aérienne des SAFs est basée et adaptée de la méthode présentée par (Hairiah, et al., 2010), l'objectif étant d'obtenir le carbone stocké à l'hectare par tous les arbres présents sur chaque parcelle étudiée. L'étude sera suivie par l'analyse des sols afin d'estimer les capacités de séquestration du C dans les sols après différents précédent de végétation (forêt ou savane) (SAFSE, 2012).

#### 3.3.1 Mesures biophysiques des biomasses

Le protocole de mesure se base sur la méthode proposée par l'ICRAF, Centre Mondial d'Agroforesterie. Cette dernière préconise la réalisation des mesures de la biomasse aérienne dans des parcelles de 200 m<sup>2</sup> (5 m x 40 m) pour les forêts et de 500 m<sup>2</sup> (20 m x 25 m) pour les plantations dont la densité de peuplement varie entre 300 et 900 arbres à l'hectare. Les parcelles sont de formes rectangulaires car jugées plus hétérogènes et plus représentatives du peuplement. (Hairiah, et al., 2010).

Dans le cas présent, la mesure du peuplement cacaoyer et du peuplement associé est réalisée dans un premier rectangle de 800 m<sup>2</sup> (20 m x 40 m). On considère que plus la zone d'étude est grande, plus les mesures reflèteront la réalité (Hairiah, et al., 2010). La parcelle permet ainsi d'avoir un aperçu représentatif du peuplement du SAF sous forme de transect.

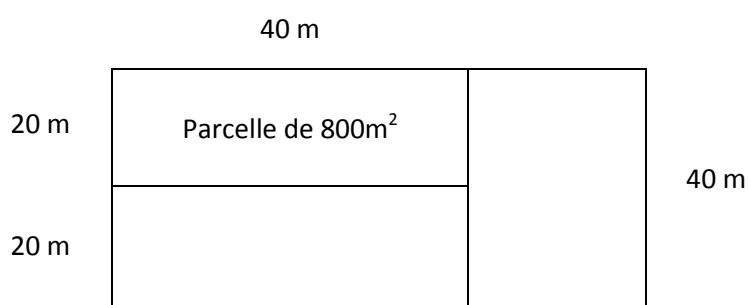


Figure 9: Parcelle pour le relevé des mesures biophysique

Dans un premier temps, on procède à l'inventaire du peuplement cacaoyer (Annexe 5). Les activités sont les suivantes : mesure du plus petit diamètre des tiges à une hauteur de 1m30 (DHP<sup>15</sup>) ; mesure de leur hauteur ; observations cacaoyers (architecture<sup>16</sup>, taille,

<sup>15</sup> Diamètre à Hauteur de Poitrine



productivité). Le comptage des cacaoyers dans la parcelle permet ainsi de calculer la densité du peuplement. On procède ensuite de la même façon à la mesure des arbres associés (Annexe 7). La hauteur de chaque arbre a été mesurée à l'aide d'un clinomètre. Les arbres d'une hauteur inférieure à 8 mètres ont pu être estimés à l'aide d'une règle de 5 mètres servant à la mesure des cacaoyers. Chaque arbre d'un diamètre supérieur à 5 cm est mesuré et identifié. On relève le nom vernaculaire, sa fonction (agronomique, culturelle ou de production) et usage traditionnel et son mode d'implantation (conservé ou introduit). De plus, on caractérise le feuillage (léger ou lourd) et la strate (dominante, supérieure aux cacaoyers, à même hauteur ou inférieure (Figure 6). Ces dernières informations sont cruciales pour la caractérisation de l'ombrage généré par le peuplement associé sur les cacaoyers ainsi que pour la poursuite des études dans le projet.

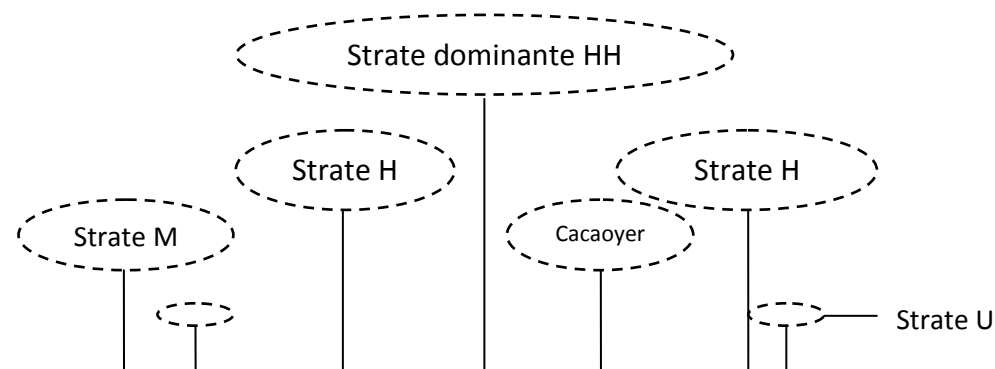


Figure 10: Structure de la canopée d'un SAF, Source: Claire Durot

Ensuite par l'extension de la première parcelle (800 m<sup>2</sup>), on procède à l'inventaire du peuplement associé ayant un diamètre supérieur à 30 cm sur une surface de 2400 m<sup>2</sup> (40 m x 60 m), réalisée selon le schéma ci-dessus. On considère que ces derniers ont un impact sur la première parcelle en raison de leur taille plus importante. Dans cette nouvelle parcelle, on ne mesure que le peuplement associé. Cela permet d'avoir une meilleure représentation du peuplement et de leur biomasse des arbres dont le diamètre est supérieur à 30 cm. En effet, les arbres dont le diamètre est supérieur à 50 cm représenteraient la moitié du potentiel de stockage d'une forêt naturelle (Hairiah, et al., 2010).

Une fois les mesures réalisées les arbres sont marqués d'un point de peinture pour les prochains relevés. Un suivi de l'évolution du peuplement sera entrepris.

<sup>16</sup> Types architecturaux des cacaoyers identifiés au Centre Cameroun (Annexe 6)

### 3.3.2 Estimation de la biomasse aérienne

L'estimation de la biomasse aérienne (AGB<sup>17</sup>) requiert le ou les diamètres du tronc à 1m30 (D), la hauteur de l'arbre (H) et la densité du bois ( $\rho$ ). Il s'agit du modèle régressif établi par (Chave, et al., 2005). En raison de la pluviométrie inférieure à 1500 mm par an, l'équation choisie est celle des forêts sèches :

$$AGB = 0,112 \times (\rho \times D^2 \times H)^{0,916}$$

Où AGB, la biomasse est exprimée en kg ; D, le diamètre en cm, à 1m30, H, la hauteur de l'arbre en m et  $\rho$ , la densité du bois en  $g.cm^{-3}$ .

Ce modèle est valable pour les feuillus de diamètre de tige allant de 5 à 156 cm et une biomasse de l'arbre allant de 50 g à 1 t ( $\rho D^2 H$ ). Elle n'est pas valable pour l'estimation de la biomasse des palmiers, cocotiers et rôniers. Par soucis méthodologique et afin d'homogénéiser l'estimation des stocks, une équation spécifique aux palmiers n'a pas été retenue, la biomasse de ces derniers n'a pas été prise en compte.

Ce modèle a été choisi pour l'estimation de la biomasse du peuplement cacaoyer et du peuplement associé. En effet, il n'existe pas d'équation spécifique au cacaoyer d'Afrique Centrale. L'équation spécifique au cacaoyer énoncé par (Hairiah, et al., 2010) et établi par (Yuliasmara, 2008) en Indonésie n'a pas été retenu pour l'estimation de la biomasse aérienne compte tenu des différences de taille des arbres et de structure des systèmes. En effet, il s'agit de systèmes agroforestiers simplifiés où les arbres associés sont alignés.

Les densités des arbres ont été obtenues grâce aux bases de données suivantes : Globalwooddensitydatabase®, tropix® cirad et la base de donnée PROTA<sup>18</sup>. La densité est de manière générale mieux connue pour les arbres exploitables par les compagnies forestières. Pour les arbres non identifiés (nom vernaculaire inconnu ou non traduit de la langue locale), on a utilisé une densité moyenne en fonction de la zone et différente des arbres de savane et de forêt. Les densités par espèces sont présentées en Annexe 2. Pour les arbres de savane, où peu d'arbres ont pu être identifiés une densité moyenne des arbres de savane a été choisie selon la fonction de la plante pour les forêts sub-sahariennes (Henry, et al., 2011).

### 3.3.3 Estimation de la biomasse souterraine des racines

La biomasse des racines (RBD<sup>19</sup>) du sol est prédite à partir de l'estimation de la biomasse aérienne. Cette dernière est responsable à 83% de la variation de RBD (Cairns et al., 1997), les autres facteurs étant la latitude, le type de l'arbre, la température, le taux de

<sup>17</sup> Aboveground Biomasse

<sup>18</sup> Plant Resources of Tropical Africa

<sup>19</sup> Root Biomass Density

précipitation, l'âge et la texture du sol. Ainsi l'équation suivante exprimant la biomasse des racines en fonction de la biomasse aérienne établit par (Cairns et al., 1997) :

$$RBD = \exp [- 1,0850 + 0,9256 \times \ln(ABG)]$$

Où RBD et ABG, les biomasses souterraines et aériennes sont exprimées en kg.

### 3.3.4 L'estimation du C à l'hectare

Une fois la biomasse aérienne et la biomasse souterraine estimées puis additionnées, on obtient la biomasse totale par arbre. Selon (Nair, 2012), 50 % de la biomasse totale de l'arbre équivaut à du carbone. Une fois le taux de carbone calculé par arbre on obtient le taux de carbone par parcelle à l'hectare.

### 3.4 Traitement et analyse des données

Le stock de carbone à l'hectare a été estimé pour chacune des parcelles relevées. Sur chaque parcelle, pourront être analysées et comparées les variables suivantes :

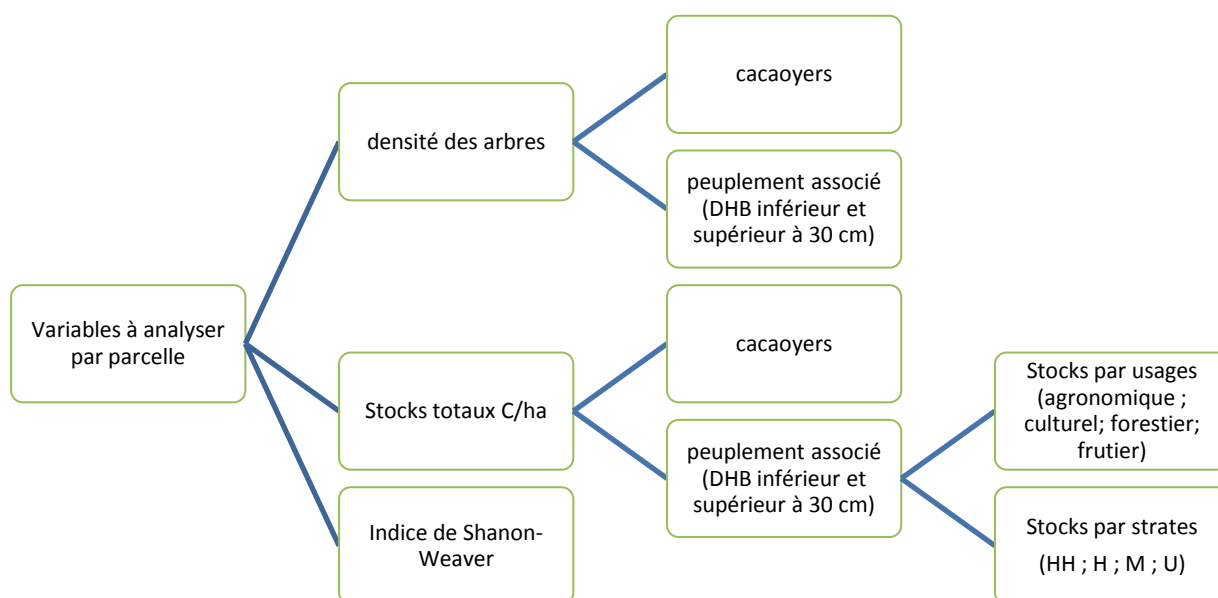
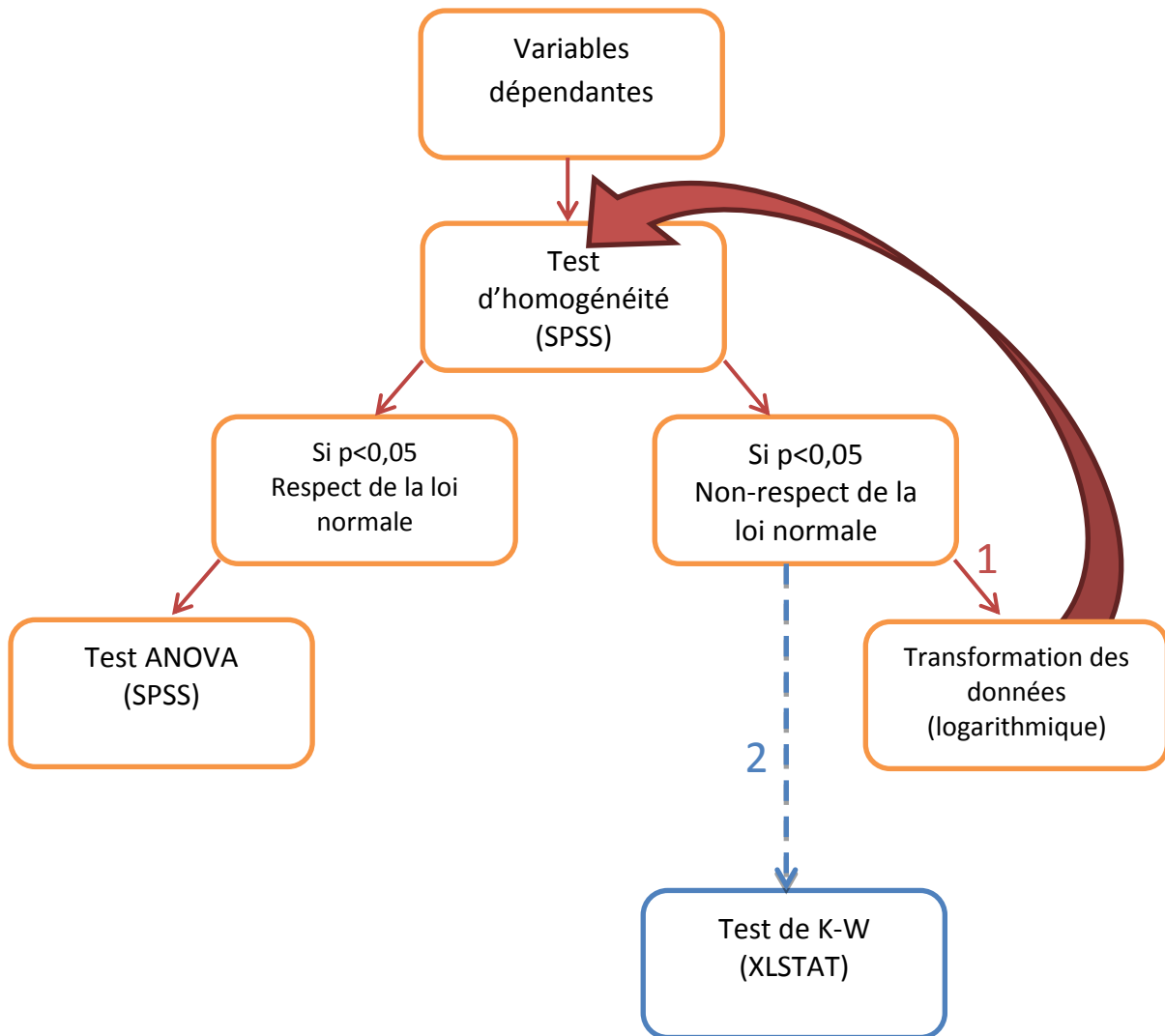


Figure 11: Ensemble des variables dépendantes obtenues par parcelle et utilisées pour les analyses statistiques.



Si non-respect de la loi normale après transformation des données

Figure 12: Choix du test statistique pour l'analyse des données en fonction de la loi normale.

L'indice de Shannon-Weaver est un indice permettant de mesurer la biodiversité. Il est utilisé pour mesurer la diversité spécifique des cacaoyères et témoins sur un carreau de 800 m<sup>2</sup>.

$$H' = - \sum \left( \frac{N_i}{N} \times \ln \left( \frac{N_i}{N} \right) \right)$$

Où  $N_i$  correspond au nombre d'individu de l'espèce  $i$  et  $N$  au nombre total d'individu.

Cet indice est d'autant plus faible (proche de 0) que le nombre d'espèce est faible et que quelles espèces dominant. Le maximum correspond à une répartition égale des espèces où  $H' = \ln S$ .  $S$  correspond à la richesse spécifique soit au nombre d'espèces présentes dans l'échantillon.

Une fois les variables calculées par parcelles, une analyse factorielle a été exécutée à l'aide du logiciel SPSS. L'analyse de variance (ANOVA) a été réalisée afin de savoir si les variables présentées dans la Figure 11 sont en relation avec les facteurs « Précédent cultural » (Savane, Forêt) et « Âge de la plantation » (par classe d'âge  $\leq 10$ , [10 ; 20], [20 ; 40], [40 ; 60] et  $\geq 60$ ). Dans chaque cas, les parcelles témoins « Forêt » ont été ajoutées. Afin de ne pas biaiser les résultats, les parcelles témoins « Savane » n'ont pas été comprises dans l'analyse. En effet, l'étude cherche à comparer les stocks de C des SAFs aux forêts originelles. L'ANOVA est suivie d'un test de Student-Neuman-Keuls afin de trouver les différences significatives entre les parcelles.

Pour réaliser l'analyse factorielle, certaines variables ont subies des transformations logarithmiques (avec  $p < 0,05$ ) afin de suivre une loi normale. Si non homogènes après une transformation logarithmique, les données ont été analysées à l'aide d'un test non paramétrique « Kruskal-Wallis » sous XLSTAT. Il permet de déterminer si les parcelles ont des caractéristiques différentes. Si les variables testées sont différentes, un test de comparaisons multiples « Steel-Dwass-Critchlow-Fligner » est exécuté afin d'établir les différences spécifiques entre nos échantillons.

En compléments, une ACP sous XLSTAT a été réalisée, proportions par usage et par strate, stocks par usage et par strate comparés en fonction du précédent cultural et de l'âge de la parcelle. Aussi comparés aux témoins « Savane » et « Forêt ».

Partie 4 : Présentation et analyse des résultats
--

Les estimations du carbone stocké par la biomasse vivante des arbres présents dans les parcelles sont comparées et analysées en fonction des facteurs initialement renseignés, tel que l'âge de la parcelle, le précédent cultural (ou le type de système pour les parcelles témoins). Ces estimations reposent sur la mesure de 5 350 cacaoyers et 1 219 arbres associés (dont 580 ayant un diamètre inférieur à 30 cm et 639 ayant un diamètre supérieur à 30 cm). Cette partie a pour objectif la validation des hypothèses.

*H1 : Les stocks de C des SAFs se rapprochent des stocks des forêts originelles.*

*H2 : Le précédent cultural ainsi que l'âge de la cacaoyère influent sur le potentiel de stockage en C des SAFs.*

*H3 : Les stocks de carbone sont influencés par l'agrobiodiversité du SAF.*

Afin de faciliter la rédaction des résultats les différents systèmes comparés ont été abrégés comme tel :

- SAFs avec précédent cultural « forêt » : SAFforêt
- SAFs avec précédent cultural « savane » : SAFsavane
- Témoins forestiers : TF
- Témoins savanes : TS

#### 4.1 Effet des facteurs « Précédent cultural» et « Classe d'âge » des SAFs

Cette partie découle des résultats observés par l'analyse de la variance à deux facteurs : « précédent cultural » et « classe d'âge » des SAFs. Les forêts originelles font parties de l'analyse. Les observations sont présentées dans le Tableau 4. Elles sont complétées par des statistiques descriptives.

##### 4.1.1 Effet du précédent

- **Effet du précédent sur la nature des stocks de C**

Le stock de C n'est pas significativement différent entre les cacaoyères établies sous forêt (SAFforêt) et les cacaoyères établies sous savane (SAFsavane). De manière générale, les SAFforêt stockent plus de C dans la biomasse des arbres vivants que les SAFsavane, 85 tonnes contre 58 tonnes de C à l'hectare. Les forêts originelles (TF) stockent en moyenne 121 tonnes contre 9 tonnes de C à l'hectare dans les savanes non exploitées (TS) (Tableau 4

et Figure 13). Ainsi, le stock de C a été significativement élevé dans les TF, intermédiaire dans les SAFs (interaction  $p < 0,01$ ) et minime dans les TS.

Dans chaque système (SAFforêt, SAFsavane et TF), le stock de C des cacaoyers et des arbres associés ont été évalués séparément. De plus, les arbres associés ont été divisés en deux catégories, les arbres dont le diamètre à hauteur de poitrine est supérieur à 30 cm (DHP>30) et les arbres dont le DHP est inférieur à 30 cm (DHP<30). Le stockage total de C résulte de l'addition de chacun des peuplements.

Le C stocké par la biomasse des cacaoyers n'est pas significativement différent les SAFforêt et les SAFsavane (Tableau 4). Il est d'environ 8 tonnes pour les SAFforêt contre 9 tonnes à l'hectare pour les SAFsavane (Figure 13). Une cacaoyère établit sous forêt compte en moyenne 1 159 cacaoyers à l'hectare contre 1 246 sur savane (Tableau 4).

Cependant, on observe que le C stocké par les cacaoyers et par les arbres de DHP<30 est minime par rapport au C stocké par les arbres de DHP >30 (Figure 13). Ainsi, les arbres de DHP>30 sont le peuplement influant les stocks de C totaux. Le précédent cultural influe sur le stockage de C assuré par les arbres associés de DHP>30 (interaction  $p < 0,01$ ). Sur ce point, les parcelles sont classées en deux populations, les SAFs dans l'un et les forêts originelles dans l'autre (Tableau 4).

En outre, les arbres de DHP>30 représentent à eux seuls 87% du carbone stocké dans le TF, 84% du C stocké dans les SAFforêt, 79% dans les SAFsavane et 46% du C stocké dans les TS. Au regard des estimations moyennes, les SAFforêt semblent plus similaires des TF que les SAFsavane en terme de C stocké par la biomasse des arbres de DHP>30. Néanmoins, ces informations ne sont pas suffisantes pour différencier les SAFs en fonction de leur précédent cultural. De plus, de grandes variations sont observées au sein des échantillons (Figure 13).

Les stocks de C totaux permettent d'observer plusieurs groupes, les TF (a), les SAFforêt (ab), les SAFsavane (b) et les TS (c), et sont donc très corrélés au stockage permis par les arbres de DHP>30 et non au peuplement cacaoyers (Figure 13).

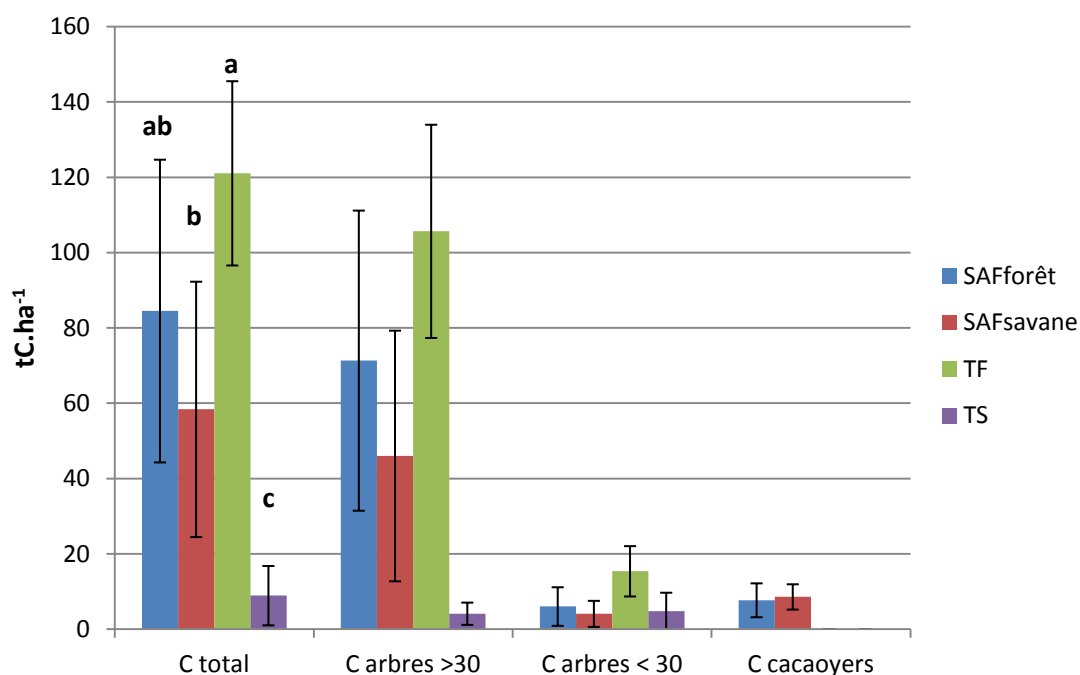


Figure 13: Stocks moyens de C à l'hectare par précédent cultural, y sont également représentés les témoins « Savane » et « Forêt » (parcelles sont dépourvues de cacaoyers).

L'analyse factorielle montre qu'il existe des différences significatives sur la quantité de C stockée par les différents systèmes et les strates. Elles sont observées au niveau du stockage de la strate intermédiaire (strate H) ( $p < 0,01$ ) et non par la strate dominante (strate HH). La strate HH stocke en moyenne 17 tonnes dans les SAFsavane, 20 tonnes dans les SAFforêt et 51 tonnes de C à l'hectare dans les TF. Quant à la strate H, elle stocke 32 tonnes dans les SAFsavane, 56 tonnes dans les SAFforêt et 70 tonnes de C à l'hectare dans les TS. En effet, le test SNK propose deux groupes. Les SAFforêt et les forêts originelles ont été regroupés et sont jugés différents des SAFsavane (Tableau 4).

Aucune différence significative n'a été mise en évidence entre la part des stocks assurée par les différentes strates et le précédent cultural. L'équilibre entre la strate H et la strate HH est plutôt similaire d'un système à l'autre. Dans tous les cas, la strate H est responsable de plus de 50 % du C stocké par la biomasse des arbres vivants (Figure 14 et Tableau 4).



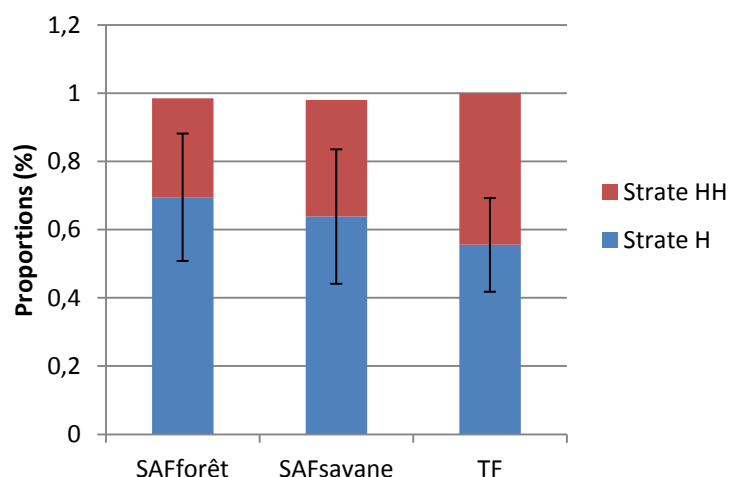


Figure 14: Proportion moyenne du C stocké par strate (H ou HH) du peuplement associé, les strates U et M n’ont pas été représentées.

Une différence significative ( $p < 0,05$ ) entre le nombre d’arbres à l’hectare où DHP > 30 et le précédent cultural a également été observée (Tableau 4). Le test de comparaisons multiples effectué à la suite du test de K-W a classé les systèmes en deux populations. La première comprend les SAFsavane (a) et les TF (b), où les SAFforêt (ab) appartiennent aux deux catégories. En effet, les SAFforêt comportent en moyenne 44 arbres à l’hectare contre 36 dans les SAFsavane. Quant aux TF, ils comportent en moyenne 63 arbres à l’hectare. Au niveau de la densité de ce peuplement les SAFforêt semblent plus proches des TF que les SAFsavane. Cependant, le test n’admet pas de grandes différences entre les deux populations de SAFs. Ces résultats confortent les groupes présentés Figure 13.

Bien qu’aucune différence significative n’ait été décelée au niveau du C stocké par la biomasse des arbres de DHP < 30, une interaction importante ( $p < 0,001$ ) entre leur nombre à l’hectare et le précédent cultural a été observée (Tableau 4). En effet, les SAFs sont jugés différents des forêts originelles. Une cacaoyère comporte en moyenne 73 arbres de DHP < 30 à l’hectare sous forêt et 70 sous savane contre 458 dans les forêts originelles. Ces résultats sont cohérents avec la réalité dans le sens où les arbres sont sélectionnés et les plantations sont débroussaillées pour favoriser la croissance des cacaoyers.

Le peuplement associé a été observé en termes de densité de peuplement et de stocks de C globaux. Les arbres associés aux cacaoyers répondent à différentes fonctions et usages. Le point suivant s’attarde sur l’effet du précédent système sur la nature du peuplement associé.

- **Effet sur la nature du peuplement associé aux cacaoyers**

Les estimations de C ont été classées en fonction de l’usage des arbres associé. Il existe quatre catégories, agronomique, culturel, forestier et fruitier. Certains arbres peuvent posséder plusieurs fonctions mais leur part de C a été pondérée. Le C stocké par les arbres ne

possédant pas d'usage répertorié lors des enquêtes auprès des agriculteurs locaux n'entrent pas dans l'analyse comparative.

Il existe une différence significative ( $p < 0,1$ ) entre le stockage de C couvert par les arbres dits forestiers et le précédent cultural. En effet, le stockage de C couvert par les arbres forestiers est plus important dans les TF que dans les SAFs. Il est estimé à 14 tonnes de C à l'hectare dans les SAFsavane, à 26 dans les SAFforêt contre 55 dans les TF. De même, le stockage couvert par les arbres à usage culturel interagit très fortement ( $p < 0,001$ ) avec le précédent cultural. Le test SNK classe les estimations de C de ces arbres en deux groupes, dans le premier les SAFsavane où les arbres à usage culturel stockent en moyenne 4 tonnes de C à l'hectare et le deuxième contenant les SAFforêt et TF. La biomasse des arbres à usage culturel stockent en moyenne 12 tonnes dans les SAFforêt et 18 tonnes de C à l'hectare dans les TF (Tableau 4).

Une différence significative ( $p < 0,05$ ) entre la proportion du C stocké par les arbres fruitiers et le précédent cultural a été mise en évidence par l'analyse factorielle. Il apparaît que la part de C stocké par les fruitiers est plus importante sur les SAFsavane que dans les SAFforêt. Le test SNK a établi deux populations, la première contenant les TF (a) et la deuxième les SAFsavane (b). On constate que les SAFforêt (ab) appartiennent aux deux populations (Tableau 4).

La Figure 15 met en évidence les stocks de C moyen en terme de proportion dans les SAFs par usage et par précédent cultural. Les TF et TS ont aussi été représentés. Dans les SAFforêt la part de stockage la plus importante revient aux arbres dits forestiers (33 % du stockage de C des arbres associés aux cacaoyers, contre 19 % pour les fruitiers) quant aux SAFsavane elle revient aux arbres dits fruitiers (34 % du stockage de C des arbres associés aux cacaoyers, contre 27 % pour les forestiers) (Tableau 4).

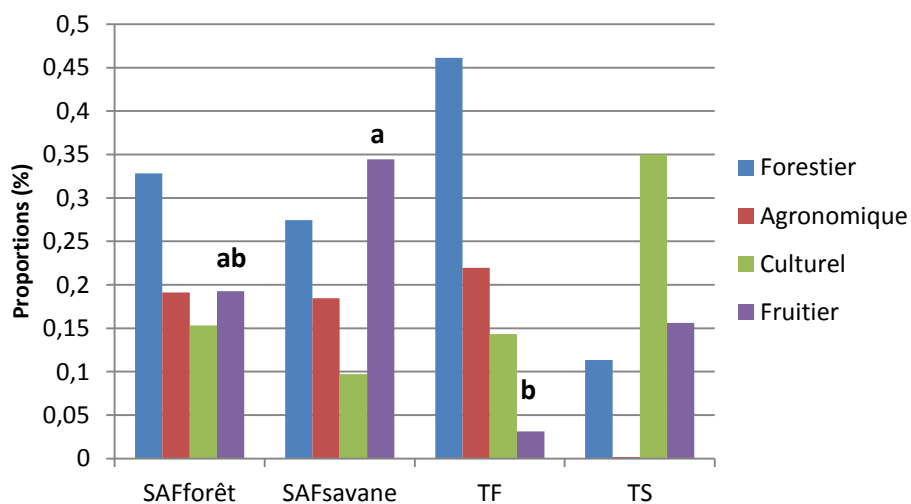


Figure 15: C stocké en terme de proportion par usage sur les SAFs cacaoyers et les témoins "Forêt" et "Savane"

La nature des arbres associés dans les SAFs est hautement liée aux activités de gestion et d'entretien des agroforêts menés par l'agriculteur. Il apparaît en termes de stockage que dans les SAFsavane le peuplement associé est dominé par les arbres fruitiers. Ces derniers ont principalement été introduits et permettent la production de denrées autoconsommées et/ou vendues. Cependant, dans les SAFforêt le peuplement associé est dominée par les arbres forestiers principalement conservés. Parmi les services écosystémiques rendus par les SAFs, le service de production alimentaire est privilégié devant le stockage de C dans la biomasse des arbres.

Au niveau de l'agrobiodiversité, il est intéressant de constater que les SAFforêt et les SAFsavane sont identiques. Ces résultats ont été mis en avant par le calcul de l'indice de Shannon. Il est cependant très différent de celui des forêts originelles. En effet, il est d'environ 1,4 pour les SAFs et de 2,4 pour les témoins « forêt » (Tableau 4) où l'agrobiodiversité y est plus élevée.

Il apparaît des différences significatives au niveau de la structure et la capacité de stockage des SAFs et des forêts. Notamment, vis-à-vis du stockage de C permis par la biomasse des arbres de DHP>30. L'étude des SAFs cacaoyers à travers l'évolution du peuplement associé apportera d'autres éléments de réponses.

Tableau 4: Résultats analyse factorielle (ANOVA) à double entrée, d'un test non-paramétrique (Kruskal-Wallis) et des valeurs moyennes (non transformées) par variables.

		Précédent				Classe d'âge							
		p value	SAFsavane	SAFforêt	TF	p value	≤ 10	[10 ; 20]	[20 ; 40]	[40 ; 60]	≥ 60	TF	
Stocks (tC.ha <sup>-1</sup> )	usage	Forestier	<b>5,749</b> *	14,419a	26,084a	54,880b	<b>1,064</b>	17,156	17,057	26,809	20,129	21,667	54,880
		Agronomique	<b>0,989</b>	12,806	17,870	26,271	<b>1,926</b>	6,974	16,026	16,026	36,336	10,850	26,271
		Culturel	<b>12,139</b> ***	4,066a	11,600b	17,730b	<b>0,600</b>	5,351	4,855	8,390	14,240	8,523	17,730
		Fruitier	<b>0,005</b>	12,229	10,826	3,341	<b>0,549</b>	6,463	15,732	11,399	11,792	12,235	3,341
	strate	Strate HH	<b>0,930</b>	17,275	19,764	51,390	<b>1,612</b>	11,047	16,434	22,862	19,056	22,578	51,390
	Strate H	<b>10,635</b> **	32,017a	56,317b	69,680b	<b>1,783</b>	39,986	46,533	39,286	70,623	37,842	69,680	
Stocks (tC.ha <sup>-1</sup> )	Cacaoyers	<b>2,659</b>	8,593	7,704	0,000	<b>8,017</b> ***	4,280b	6,505c	8,215cd	11,108d	10,305cd	0,000a	
	Arbres DHP>30	<b>8,210</b> **	46,023a	71,334a	105,666b	<b>1,679</b>	46,971	56,280	57,213	87,259	55,506	105,666	
	Arbres DHP<30	<b>1,974</b>	3,774	5,461	15,405	<b>0,754</b>	5,118	3,971	5,905	2,892	5,162	15,405	
	Totaux	<b>9,006</b> **	58,391a	84,498a	121,07b	<b>2,067</b> #	56,369a	66,755a	71,334a	101,259ab	70,973a	121,07b	
Proportion stocks usage	Forestier	<b>1,356</b>	0,274	0,328	0,461	<b>1,412</b>	0,306	0,268	0,386	0,206	0,327	0,461	
	Agronomique	<b>0,063</b>	0,185	0,191	0,220	<b>1,839</b>	0,122	0,214	0,137	0,364	0,136	0,220	
	Culturel	<b>2,899</b> #	0,097	0,153	0,143	<b>0,490</b>	0,105	0,100	0,128	0,152	0,156	0,143	
	Fruitier	<b>5,824</b> *	0,344b	0,193ab	0,031a	<b>0,690</b>	0,223	0,331	0,265	0,163	0,313	0,031	
Densité (nb d'ind.ha <sup>-1</sup> )	Cacaoyers	<b>1,283</b>	1245,500	1158,750	/	<b>18,388</b> ***	1384,091b	1615,000b	1074,038ab	1184,722ab	825,000a	/	
	Arbres DHP>30	<b>7,315</b> *	36,000a	44,028ab	63,333b	<b>6,435</b>	41,288	40,833	37,179	45,833	38,542	63,333	
	Arbres DHP<30	<b>13,417</b> ***	69,500a	73,333a	457,500b	<b>27,130</b> ***	101,136b	91,250b	80,769ab	37,500a	43,750ab	457,500c	
Proportion stocks par strate	Strate HH	<b>4,759</b> #	0,342	0,284	0,444	<b>13,709</b> *	0,228	0,286	0,374	0,200	0,419	0,444	
	Strate H	<b>4,251</b>	0,639	0,701	0,556	<b>12,711</b> *	0,743	0,702	0,599	0,792	0,575	0,556	
Autre	Indice de Shannon	<b>12,572</b> **	1,423a	1,413a	2,447b	<b>16,331</b> **	1,554a	1,502a	1,478a	1,285a	1,256a	2,447b	

# pour  $p < 0,1$  ; \* pour  $p < 0,05$  ; \*\* pour  $p < 0,01$  et \*\*\* pour  $p < 0,001$  / Pour test K-W, classement obtenu à l'aide d'un test de comparaisons multiples par paires (Steel-Dwass-Critchlow-Fligner).

Les variables : densité ; proportion par strate et indice de Shannon ont été analysées à l'aide du test de K-W. Les moyennes sont accompagnées de lettre en selon la classification statistique des populations.

#### 4.1.2 Effet de l'âge du système

Dans cette partie, l'évolution des stocks de C des SAFs vont être étudiée en fonction de leur classe d'âge et indépendamment du précédent cultural.

Les stocks de C des SAFs ne varient pas en fonction de l'âge du système. On observe cependant 2 populations, les SAFs (a) et les TF (b). Il apparaît que les stocks des SAFs âgés de [40 ; 60] (ab) sont comparables à ceux des TF. Cependant, ils ne sont pas dissociables des autres classes d'âge (Tableau 4).

Cependant, le carbone stocké par la biomasse des cacaoyers varie en fonction de l'âge du système ( $p < 0,001$ ) (Tableau 4). En effet, il est le plus important au stade [40 ; 60] (d), intermédiaire aux stades [20 ; 40] et  $\geq 60$  (cd), faible au stade [10 ; 20] (c) et très faible au stade  $\leq 10$  (b). Le nombre de cacaoyer diminue au fur et à mesure que la cacaoyère vieillit. Ils sont plantés en grand nombre à leur mise en place, puis sélectionnés afin d'optimiser leur croissance et leur productivité. Une cacaoyère âgée de moins de 10 ans compte en moyenne 1384 cacaoyers à l'hectare contre 825 à plus de 60 ans (Tableau 4).

Enfin, le nombre d'arbre de DHP $<30$  varie très fortement en fonction de l'âge du système ( $p < 0,001$ ). Ces derniers disparaissent petit à petit du système jusqu'à atteindre leur minimum au stade [40 ; 60]. Chez les cacaoyères vieillissantes, on constate une régénération du système. Le stockage de C assuré par la biomasse des arbres de DHP $>30$  baisse. De même, il semble que celui assuré par les arbres de plus petit diamètre augmente par rapport au stade précédent (Tableau 4). Ce phénomène est accompagné par le recépage des cacaoyers, qui en taillant les arbres risquent de diminuer leur potentiel de stockage.

De manière générale, considéré comme seul critère, l'âge de la cacaoyère n'influe pas sur la composition par usage du peuplement associé. Cependant, on constate une perte d'agrobiodiversité, grâce à l'analyse de l'indice de Shannon, au cours de l'âge du système. Ces moyennes ne sont pas suffisantes pour dissocier les SAFs par leur âge. Néanmoins, l'agrobiodiversité demeure largement supérieure dans les forêts originelles (Tableau 4).

L'âge du système n'admet pas de suffisamment de différences significatives au niveau du stockage du C. Afin de compléter l'analyse, les estimations de C sont comparées en fonction de chaque chronoséquence (savane et forêt).

#### 4.2 Effet de la chronoséquence = précédent x âge du système

Pour une meilleure visualisation des résultats, une analyse en composantes principales a été réalisée. Elle met en évidence les témoins, le précédent cultural ainsi que les classes d'âge des SAFs cacaoyers en fonction des stocks de C par strates et usages au sein des systèmes.

Le premier et le deuxième axe de l'ACP expliquent respectivement 54,28 % et 15,65 % de la variance de composition des SAFs. Les stocks de carbone totaux par parcelle (Stocks C), le

carbone stocké par les strates HH et H ainsi que le carbone stocké par les arbres à usage « Agronomique », « Forestier » et « Culturel » sont les principales contributeurs à l'axe F1. Seul le carbone stocké par les arbres fruitiers contribue à l'axe F2.

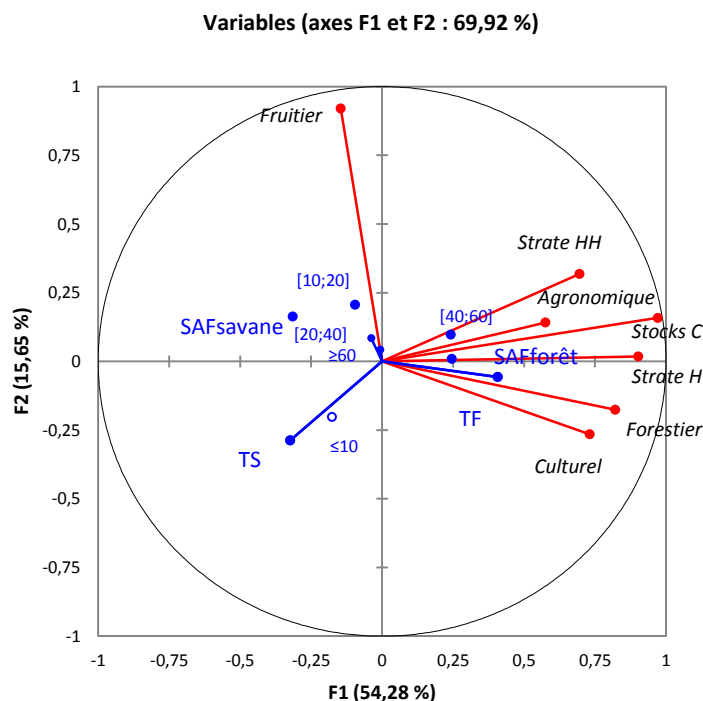


Figure 16: ACP des stocks totaux de C, des stocks par usage et par strate. Les systèmes témoins et précédents culturels ont été représentés ainsi que les classes d'âge des SAFs.

Les axes associés aux stocks des arbres à usage « Agronomique », « Forestier » et « Culturel » sont regroupés autour de l'axe des stocks totaux, en opposition aux stocks assurés par les fruitiers. Les arbres dits forestiers et culturels sont associés aux forêts originelles. Les stocks de C assurés par la strate H sont corrélés aux stocks totaux. Ces derniers sont associés aux parcelles établies sous forêt mais aussi aux parcelles âgées de 40 à 60 ans. Ces parcelles sont notamment plus proches des forêts originelles en termes de stockage et de peuplement (selon leur usage). Enfin, les arbres fruitiers ne sont pas corrélés aux stocks de C totaux. Les stocks assurés par les arbres fruitiers semblent être associés aux parcelles établis sur savane (Figure 16).

On a vu que la strate H assurée plus de 50 % des stocks de C, strate HH hautement liée au stade [40 ; 60]. De plus, les SAFforêt au stade de [40 ; 60] sont proches aux forêts TS par leur composition et leur stocks.

- **Estimations des stocks de C par chronoséquence**

Les estimations du C stocké par la biomasse totale des arbres vivants ont été calculées en fonction du précédent cultural et l'âge du système. Une cacaoyère immature sous forêt, âgée de moins de 10 ans, stocke en moyenne 70 tonnes contre 32 tonnes de C à l'hectare pour les cacaoyères sur savane. Une cacaoyère mature sous forêt, âgée de 10 à 20 ans, stocke en moyenne 84 tonnes contre 50 tonnes de C à l'hectare pour les cacaoyères sur savane. Une cacaoyère mature sous forêt, âgée de 20 à 40 ans, stocke en moyenne 82 tonnes contre 62 tonnes de C à l'hectare pour les cacaoyères sur savane. Alors qu'une cacaoyère mature sous forêt âgée de 40 à 60 ans, stocke en moyenne 125 tonnes sous forêt contre 65 tonnes sur savane. Enfin, une cacaoyère vieillissante sous forêt, âgée de plus de 60 ans, stocke en moyenne 66 tonnes contre 78 tonnes de C à l'hectare pour les cacaoyères sur savane (Figure 17).

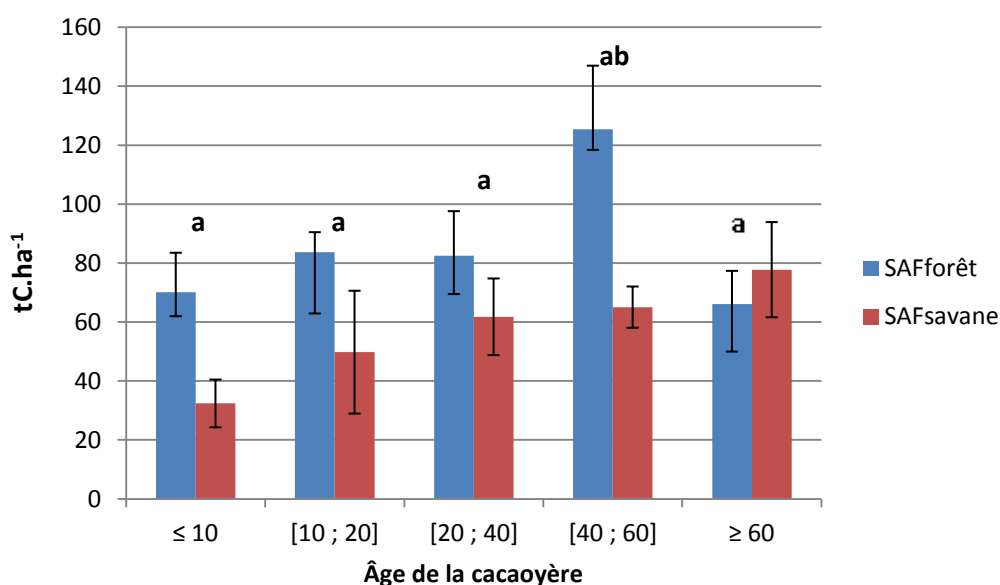


Figure 17: Estimation du C moyen stocké dans les cacaoyères en fonction de l'âge des parcelles et intervalles de confiances (avec TS=b).

Le potentiel de stockage des SAFs est hautement lié au potentiel de stockage des arbres associés. L'évolution des stocks totaux selon l'âge de la plantation suivent l'évolution du peuplement associé de DHP>30 (Figure 17, Figure 18 et Figure 19).

Les classes d'âge des SAFs ne présente pas de différence en fonction du C stocké par les arbres de DHP>30 (Tableau 4). Les stocks initiaux assurés par ces derniers sont de 62 de tonnes sous forêt contre 22 tonnes de C à l'hectare sur savane. Sous forêt, les stocks moyens atteignent leur maximum lorsque les cacaoyères sont âgées de 40 à 60 ans (Figure 18). Sur savane une hausse des stocks de carbone est visible au cours du temps (Figure 19). La courbe de tendance permet de suivre l'évolution des stocks moyens de C des cacaoyères établies sur savane. Le coefficient de corrélation ( $R^2$ ) est de 0,99. L'équation logarithmique

est donc fiable pour 99 % des stocks moyens de C au sein de la chronoséquence. Au stade  $\geq 60$ , le C stocké par la biomasse des arbres de DHP>30 atteint en moyenne 62,2 tonnes sur savane contre 50,8 tonnes sous forêt. Cela représente 80 % des stocks totaux sur savane contre 77 % sous forêt.

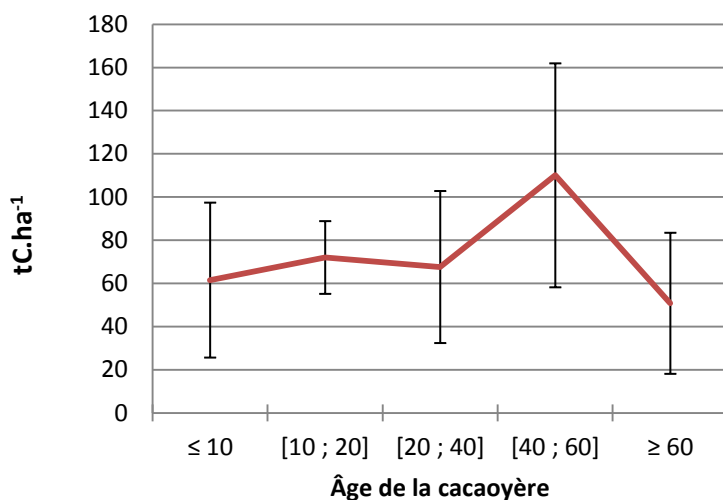


Figure 18: Evolution du C moyen stocké par le peuplement associé (DHP>30 cm) des cacaoyères établies sous forêt.

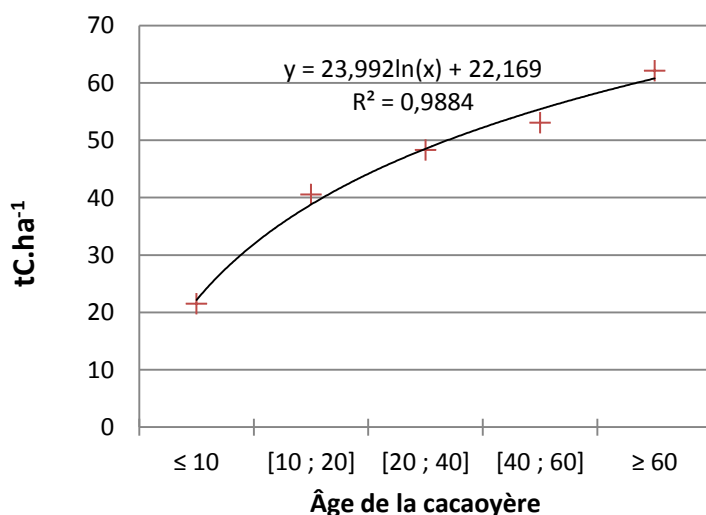


Figure 19: Evolution du C moyen stocké par le peuplement associé (DHP>30 cm) des cacaoyères établies sur savane.



- **Effet sur le nombre d'individu à l'hectare**

Chez les SAFforêt, une hausse du nombre d'individu à l'hectare est observée (Figure 20). Il semble que l'augmentation soudaine des stocks de C au stade [40 ; 60] (Figure 18) soit liée à l'augmentation du nombre d'individu à l'hectare. Le nombre d'arbres à l'hectare introduit sur savane reste stable lorsque les SAFs atteignent l'âge de 20 ans (Figure 20). En moyenne, on passe de 33 à 37 arbres à l'hectare, contre 58 à 40 arbres à l'hectare entre le stade [40 ; 60] à  $\geq 60$  dans les SAFs établis sous forêt.

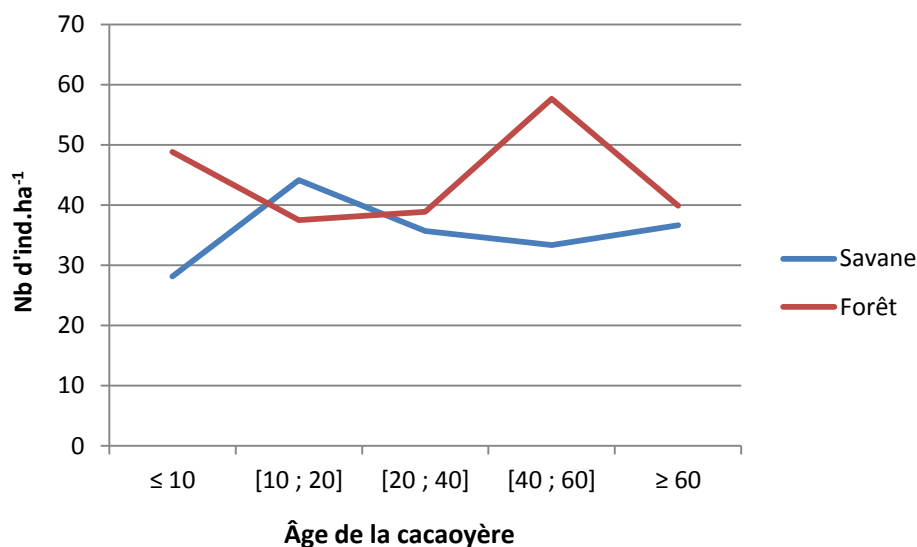


Figure 20: Densité moyenne du peuplement associé (DHP > 30 cm) dans les SAFs établis sous forêt et sur savane.

Le nombre d'arbres de DHP>30 est initialement plus faible dans les SAFsavane. Cependant, le peuplement associé aux cacaoyers, dans un premier temps introduit par l'agriculteur, parvient à égaler ou dépasser le potentiel de stockage de C des SAFs établis sous forêt.

- **Effet sur la composition du peuplement associé**

Au stade immature, dans les SAFsavane, la part de stockage assurée par les arbres fruitiers domine celle assurée par les arbres forestiers. A contrario, dans les SAFforêt, la part de stockage assurée par les arbres fruitiers est dominée par celle des arbres forestiers. Chez les cacaoyères vieillissantes, on constate que les peuplements tendent à s'équilibrer (Figure 21). Ainsi, le peuplement des SAFs établis sur savane tend à ressembler à celui sur forêt.

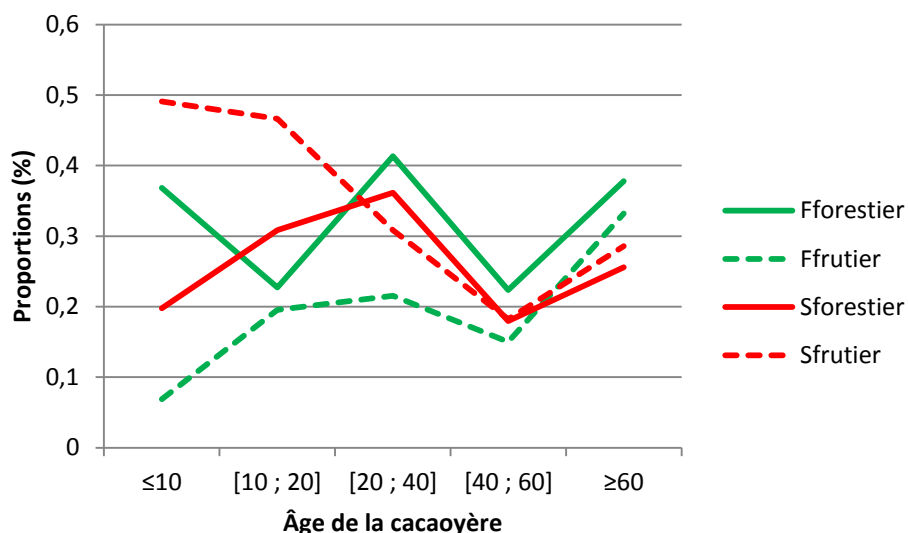


Figure 21: Evolution du peuplement associé à usage "Fruitier" et "Forestier" des SAFs où la courbe verte correspond au précédent "Forêt" et la courbe rouge correspond au précédent "Savane"

#### 4.3 Comparaison aux témoins

En terme de stockage de C, les TF sont bien différents des TS. Dans la zone de transition forêt-savane, les forêts étudiées stockent en moyenne 121,07 tonnes contre 8,93 tonnes de C à l’hectare pour les savanes (Figure 13).

La proportion de C stocké par les SAFs en fonction du C stocké par les TS a été calculés. Il s’agit du ratio entre les stocks moyens des SAFs (par classe d’âge et par précédent) et les stocks moyens des TF.

Tableau 5: Pourcentage du potentiel de stockage de la biomasse vivante des arbres des SAFs en fonction d'une forêt originelle.

Cacaoyère	Classe d’âge	Précédent culturel	
		Forêt (%)	Savane (%)
Immature	≤ 10	57,89	26,75
Mature	[10 ; 20]	69,17	41,11
	[20 ; 40]	68,13	51,02
	[40 ; 60]	<b>103,57</b>	53,74
Vieillissante	≥ 60	54,58	64,08

Les parcelles établies sur savane atteignent leur potentiel maximum de stockage lorsque ces dernières sont jugées « vieillissantes » où les stocks de C correspondent à 64 % de ceux d’une forêt originelle. Quant aux parcelles établies sur forêt, elles atteignent leur maximum de stockage à maturité où les stocks de C des cacaoyères, âgées de 40 à 60 ans, correspondent à 104 % de ceux d’une forêt originelle. Cependant, les stocks diminuent

fortement une fois les parcelles « vieillissantes ». Dans tous les cas le stockage de C est permis par le peuplement associé et non par les cacaoyers.

Indépendamment de l'âge du système, les SAFforêt et SAFsavane stockent en moyenne respectivement 71 % et 47 % du C stocké par la biomasse des forêts originelles. Ce déficit sur savane est lié à l'âge du peuplement associé, souvent de même âge que la cacaoyère. En effet, peu d'arbres de taille importante sont initialement présents dans les savanes.

La mise en place d'un SAFs cacaoyers sous forêt génère des pertes de stockage de C dans la biomasse aérienne et souterraine des arbres par rapport aux forêts originelles. Cependant, leur implantation sur savane génère des gains en termes de stockage. Le tableau 6 présente le ratio entre le C stocké par les SAFsavane et le C stocké par les TS.

Tableau 6: Pourcentage de gain de C dans la biomasse vivante des arbres dans les SAFs établis sur Savane

Cacaoyère	Classe d'âge	Précédent cultural
		Savane (%)
Immature	≤ 10	362,60
Mature	[10 ; 20]	557,33
	[20 ; 40]	691,71
	[40 ; 60]	728,56
Vieillissante	≥ 60	870,66

A la lecture des tableaux 5 et 6, les pertes de C sont largement compensées par les gains de stockage de C dans la biomasse aérienne et souterraine engendrés par la transformation d'une savane en cacaoyère. Les estimations des stocks moyens de C des SAFs, en fonction du précédent cultural et de l'âge du système, sont de manières générales inférieures à celles des forêts originelles (sauf pour les SAFs âgés de [40 ; 60] établis sous forêt) mais sont supérieures à celles des savanes.

Au stade immature, les SAFforêt stockent plus que les SAFsavane. L'évolution des SAFsavane conduit à se rapprocher des stocks de C d'une forêt originelle. Les SAFs ne parviennent pas à atteindre le potentiel de stockage des forêts. On ne peut valider l'hypothèse 1. Cependant, devant la rareté des terres forestières non exploitées dans le Centre Cameroun, les cultivateurs sont contraints de créer des SAFsavane. Cette dynamique conduit à un gain de stockage du C.

De plus, les arbres associés initialement présents sur dans les SAFforêt influent grandement le potentiel de stockage des SAFs. Cependant, des différences ont été observées chez les cacaoyères dites vieillissantes, alors que les SAFforêt semblent se dégénérer, les stocks des SAFsavane continue de croître. Ainsi, il semble que les arbres associés des SAFforêt aient tendance à être exploités par les agriculteurs. On peut conclure que le précédent cultural

influe dans un premier temps en faveur du stockage de C des SAFforêt puis à long terme en faveur du stockage de C dans les SAFsavane. On a vu que les stocks de C été assurés par les arbres associés de DHP>30 au peuplement cacaoyer. C'est pourquoi l'âge du SAF influe le stockage de C que dans le cas des SAFsavane. On peut donc conclure que considéré comme seul critère l'âge n'influe pas sur le stockage du C au sein des SAFs. On ne peut rejeter entièrement l'hypothèse 2.

Aucune différence n'a été observée à propos de la biodiversité des SAFs établis sur savane ou sous forêt. L'équilibre entre les peuplements classés par usage est plutôt similaire d'un système à l'autre. On ne peut pas conclure sur l'hypothèse 3, quant à l'influence de l'agrobiodiversité sur le stockage de C.

Partie 5 : Discussion des résultats
-------------------------------------

Les estimations du C stocké par la biomasse des arbres vivants des SAFs sont cohérentes par rapport à celles mesurées par (Duguma et al., 2000), (Gockowski et al., 2011) et (Wade, et al., 2010). Les résultats ont démontré qu'en moyenne, les SAFs établis sur forêt stockent respectivement 71 % du C stocké par la biomasse des forêts originelles contre 62 % selon (Kotto-Same et al., 1997). Cette hausse peut être expliquée par les estimations de C des forêts primaires et des jachères forestières sont supérieurs à celles des témoins « Forêt » de l'étude. En effet, au Cameroun, les stocks de C d'une jachère forestière (âgée de 10 à 20 ans) ont été estimés à 200 tonnes contre 121 tonnes de C à l'hectare dans l'arrondissement de de Bokito. Bien que ces estimations correspondent toutes à la zone écologique des forêts humides d'Afrique Centrale, seule la zone d'étude est localisée dans la zone de transition forêt-savane. Les estimations des SAFs sur savane ne sont donc pas comparables avec les études recensées dans la partie 2. En outre des zones écologiques, le protocole de mesure des stocks de C varie d'une étude à l'autre. L'intérêt de l'étude consiste à comparer les systèmes au sein d'une même zone écologique sur un même ordre de grandeur.

La Figure 22 présente les principaux problèmes rencontrés lors de l'estimation des stocks de C par parcelle. L'estimation de la biomasse aérienne repose sur des caractéristiques dendrométriques telles que le diamètre et la hauteur ainsi que sur la densité du bois. La mesure de la hauteur et le diamètre des arbres sont réalisées manuellement et la marge d'erreur reste importante. L'identification des essences par le nom scientifique est importante pour l'estimation des stocks. Elle permet d'associer une densité du bois spécifique à l'essence ou à la famille. Dans certains cas, bien que les arbres aient été reconnus par leur nom scientifique aucune densité n'a pu être trouvée dans la littérature. Pour les arbres de DHP>30, représentant la part plus importante des stocks de C, une densité moyenne par parcelle a été utilisée dans 18 % des cas, contre 25 % dans les témoins « forêt ». Par la suite il serait recommandé d'identifier chaque essence à l'aide d'un botaniste, dans de nombreux cas l'étude ne connaît que le nom vernaculaire renseigné par les agriculteurs locaux.

Le C stocké par la biomasse des palmiers n'a pas été pris en compte. Les palmiers représentent en moyenne 6 % des arbres présents dans les SAFs sous forêt et 12 % dans les SAFs sur savane. Les estimations de C ont été sous estimés en défaveur des SAFs établis sur savane. Une plantation de palmier à huile stocke environ 25 tonnes de C à l'hectare (Lamade & Bouillet, 2005).

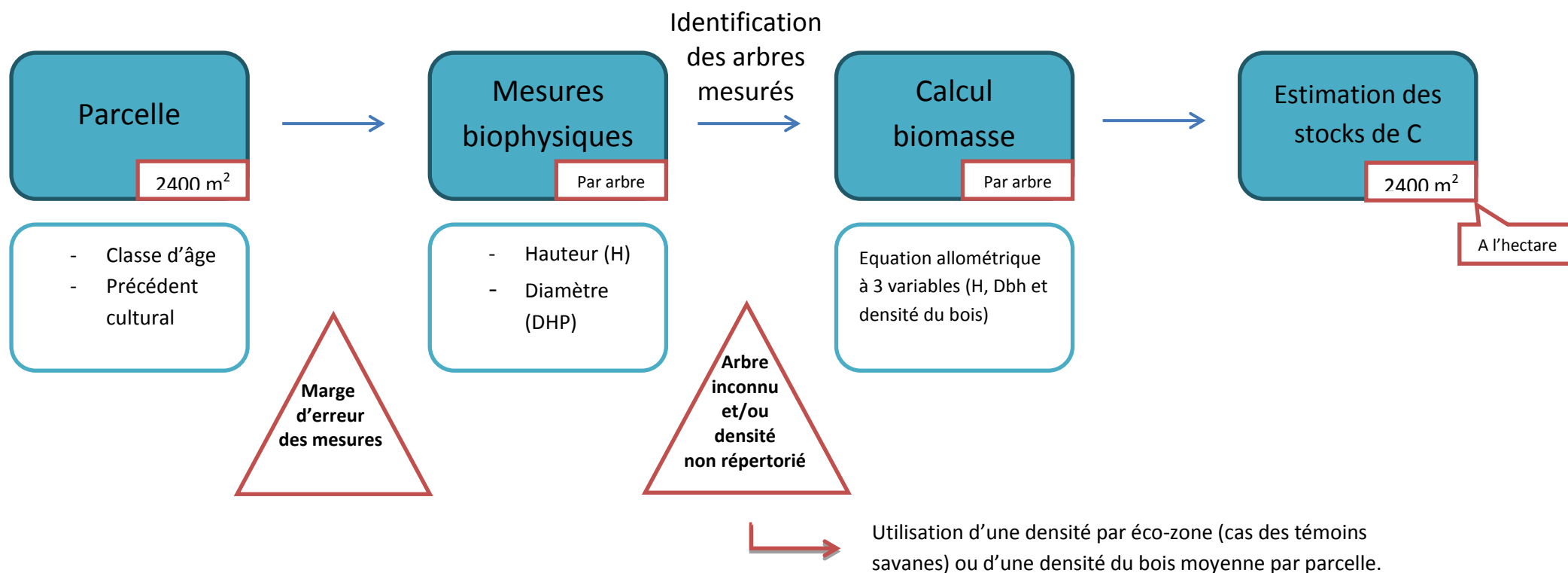


Figure 22: Aléas méthodologiques et marges d'erreur pour l'estimation des stocks de C des SAFs cacaoyers et des parcelles témoins.

Les résultats ont démontré une baisse des capacités de stockage des SAFs établis sous forêt et âgés de plus de 60 ans. A contrario, ce phénomène n'a pas été observé chez les SAFs établis sur savane. De manière générale, dans les SAFs établis sur savane les arbres sont introduits alors que dans les SAFs établis sous forêt de nombreux arbres sont conservés. On peut se questionner sur l'âge moyen du peuplement associé dans ces deux systèmes. Cependant, il apparaît que l'évolution du peuplement cacaoyer n'est pas la même d'un système à l'autre. En effet, le C stocké par les cacaoyers des SAFs âgés de 40 à 60 ans, atteint environ 11 tonnes sur savane et sous forêt. Cependant, pour les SAFs âgés de plus de 60 ans, les stocks de C sont de 9 tonnes sous forêt contre 11 tonnes sur savane (Figure 23). L'âge du SAF correspond à la mise en place de la cacaoyère et donc à l'introduction des premiers cacaoyers. Les SAFs sont un système en perpétuel évolution et tous les cacaoyers n'ont pas le même âge en raison des activités de redensification.

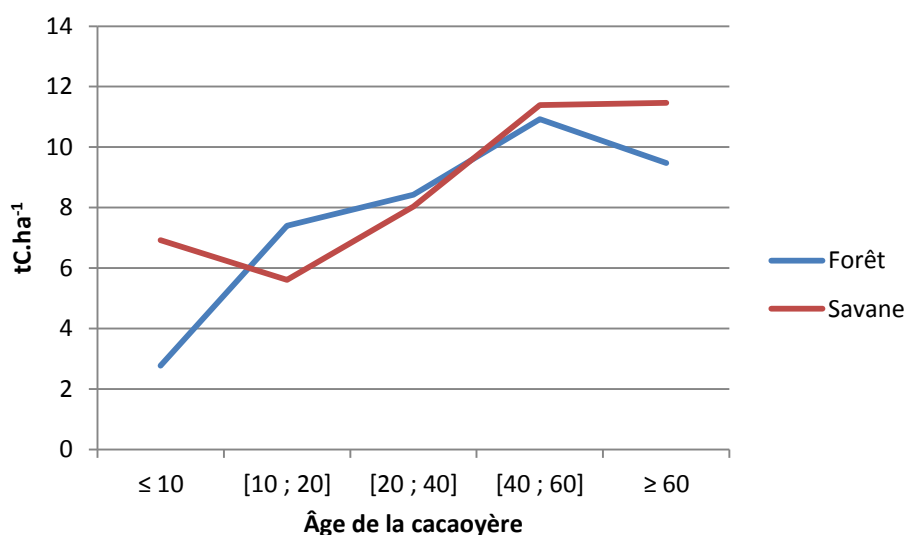


Figure 23: Evolution du C stocké par la biomasse du peuplement cacaoyer des SAFs sous forêt et sur savane.

Au regard de l'évolution du peuplement cacaoyer, il serait intéressant de comparer l'évolution de la fertilité des sols en fonction des deux précédents culturaux. Ceci pourrait être réalisé par la mesure de la matière organique du sol, élément important pour l'estimation de la qualité des sols tropicaux.

La biodiversité et la complexité des SAFs influent sur les capacités de stockage du C. Il aurait été intéressant de rentrer plus en profondeur dans les capacités de stockage par essence. En effet, certaines espèces comme l'iroko, *Milicia excelsa*, aurait la faculté de piéger du C dans le sol par la biominéralisation de la calcite ( $\text{CaCO}_3$ ) (Braissant et al., 2004). Au niveau de la séquestration du C, la calcite est plus stable que le C organique. En effet, la décomposition de la matière organique du sol est très rapide en climat humide. Il s'agit donc d'un point fort

pour la captation du CO<sub>2</sub> et la création de puits de C. L'iroko est fréquemment introduit ou conservé dans les SAFs cacaoyers et les agriculteurs lui reconnaissent des propriétés agronomiques par son influence sur la fertilité des sols.

Le stockage du C est un facteur important de biodiversité. Cependant, on peut se demander si le stockage du C dans les SAFs est compatible avec l'élévation des rendements cacaoyers. Plusieurs questions ont déjà été énoncées (Somarriba et al., 2013) afin d'optimiser le stockage de C et les rendements de cacao. A première vue, on a vu que les systèmes à haut potentiel de stockage avaient des rendements moindres (Gockowski et al., 2010). Dans ce cas les stocks de C apparaissent comme un bon moyen de prédire les rendements cacaoyers. Cependant des différences ont été observées d'un système SAF à l'autre. En effet, il convient de caractériser la canopée des arbres associés, la morphologie des feuilles pouvant avoir une influence sur la transmission des rayons lumineux. En outre de l'étude de la canopée des arbres d'ombrage, il serait intéressant d'établir une densité idéale de cacaoyers à l'hectare par rapport au peuplement associé. Ces questions ont pour objectif d'assurer un rendement en cacao et un stockage de C optimal. Ainsi par la suite, l'étude devrait intégrer l'estimation des rendements.

L'étude a démontré que les stocks initiaux étaient différents en fonction du précédent cultural et cela par la présence des arbres associés. Cependant, l'évolution du peuplement cacaoyer et associé conduit à équilibrer les stocks de C des SAFs. On peut néanmoins se questionner sur la structure de l'ombrage d'un système à l'autre et donc de leur influence sur les rendements. Selon (Jagoret et al., 2012), les rendements d'un système à l'autre sont les mêmes.



Conclusion et perspectives
----------------------------

Les estimations du C stocké par la biomasse des arbres présents dans les SAFs ont mis en évidence que les cacaoyers ne contribuent pas au stockage du C. Le stockage est assuré par le peuplement associé. Dans la zone de transition savane-forêt, les SAFs établis sur savane possèdent les mêmes capacités de stockage que ceux établis sous l'ombrage naturel de la forêt.

Les capacités de stockage de C sont dépendantes des choix et pratiques des agriculteurs. Les cacaoyers ne contribuent pas au stockage du C mais leur culture dans des systèmes traditionnels permet l'augmentation de la séquestration du C par la biomasse aérienne et souterraine des arbres. Les SAFs sont ainsi à valoriser pour la conservation de la biodiversité et pour la création de puits de C. En plus de générer de nombreux services écosystémiques, les SAFs assurent la production de cacao marchand.

Le potentiel élevé de l'agroforesterie a été de nombreuses fois reconnu. Notamment dans le cas où le carbone séquestré offrirait un revenu supplémentaire aux agriculteurs (Dixon, 1995). Cette prime encouragerait les agriculteurs à la mise en place de pratiques durables, en complément de la sécurité alimentaire.

Le haut potentiel de stockage de C va à l'encontre des hauts potentiels de rendement cacao. Cependant, une étude de la canopée des arbres associés permettraient de développer des systèmes alliant performances de rendements et de stockage de C. Afin de déterminer les capacités de séquestration du C dans le sol, l'étude sera suivie de relevés de sols dans les parcelles. Il serait intéressant de comparer la qualité des sols des SAFs établis sur savane et sous forêt. En effet, bien que le captage du C soit plus important par la biomasse des arbres, il n'est pas définitif, les arbres pouvant être détruits et/ou exploités. Ce phénomène a été mis en lumière dans les cacaoyères vieillissantes.

L'augmentation de la cacaoculture a été permise au dépend de la forêt. Cependant, dans l'arrondissement de Bokito, la perte de C engendrée par la culture du cacao sous forêt est largement compensée par la mise en place de SAFs sur savane.

Dans le contexte économique et climatique actuel, l'enjeu est d'allier performance et durabilité des systèmes agronomiques. Tout particulièrement dans le cas où la séquestration du C par les agroécosystèmes aurait la capacité de limiter les impacts du changement climatique en séquestrant le C atmosphérique.

## Références bibliographiques

- Agence Française de Développement. (1er trimestre 2013). *Produit Doc, Le bulletin des matières premières*. Paris: Département de la recherche.
- Agritrade. (2012). *Note de Synthèse: Secteur cacao*.
- Ahenkorah, Y., Halm, B., Appiah, M., Akrofi, G., & Yirenkyi, J. (1987). Twenty years' results from a shade and fertiliser trial on Amazon cocoa in Ghana. *Experimental Agriculture* 23 , 31-39.
- Akinnifesi, F., Muys, B., & Ajayi, O. (2009). L'Afrique a besoin de l'agroforesterie pour arrêter les émissions des forêts. *Rapprocher la science et le développement* .
- Alary, V. (1996). La libéralisation de la filière cacaoyère vue et vécue par les planteurs du Cameroun. *Revue Région et Développement* .
- Albretch, A., & Serigne, T. K. (2003). Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 99 , 15-27.
- Braissant, O., Cailleau, G., Aragno, M., & Verrecchia, E. (2004). Biologically induced mineralization in the tree *Milicia excelsa* (Moraceae): its causes and consequences to the environment. *Geobiology*, 2 , 59-66.
- Braudeau, J. (1969). *Le cacaoyer. Collection Techniques agricoles et productions tropicales*. Paris: Maisonneuve et Larose.
- Brown, S. (2002). Measuring carbon in forests: current status and future challenges. *Environ, Pollut.* 116 , 363-372.
- Bulter, R. A. (2013). Deforestation rate falls in Congo Basin countries. *mongabay.com* .
- Burle, L. (1961). *Le cacaoyer. Tome premier*. Paris: Larose.
- Cairns, M. A., Brown, S., Helmer, E., & Baumgardner, G. (1997). Root biomass allocation in the world's upland forest. *Oecologia* (111) , 1-11.
- Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M. A., Chmabers, J. Q., Eamus, D., et al. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia* (145) , 87-99.
- CIRAD / IRD / AIRD. (2012). *Recherche de compromis entre productions et services écosystémiques fournis par les systèmes agroforestiers (SAFSE) - Document Principal*.
- De la Chesnais, E. (2009). Le cours du cacao atteint des records. *Le Figaro* .
- Dixon, R. (1995). Agroforestry systems: sources or sinks of greenhouse gases? *Agroforestry Systems* (31) , 99-116.
- Duguma, B., Gockowski, J., & Bakala, J. (2000). *Smallholder Cacao cultivation in agroforestry systems of West Africa challenges and opportunities*.

- Etoa, P. (23-27 mars 2009). Les mesures prises par le gouvernement pour parvenir à une économie cacaoyère durable. Cas du Cameroun. *Table ronde sur l'économie cacaoyère mondiale durable*. Port of Spain, Trinidad et Tobago.
- FAO. (2011). Carbon stock under four land use systems in three varied ecological zones in Ghana. *Africa and the Carbon Cycle*, 105-113.
- FAO. (2010). *Evaluation des ressources forestières mondiales*.
- FAO Forestry Paper. (1997). *Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: a Primer*. Rome.
- FAO. (2004). *Perspectives à moyen terme pour les produits agricoles - Projection vers l'an 2010*. Rome.
- FAO. (1985). *RESSOURCES GÉNÉTIQUES FORESTIÈRES n°14*. Rome.
- Filipski, M., Colin, J.-P., & Seignobos, C. (2007). Émergence et évolution des droits de propriété dans un contexte d'abondance foncière. Le cas du pays yambassa (Cameroun). *Cahiers Agricultures* 16 (5), 387-393.
- GIEC. (2003). *Recommandations en matière de bonnes pratiques pour le secteur de l'utilisation des terres, changements d'affectation des terres et foresterie*. Kanagawa: IGES.
- GIEC. (2007). *Bilan 2007 des changements climatiques*. Genève.
- Gockowski, J., & Sonwa, D. (2011). Cocoa Intensification Scenarios and Their Predicted Impact on CO2 Emissions, Biodiversity Conservation, and Rural Livelihoods in the Guinea Rain Forest of West Africa. *Environmental Management*, 307-321.
- Gockowski, J., Tchatat, M., Dondjang, J., Hietet, G., & Fouda, T. (2010). An empirical analysis of the biodiversity and economic returns to cocoa agroforests in Southern Cameroon. *J. sustain. For.* (29), 638-670.
- Hairiah, K., Dewi, S., Agus, F., Velarde, S., Ekadinata, A., Rahayu, S., et al. (2010). *Measuring Carbon Stocks. Across Land Use Systems: A manual*. Bogor, Indonesia: World Agroforestry Centre (ICRAF).
- Hamon, X., Dupraz, C., & Liagre, F. (2009). *L'agroforesterie: Outil de Séquestration du Carbone en Agriculture*.
- Hanak Freud, E., Petithuguenin, P., & Richard, J. (2000). *Les champs du cacao. Un défi de compétitivité Afrique-Asie*. Paris: Karthala.
- Henry, M., Picard, N., Trotta, C., Manlay, R., Valentini, R., Bernoux, M., et al. (2011). Estimating tree biomass of sub-saharan African forests: a review of available allometric equations. *Silva Fennica* 45 (3B), 477-569.
- Hooper, D., Chaplin, I. S., Eel, J., & Hector, A. (2005). Effects of biodiversity on ecosystem functioning: A consensus of current knowledge. *Ecological Monographs* (75), 3-35.
- ICCO. (2013). *Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics*.

Icraf. (1993). *Annual Report*. Nairobi, Kenya.

Jagoret, P. (2011). *Analyse et évaluation des systèmes agroforestiers complexes sur le long terme: Application aux systèmes de culture à base de cacaoyer au Centre Cameroun*.

Jagoret, P., Michel-Dounias, I., Snoeck, D., Todem Ngnogué, H., & Malézieux, E. (2012). *Afforestation of savannah with cocoa agroforestry systems: a small-farmer innovation in Central Cameroon*.

Jagoret, P., Todem Ngogue, H., Bouambi, E., Battini, J.-L., & Nyassé, S. (2009). Diversification des exploitations agricoles à base de cacaoyer au Centre Cameroun: mythe ou réalité? *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 13 , 271-280.

Kotto-Same, J., Woomer Moukam, A., & Zapfack, L. (1997). Carbon dynamics in slash and burn agriculture and land use alternatives in the humid forest zone of Cameroon. *Agriculture, Ecosystems and Environment* , 245-256.

Lamade, E., & Bouillet, J. (2005). Carbon storage and global change : the role of oil palm. *Oléagineux Corps gras Lipides (vol.12, n°2)* , 154-160.

Lipchitz, A., & Pouch, T. (2008). Les mutations des marchés mondiaux du café et du cacao . *Géoéconomie (n° 44)* , 101-124.

Losch, B., Fusillier, J., & Dupraz, P. (1990). *Stratégies des productions en zone caféière et cacaoyer du Sud Cameroun: Quelles adaptations à la crise?* Montpellier: CIRAD, Département Systèmes Agraires.

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.

Montagnini, F., & Nair, P. (2004). Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. *Agroforestry Systems (61)* , 281-295.

Mossu, G. (1990). *Le cacaoyer*. Maisonneuve et Larose.

Nair. (2012). *Carbon sequestration studies in agroforestry systems*:. *Agroforest Syst* (2012).

Nair. (2012). Carbon sequestration studies in agroforestry systems: a reality-check. *Agroforest Syst* .

Nair, P. K. (2012). Carbon sequestration studies in agroforestry systems: a reality-check. *Agroforest Syst (86)* , 243-253.

Ndoye, O., & Kaimowitz, D. (2000). Macro-economics, markets and the humid forests of Cameroon. *J. mod. Afr. Stud.*(38) , 225-253.

(2010). *PCP, Pôle de compétences en Partenariat, Agroforesterie Cameroun*.

Programme ONU-REDD. (2011). *Stratégie du Programme de collaboration des Nations Unies sur la réduction des émissions liées à la déforestation et à la dégradation des forêts dans les pays en développement: 2011-2015*. Genève: Maison Internationale de l'Environnement.

Ruf, F., & Schroth, G. (1995). Chocolate Forests and Monocultures: A historical Review of Cocoa Growing and Its Conflicting Role in Tropical Deforestation and Forest Conservation. *Agroforestry and Biodiversity Conservation in Tropical Landscapes* , 107-133.

Santoir, C., & Bopda, A. (1995). *Atlas régional Sud-Cameroun*. Paris: Orstom.

Somarriba, E. C., Luis, O., & Cifuentes, M. (2013). Carbon stocks and yields in agroforestry systems of Central America. *Agriculture, Ecosystems and Environnement (173)* , 46-57.

Thangata, P. H., & Hildebrand, P. (2012). Carbon stock and sequestration potential of agroforestry systems in smallholder agroecosystems of sub-Saharan Africa: Mechanisms for ‘reducing emissions from deforestation and forest degradation’ (REDD+). *Agriculture, Ecosystems and Environment (158)* , 172–183.

Villiers. (1995). *Atlas régional Sud-Cameroun*. Cameroun: ORSTOM&MINREST.

Vivien, J., & Faure, J. (2011). *Arbres des forêts denses d'Afrique centrale, espèce du Cameroun*. Nguila Kerou.

Wade, A., Asase, A., Hadley, P., Mason, J., Ofori-Frimpong, K., Preece, D., et al. (2010). Management strategies for maximizing carbon storage and tree species diversity in cocoa-growing landscapes. *Agriculture, Ecosystems and Environment 138* , 324-334.

Liste des annexes
-------------------

- Annexe 1: Liste planteurs par parcelles (SAFs et témoins savane et forêt)..... 56
- Annexe 2: Liste des arbres recensés dans les parcelles étudiées ..... 58
- Annexe 3: Fiche exploitation - Enquête de terrain ..... 65
- Annexe 4: Fiche parcelle – Enquête de terrain ..... 67
- Annexe 5: Relevé cacaoyers par parcelle – Enquête de terrain ..... 70
- Annexe 6: Principales architectures de cacaoyers identifiées au Centre Cameroun .. 71
- Annexe 7: Relevé des arbres associés par parcelle – Enquête de terrain ..... 72

## Annexe 1: Liste planteurs par parcelles (SAFs et témoins savane et forêt)

N°	Agriculteur	Nord (°)	Est (°)	Classe d'âge	Année de création	Précédent culturel
1	BIEDI Barthelemy	04.58346	011.15665	40 < age ≤ 60	1969	forêt
2	BIEDI Barthelemy	04.57904	011.16322	> 60	1940	forêt
3	ABOYA Jean-Pierre	04.58400	011.15583	20 < age ≤ 40	1975	savane
4	ABOYA Jean-Pierre	04.58588	011.15542	20 < age ≤ 40	1980	forêt
5	BOYOGENO Thomas	04.58644	011.15718	20 < age ≤ 40	1980	forêt
6	BOYOMO Laurent	04.58643	011.15783	20 < age ≤ 40	1980	forêt
7	BEDHOUNE Robert Paul	04.58476	011.18083	40 < age ≤ 60	1969	savane
8	ONGAGNA Valerie Giscard	04.57701	011.16267	> 60	1920	forêt
9	NESSA Guy Leonard	04.57625	011.18178	> 60	1930	forêt
10	ASSIENE Boniface	04.58234	011.17075	20 < age ≤ 40	1989	savane
11	OMBANG Daniel	04.58853	011.17780	20 < age ≤ 40	1986	savane
12	GUIEGOU Jean Paul	04.58883	011.17730	> 60	1940	savane
13	ABOLOGO Désiré	04.59120	011.17796	> 60	1940	savane
14	OUNOUGOU TOBE Grégoire	04.59196	011.21810	≤ 10	2010	forêt
15	Kosmas			10 < age ≤ 20	1998	savane
16	GUILINGUE Laurent	04.57667	011.21534	40 < age ≤ 60	1966	savane
17	NTSAMA Pascal	04.57035	011.21014	20 < age ≤ 40	1980	forêt
18	BAGOUYANO Sebastien	04.57180	011.14603	> 60	1930	forêt
19	NOUANDA Augustin	04.56998	011.14347	10 < age ≤ 20	2002	forêt
20	BADOUANA Nkama	04.56970	011.14562	≤ 10	2005	forêt
21	BASANENA Simon	04.56998	011.14347	40 < age ≤ 60	1963	forêt
22	BOYOMO Faustin	04.56998	011.14047	10 < age ≤ 20	1998	forêt
23	KENIGOULE Joseph	04.56256	011.13659	≤ 10	2009	forêt
24	KENIGOULE Joseph	04.56650	011.14663	> 60	1930	forêt
25	BADOUANA Jérôme			> 60		forêt
26	OLIMBA Etienne	04.56801	011.14786	10 < age ≤ 20	2000	forêt
27	OLIMBA Etienne	04.56880	011.14777	≤ 10	2003	forêt
28	OLIMBA Etienne	04.56963	011.14788	≤ 10	2005	forêt
29	EKONOMO Lambert	04.57530	011.20248	10 < age ≤ 20	1996	savane
30	EKONOMO Lambert	04.57630	011.20248	≤ 10	2003	savane
31	BAYAGA Jean-Bosco			20 < age ≤ 40	1989	savane
32	BOYOMO Jean-Marie	04.57573	011.19957	20 < age ≤ 40	1980	savane
33	ADEGONO Cybert	04.57354	011.19817	20 < age ≤ 40	1980	savane
34	ABOUEME Michel	04.57001	011.18993	≤ 10	2008	savane
35	NTSAGO Christian	04.59063	011.18288	> 60	1930	savane
36	MASSOGO Michel	04.58955	011.18200	20 < age ≤ 40	1988	savane
37	MASSOGO Michel	04.59225	011.18356	> 60	1950	forêt
38	ONANINA Léandre	04.59191	011.18885	≤ 10	2003	forêt
39	BOYOMO MOUKO Michel	04.57750	011.16388	40 < age ≤ 60	1970	savane

40	KAÏDO Marie			20 < age ≤ 40	1987	forêt
41	ABOUDE Cécile			≤ 10	2004	savane
42	MOUBITANG Jacques	04.56486	011.16658	10 < age ≤ 20	1998	savane
43	AGOUME Alfred	04.57033	011.15668	40 < age ≤ 60	1960	forêt
44	BIDIAS Jean-Paul	04.57263	011.14743	40 < age ≤ 60	1954	savane
45	BIDIAS Jean-Paul	04.57354	011.14606	10 < age ≤ 20	2000	savane
46	MOUGNANO Dieudonné	04.56620		20 < age ≤ 40	1990	forêt
47	KENIGOULE Joseph	04.56015	011.18529	10 < age ≤ 20	2000	forêt
48	BIDIAS Bernard	04.56422	011.15239	10 < age ≤ 20	1996	forêt
49	ANALANG Pascal	04.57974	011.13793	40 < age ≤ 60	1970	forêt
52	MOUDIO Thomas	04.54330	11.14571	≤ 10	2004	savane
53	GUIEGOU Emmanuel			40 < age ≤ 60	1957	forêt
54	BILIBIME Martin	04.55867	11.17436	40 < age ≤ 60	1970	savane
55	MOUTONO François	04.59121	11.17704	> 60	1930	savane
50a	BOSSOMO Germain	04.58044	011.14022	≤ 10	2004	forêt
50b	KENIGOULE Joseph	04.56928	11.14480	> 60	1940	savane
51a	KENIGOULE Joseph	04.56870	011.14498	20 < age ≤ 40	1986	savane
51b	MOUDIO Thomas	04.54338	11.14577	10 < age ≤ 20	2000	savane
F1	famille BOUYONBONO	04.57035	011.21014	-	-	
F2	famille BOUYONBONO	04.57035	011.20383	-	-	
F3		04.59148	011.18706	-	-	
F4		04.58957	011.17415	-	-	
F5	KAÏDO Marie			-	-	
F7	MOUKA Dieudonné	04.57571	11.13606			
S1	BIDIAS Jean-Paul			-	-	
S2	MOGNANO Dieudonné	04.56151	11.13350	-	-	
S3	MOUDIO Thomas	04.55022	11.14612	-	-	
S4	BOYOMO Jean-Paul	04.57472	11.20008	-	-	
S5	MOUKA Dieudonné	04.56968	11.13338	-	-	



Annexe 2: Liste des arbres recensés dans les parcelles étudiées

Nom pilote	Nom vernaculaire Gunu (Yambassa)	Nom scientifique	Densité du bois	Usages	Référence
Abam	Ega	<i>Gambeya lacourtiana</i>	0,71	Associé à la production de chenilles, bois d'œuvre et de chauffage	Prota Database
Acacia	/	<i>Acacia sp.</i>	0,76*		GlobalWoodDensityDatabase
Aiélé	Canarium/Boufédou	<i>Canarium schweinfurthii</i>	0,41	Bois d'œuvre, fruit, encens et fertilité des sols	GlobalWoodDensityDatabase
Akol	Océga	<i>Ficus exasperata</i>	0,34	Médicinal et outil de ponçage	GlobalWoodDensityDatabase
Akpa	Noubongbongo	<i>Tetrapleura tetraptera</i>	0,53		GlobalWoodDensityDatabase
Andok	Ndagné	<i>Irvingia gobonensis</i>	0,78	Amande comestible	GlobalWoodDensityDatabase
Angossa		<i>Markhamia lutea</i>	0,57		Prota Database
Assam	Nounkô	<i>Uapaca guineensis</i>	0,67	Bois d'œuvre	Prota Database
Atom	Boussinou	<i>Dacryodes macrophylla</i>	0,61*	Associé à la production de chenilles, bois de chauffage et ombrage (croissance rapide)	(FAO Forestry Paper, 1997)
Atom koé	Guinkounou	<i>Pseudospondias microcarpa</i>	0,46	Bois de chauffage	GlobalWoodDensityDatabase
Avocatier	Bofia	<i>Persea americana</i>	0,52		GlobalWoodDensityDatabase
Ayous	Oukolo	<i>Triplochyton scleroxylon</i>	0,34	Assèche le sol	GlobalWoodDensityDatabase

Bangbaye	Ompagna	<i>Albizia adianthifolia</i>	0,51	Bois de chauffage, assèche le sol	GlobalWoodDensityDatabase
Bété		<i>Mansonia altissima</i>	0,66		Tropix Cirad
Bitter cola	Nyalé	<i>Garcinia cola</i>	0,74	Fruitier	GlobalWoodDensityDatabase
Bubinga	Boufouni	<i>Guibourbia tessmannii</i>	0,76	Bois d'œuvre	GlobalWoodDensityDatabase
Casmango	Atanga (Ewondo)	<i>Spondias cytherea Sonn.</i>	0,31	Bois de chauffage	GlobalWoodDensityDatabase
Citronier		<i>Citrus limon</i>	0,69	Frutier	GlobalWoodDensityDatabase
Cocotier	Boupondo	<i>Cocos nucifera</i>	0,90	Frutier	Tropix Cirad
Cola du singe	Guibénoubénou	<i>Cola lepidota</i>	0,70*	Frutier (cola)	(FAO Forestry Paper, 1997)
Colatier	Boubénou	<i>Cola nitida</i>	0,70*	Frutier (cola)	(FAO Forestry Paper, 1997)
Cordia d'afrique	Guébabé	<i>Cordia platythyrsa</i>	0,39	Ombrage, bois de chauffage, fabrication de tamtam	GlobalWoodDensityDatabase
Crabwood d'Afrique	Bougogolo	<i>Carapa procera</i>	0,67	Ombrage et production fruit (cola)	GlobalWoodDensityDatabase
Dabema	Guilimé	<i>Piptadeniastrum africana</i>	0,61	Bois d'œuvre	GlobalWoodDensityDatabase
Dragonier	Monambo	<i>Dracena arborea</i>	0,50	Cultuel	(Vivien & Faure, 2011)
Eban		<i>Picalima nitida</i>	0,77	Bois de chauffage	(Vivien & Faure, 2011)
Ebana		<i>Guibourbia demeusei</i>	0,80	Bois d'œuvre	GlobalWoodDensityDatabase
Edjefoc	Guifouguéné	<i>Sterculia tragacantha</i>	0,64	Médicinal	(Vivien & Faure, 2011)
Ekebeng	Nkelé	<i>Elaeophorbia drupifera</i>		Tribal (poison pour les	

				flèches)	
Ekekam	Boussobia	<i>Ficus Sur Forssk</i>	0,44		GlobalWoodDensityDatabase
Evino	Bonêê	<i>Vitex grandifolia</i>	0,42	Bois d'œuvre, fruit et ombrage	GlobalWoodDensityDatabase
Evovone	Guicholochôlo	<i>Spathodea campanulata</i>	0,23	Indique l'arrivée de la saison sèche (fleurs)	GlobalWoodDensityDatabase
Ewolote	Guifigossobo	<i>Bridelia micrantha</i>	0,67	médicinal (traite anémie) et à ne pas brûler car mauvais pour conservation des graines ("facilite la venue des charançons")	GlobalWoodDensityDatabase
Fagara	Ohaya	<i>Fagara heitzii</i>	0,52	Bois d'œuvre et de chauffage	GlobalWoodDensityDatabase
Figuier	Guébotso	<i>Ficus mucuso</i>	0,41	Fertilité des sols et réservoir d'eau, fruits (mangé par les chauves souris) et bois de chauffage	GlobalWoodDensityDatabase
Fraké	Nounko	<i>Terminalia superba</i>	0,46	Bois d'œuvre, fertilité et ombrage	GlobalWoodDensityDatabase
Framiré	Odombio	<i>Terminalia ivorens</i>	0,50	Bois d'œuvre	Tropix Cirad
Fromager	Bougoumé	<i>Ceiba pentandra</i>	0,28	Fertilité des sols et réservoir d'eau	GlobalWoodDensityDatabase
Goyavier		<i>Psidium guajava</i>	0,65	Bois d'œuvre, de chauffage et production de fruit	GlobalWoodDensityDatabase
Hévéa	Keume	<i>Hevea brasiliensis</i>	0,47	Colle traditionnelle et bois de chauffage	GlobalWoodDensityDatabase

Iroko	Tchônou	<i>Milicia excelsa</i>	0,58	Fertilité des sols	GlobalWoodDensityDatabase
Kumbi	Egongo	<i>Lannea welwitschii</i>	0,41	Bois d'œuvre	GlobalWoodDensityDatabase
Lekaleka		<i>Erythrococca sp.</i>		Ombrage et bois de chauffage	
Llomba	Carbote (Eton)	<i>Pycnanthus angolensis</i>	0,41		GlobalWoodDensityDatabase
Mandarinier	Mandalia'a	<i>Citrus reticulata</i>	0,69	Fruitier	GlobalWoodDensityDatabase
Mangier	Boulondo	<i>Mangifera indica L.</i>	0,54	Fruitier	GlobalWoodDensityDatabase
Mbikam	Noingtsé	<i>Newbouldia laevis</i>	0,23*	Indication de lieu (ex: arbre fruitier ou tombe)	GlobalWoodDensityDatabase
Mendjum nkogo	Ouholo	<i>Psychotria sp.</i>	0,50*	Médicinal (favorise lactation)	GlobalWoodDensityDatabase
Ndolé		<i>Vernonia sp.</i>	0,33*	Plat traditionnel à base des feuilles	GlobalWoodDensityDatabase
Njangsang	Guéyiéna	<i>Ricinodendron heudelotii</i>	0,21	Cuisine (condiment)	GlobalWoodDensityDatabase
Obotan	Boukougni	<i>Voacanga africana</i>		Bois de chauffage et médicinal	
Oranger	Boukomgou	<i>Citrus sinensis</i>	0,69	Frutier	GlobalWoodDensityDatabase
Osanga		<i>Pteleopsis hylodendro</i>	0,80		Tropix Cirad
Ossas	Guélonka	<i>Macaranga barterii Mul. Agr.</i>	0,39*	Bois de chauffage	GlobalWoodDensityDatabase
Pachis	Bouanca	<i>Azzeria pachyloba</i>	0,78		Prota Data base
Padouk	Guédondo	<i>Pterocarpus soyauxii</i>	0,66	Ombrage et bois d'œuvre	(Vivien & Faure, 2011)

Palmier	Ibilé	<i>Elaeis guineensis</i>	0,39	Production d'huile et de vin	GlobalWoodDensityDatabase
Pamplemoussier		<i>Citrus grandis</i>	0,59	Fruitier	GlobalWoodDensityDatabase
Papayer	Boupôpô	<i>Carica papaya</i>	0,19*	Fruitier	GlobalWoodDensityDatabase
Parassolier	Guésingua	<i>Musanga cecropioides</i>	0,28		Prota Data base
Ronier		<i>Borassus aethiopum</i>	0,87	Ancien bois œuvre, panier et production fruit	GlobalWoodDensityDatabase
Safoutier	Boukôdo	<i>Dacryodes edulis</i>	0,60	Fruitier	Prota Data base
Sapelli	Opa	<i>Entandrophragma cylindricum</i>	0,57	Médicinal et bois d'œuvre	GlobalWoodDensityDatabase
Tali		<i>Erythrophleum ivorense</i>	0,77	Culturel (pour trouver le coupable), bois d'œuvre (ponts)	GlobalWoodDensityDatabase
Teck	Guilôbio	<i>Tectona grandis</i>	0,60	Bois d'œuvre	GlobalWoodDensityDatabase
/	Ndimonobola	<i>Angylocalyx pynaertii</i>	0,66	Bois d'œuvre	(Lewis et al., 2009)
/	Bougodé	<i>Cola millenii</i>	0,70*	Bois d'œuvre et de chauffage	(FAO Forestry Paper, 1997)
/	Adébolegua	<i>Ficus sp.</i>	0,44*	Ombrage, mychorisant	(Vivien & Faure, 2011)
/	Bouguélou	<i>Ficus vogelii</i>	0,44*	Bois de chauffage	GlobalWoodDensityDatabase
/	Bouôlo	<i>Terminalia glancescens</i>	0,73	Fabrication mortier et médicinal	GlobalWoodDensityDatabase
/	Bouhondo	<i>Trilepisium madagascariensis</i>	0,50	Bois d'œuvre	
/	Boulionmonliomon	/	0,57**	Fruitier	

/	Géba	/	0,57**	Ecorce utilisée pour fermentation traditionnelle du vin de palme (après séchage)	
/	Guégala guétiala	/		Ombrage et médicinal (écorce)	
/	Békiné	/			
/	Bogagala	/		Fruitier et bois d'œuvre	
/	Bohana	/		Bois de chauffage et fabrication arcs	
/	Boumondo	/		Bois de chauffage	
/	Bounébouné	/		Bois de chauffage et médicinal	
/	Boussodi	/			
/	Ebanga	/			
/	Ededon	/		Médicinal (remède paludisme)	
/	Egomna	/		Bois d'œuvre et médicinal (maux de ventre)	
/	Ehasanga	/			
/	Eliane	/	0,57**	Médicinal (anémie)	
/	Gélolo	/	0,57**	Bois de chauffage et médicinal	
/	Guébakabaka	/		Bois de chauffage	
/	Guéboba	/			
/	Guéségué	/		Bois d'œuvre et instrument de musique, bois dur pour manche de la houe	
/	Guéssono	/		Médicinal	

/	Guibélé ungosso	/		Bois de chauffage
/	Guidoulédoulé	/		
/	Guitéguékounou	/		Médicinal (maux de ventre)
/	Ibélé nabagono	/		Médicinal
/	Idouténaba	/		Médicinal
/	Iguéléguélé	/		Médicinal (maux de ventre)
/	Ikéssi	/		Médicinal (laver les reins) et bois de chauffage
/	Iminbo	/		Bois de chauffage
/	Issosso	/		
/	Mohana	/		médicinal et fétiche protecteur
/	Mossiolo	/		Fertilité des sols et médicinal
/	Niténé	/		
/	Nobéna	/		Bois de chauffage
/	Nola	/		
/	Obiniabué	/		

\* : densité du genre, \*\*: densité moyenne des arbres de savane (Henry, et al. 2011)

Annexe 3: Fiche exploitation - Enquête de terrain

**Données générales :**

Nom et prénom \_\_\_\_\_

Ethnie \_\_\_\_\_

Présence  autochtone  allochtone  étranger précisez : \_\_\_\_\_

Age \_\_\_\_\_

Niveau d'étude  illettré  sait lire  sait écrire  primaire  secondaire

Appartenance à une organisation de producteurs :  oui  non

n° des parcelles étudiées chez l'agriculteur : \_\_\_\_\_

**Structure familiale**

Situation matrimoniale  marié  célibataire  polygame (précisez le nombre de femmes)

Activités autres qu'agricole  non  oui  
si oui, laquelle : \_\_\_\_\_

Nombre de personnes vivant chez l'agriculteur	_____	Main d'œuvre familiale travaillant au champ	
Nombre de personnes à charge	_____	Hommes	nombre
Nombre d'hommes > 18 ans	_____	Femmes	nombre
Nombre de femmes > 18 ans	_____	Enfants	nombre
Enfants	_____		

Main d'œuvre salariée exploitation \_\_\_\_\_  
Main d'œuvre salariée cacaoculture \_\_\_\_\_

**Les terres de l'exploitation**

**SURFACE TOTALE DES TERRES** \_\_\_\_\_

surface (ha)

surface (ha)

Terres reçues en location \_\_\_\_\_

Terres en propriété par héritage \_\_\_\_\_

Terres données en location \_\_\_\_\_

Terres en propriété par achat \_\_\_\_\_

Terres reçues en métayage \_\_\_\_\_

Terres en propriété par don \_\_\_\_\_

Terres données en métayage \_\_\_\_\_



**ASSOLEMENT**

	surface (ha)		surface (ha)
Cacao	_____	plantains	_____
Café	_____	jachères	_____
Palmier	_____	forêt	_____
Hévéa	_____	autres	_____

**CACOYERES**

	surface (ha)	âge	production moyenne	atouts / contraintes de la parcelle
Parcelle n°1				
Parcelle n°2				
Parcelle n°3				
Parcelle n°4				
Parcelle n°5				
Parcelle n°6				
Parcelle n°7				
Parcelle n°8				
Parcelle n°9				
Parcelle n°10				

Annexe 4: Fiche parcelle – Enquête de terrain

N° parcelle

Coordonnées GPS

**Informations générales**

	date	superficie		date(s)
<b>mise en place</b>	_____	_____	recepape	_____
1ère extension	_____	_____	redensification	_____
2ème extension	_____	_____	régénération	_____

**Superficie totale actuelle :** \_\_\_\_\_

**Précédent culturel :**     
 forêt                             
 jachère sur forêt                     
 autre culture  
 savane                             
 jachère sur savane                     
 si oui, laquelle : \_\_\_\_\_

**Les cacaoyers**

	kg cacao marchand ou	nb cabosses
<b>Production moyenne en cacao de la parcelle</b>		
	2010 _____	_____
	2011 _____	_____
	2012 _____	_____

**densité de plantation cacaoyers :**     
 \_\_\_\_\_ m X \_\_\_\_\_ m     
 (estimez vous-même si nécessaire)

**Récolte de TOUS les cacaoyers:**     
 oui                             
 non, si c'est le cas pourquoi : \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 pourcentage non récolté : \_\_\_\_\_

**A quelle période la production est elle la plus forte :**     
 de \_\_\_\_\_ à \_\_\_\_\_

	date
<b>Combien de récoltes par an (donner une date pour chacune des récoltes)</b>	
:	récolte 1 _____
	récolte 2 _____
	récolte 3 _____

**Taille/entretien des cacaoyers** :     
 oui                             
 non

**Origine du matériel végétal :**     
 allemand                             
 hybride  
 criollo                             
 autre / inconnu

**Type de semis :**  direct  
 pépinière plein champ  
 pépinière sachets

**Utilisation d'engrais :**  non  oui qté /an  
 si oui  engrais de synthèse \_\_\_\_\_  
 engrais organique \_\_\_\_\_  
 autres \_\_\_\_\_

**Désherbage :**  non  oui si oui :  manuel  chimique  
 nb /an \_\_\_\_\_ nb /an \_\_\_\_\_

**Attaques mirides :**  forte  
 moyenne  
 faible

**dégats pourriture brune :**  forts  
 moyens  
 faibles

**Présence dye back :**  oui  
 non

**Niveau d'ombrage estimé :**  faible  
 moyen  
 fort

**Les productions associées**

**plantes annuelles :**

nom	qté /an	vente (oui/non)	autoconsommation (oui/non)

**plantes pérennes :**  
(arbres et arbustes)

nom	nb individus	qté /an	vente (oui/non)	autoconsommation (oui/non)

**Entretien des arbres associés producteurs :**  oui  non

**Date de mise en place des cultures pérennes :**

- avant les cacaoyers date \_\_\_\_\_
- en même temps que les cacaoyers
- après les cacaoyers date \_\_\_\_\_

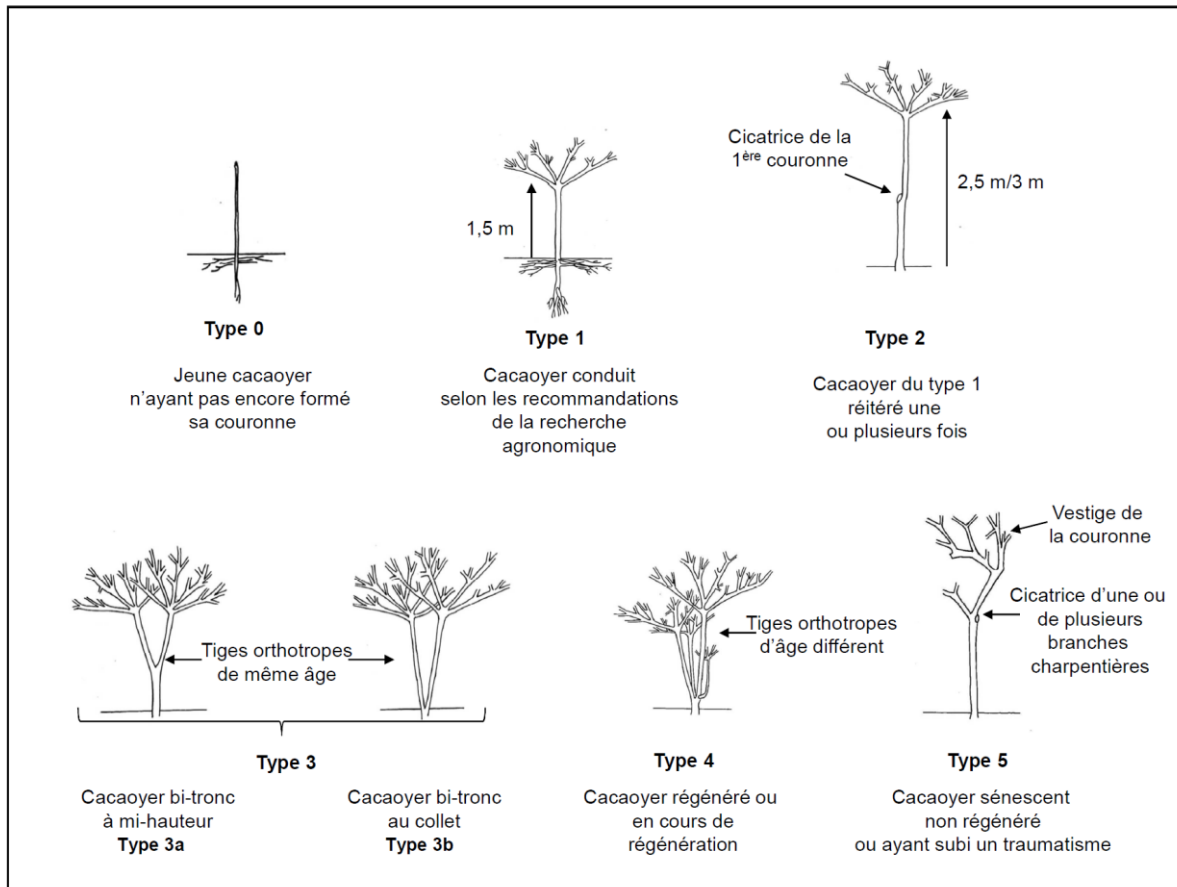
Annexe 5: Relevé cacaoyers par parcelle – Enquête de terrain

N° parcelle

Coordonnées GPS

n° individu	tronc 1		tronc 2		tronc 3		tronc 4		hauteur (m)	Age (années)	Type architectural (cf.fiche explicative)	Taille régulière	Productif (oui/non)
	Diametre (cm)	circonférence (cm)	Diametre (cm)	circonférence (cm)	Diametre (cm)	circonférence (cm)	Diametre (cm)	circonférence (cm)					
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													
11													
12													
13													
14													
15													
...													

Annexe 6: Principales architectures de cacaoyers identifiées au Centre Cameroun



Source : (Jagoret, 2011)

Annexe 7: Relevé des arbres associés par parcelle – Enquête de terrain

N° parcelle

n°individu	Nom vernaculaire	Nom latin	tronc 1		tronc 2		hauteur (m)	Strate HH; H; M; U	Introduit (Int) ou Conservé (Cons)	Présent avant plantation cacaoyers	si introduit, date
			Diametre (cm)	circonférence (cm)	Diametre (cm)	circonférence (cm)					
1											
2											
3											
...											

feuillage		Usages									
Caducue (C), Permanent (P)	léger (LE), lourd (LO)	Ombrage	Fertilité	Eau	Nourriture à vendre	nourriture autoconsommée	bois d'œuvre	bois de chauffe	médecine	cultuel/culturel	Délimitation de parcelle

Table des figures

Figure 1: Evolution de la cacaoculture au dépend de la forêt .....	7
Figure 2: Localisation des deux principaux bassins de production cacaoyer du Cameroun.....	9
Figure 3: SAF à base de cacaoyer mature, Bokito .....	11
Figure 4: Extension d'une cacaoyère sur savane par la plantation de bananiers et de maïs. .	11
Figure 5: Représentation schématique du processus de séquestration du Carbone dans les SAFs .....	15
Figure 6: Carte du Cameroun et localisation de la zone d'étude.....	19
Figure 7: Parcelle témoin savane, Bokito.....	21
Figure 8: Représentation schématique des informations par parcelle et hypothèse .....	23
Figure 9: Parcelle pour le relevé des mesures biophysique.....	25
Figure 10: Structure de la canopée d'un SAF .....	26
Figure 11: Ensemble des variables dépendantes obtenues par parcelle et utilisées pour les analyses statistiques.....	28
Figure 12: Choix du test statistique en fonction de la loi normale .....	29
Figure 13: Stocks moyens de C à l'hectare par précédent cultural.....	33
Figure 14: Proportion moyenne du C stocké par strate (H ou HH) du peuplement associé. .	34
Figure 15: C stocké en terme de proportion par usage sur les SAFs cacaoyers et les témoins "Forêt" et "Savane" .....	36
Figure 16: ACP des stocks totaux de C, des stocks par usage et par strate. ....	39
Figure 17: Estimation du C moyen stocké dans les cacaoyères en fonction de l'âge des parcelles. ....	40
Figure 18: Evolution du C stocké par le peuplement associé (DHP>30 cm) des cacaoyères établies sous forêt.....	41
Figure 19: Evolution du C stocké par le peuplement associé (DHP>30 cm) des cacaoyères établies sur savane.....	41
Figure 20: Densité moyenne du peuplement associé (DHP > 30 cm) dans les SAFs établis sous forêt et sur savane. ....	42
Figure 21: Evolution du peuplement associé à usage "Fruitier" et "Forestier" des SAFs .....	43
Figure 22: Aléas méthodologiques et marges d'erreur pour l'estimation des stocks de C .....	47
Figure 23: Evolution du C stocké par la biomasse du peuplement cacaoyer des SAFs sous forêt et sur savane. ....	48



Table des tableaux
--------------------

Tableau 1: Estimation des stocks de C retrouvés dans la littérature..... 17

Tableau 2: Nombre de parcelles étudiées par classe d’âge et type de précédent ..... 22

Tableau 3: Définition des principaux usages relevés dans les SAFs..... 24

Tableau 4: Résultats analyse factorielle (ANOVA) à double entrée, d’un test non-paramétrique (Kruskal-Wallis) et des valeurs moyennes (non transformées) par variables .. 37

Tableau 5: Pourcentage du potentiel de stockage de la biomasse vivante des arbres des SAFs en fonction d'une forêt originelle. .... 43

Tableau 6: Pourcentage de gain de C dans la biomasse vivante des arbres dans les SAFs établis sur Savane..... 44

Liste des sigles et abréviations
----------------------------------

ACP : Analyse en composantes principales

AFD: Agence Française de Développement

AGB: Aboveground Biomass

ANOVA: ANalysis Of VAriance

C: Carbone

CaCO<sub>3</sub> : Carbonate de Calcium

CFA : Communauté Financière Africaine

CIRAD : Centre International de Recherche en Agronomie pour le Développement

CNRA: Centre National de Recherche Agronomique de Côte d'Ivoire

CO<sub>2</sub>: Dioxyde de Carbone

DHP: Diamètre à hauteur de Poitrine

FAO: Organisation des Nations-Unies pour l'Alimentation

FMI: Fonds Monétaires Internationaux

GES: Gaz à Effet de Serre

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

GPS: Global Positioning System

ICCO: The International Cocoa Organization

ICRAF: International Center for Research in Agroforestry

IITA: International Institute of Tropical Agriculture

INRA: Institut National de la Recherche Agronomique français

IRAD : Institut de Recherche Agricole camerounais pour le Développement

IRD: Institut de Recherche pour le Développement

MO: Matière Organique

MPD: Mécanisme de Développement Propre

MPRD : Milieux productions, ressources et systèmes

ONU: Organisation des Nations-Unies

PCP : Pôle de Compétence

RBD : Root Biomass Density

REDD: Réduction des Emissions liées à la Déforestation et à la Dégradation des forêts

SAF: Système Agro-Forestier

SAFSE: Systèmes Agroforestiers et Services Ecosystémiques

SNK: Student-Newman-Keuls

SPSS: Statistical Package for the Social Sciences

UMR : Unité Mixte de Recherche

UNFCCC: Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques