



Union-Discipline-Travail

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Institut National Polytechnique
Félix HOUPHOUËT-BOIGNY

ÉCOLE SUPÉRIEURE D'AGRONOMIE (ESA)
Cycle des Ingénieurs Agronomes

Société de développement de
projets de durabilité et de prestation
de service dans le domaine agricole



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du Diplôme d'Agronomie Approfondie (D.A.A)

Option : Eaux et Forêts

Thème :

MODÉLISATION DU STOCK DE CARBONE ET ÉVALUATION ÉCONOMIQUE DES SYSTÈMES AGROFORESTIERS À BASE DE CACAO : CAS DU DÉPARTEMENT DE AGBOVILLE

Présenté par :

Version revue et corrigée

M.AFFIAN Ezoua Joachim

Élève Ingénieur des Eaux et Forêts de la 51^{ème} promotion ENSA

Soutenu le 23/10/2020

Jury de soutenance :

M. KOUADIO Bouattenin	Enseignant-Chercheur DFR FOREN/INP-HB	Président du jury
Dr. AKIAN Dieudonné	Enseignant-Chercheur DFR FOREN/INP-HB	Encadreur pédagogique
M. ADAYE Patrice	Directeur General de AGRO-MAP	Encadreur de terrain
M. KOUAME Thierry	Enseignant-Chercheur DFR FOREN/INP-HB	Assesseur

TABLE DE MATIERES

DEDICACE	iv
AVANT-PROPOS.....	v
REMERCIEMENTS	vi
LISTE DES TABLEAUX	vii
LISTE DES ANNEXES	vii
LISTE DES FIGURES	vii
SIGLES ET ABREVIATIONS.....	viii
RESUME	ix
ABSTRACT.....	x
INTRODUCTION.....	1
1 CHAPITRE 1 : DÉFINITIONS ET RÉVUE DE LITTÉRATURE.....	3
1.1 Fonction de production des cultures pérennes.....	4
1.2 Agroforesterie	5
1.3 Systèmes Agroforestiers	6
1.3.1 Systèmes agroforestiers à base de anacardier	7
1.3.2 Systèmes agroforestiers à base de cacaoyer	7
1.3.2.1 Arbres fruitiers associés aux cacaoyers	8
1.3.2.2 Arbres forestiers associés aux cacaoyers	9
1.3.3 Systèmes Agroforestiers et séquestration de carbone	10
1.3.3.1 Estimation du stock de carbone.....	10
1.3.3.2 Stock de carbone dans les systèmes agroforestiers	10
1.4 Modèles allométriques.....	11
1.5 Modele de régression linéaire simple	12
2 CHAPITRE 2 : MÉTHODOLOGIE	13
2.1 Matériel.....	14
2.1.1 Matériels biologiques	14
2.1.2 Matériels techniques.....	14
2.2 Méthodes.....	15
2.2.1 Présentation de la zone d'étude.....	15
2.2.2 Choix des spéculations et définition des systèmes agroforestiers.....	15

2.2.3	Collecte de données.....	16
2.2.3.1	Données de source primaire	16
2.2.3.1.1	Enquêtes.....	16
2.2.3.1.1.1	Producteurs	16
2.2.3.1.1.2	Commerçants	16
2.2.3.1.1.3	SODEFOR.....	17
2.2.3.1.2	Inventaire dans les parcelles	17
2.2.3.1.2.1	Mesure des circonférences des arbres	17
2.2.3.1.2.2	Prise de coordonnées géographiques des arbres	17
2.2.3.2	Données de source secondaire.....	17
2.2.4	Traitement et analyse des données	18
2.2.4.1	Estimation de la production annuelle des différentes espèces	18
2.2.4.2	Estimation du stock de carbone.....	18
2.2.4.2.1	Calcul de la biomasse aérienne	18
2.2.4.2.2	Détermination du taux de CO ₂	19
2.2.4.2.3	Estimation de la valeur économique du carbone	20
2.2.4.3	Estimation des charges d'exploitation	20
2.2.4.3.1	Coûts d'installation et de développement.....	20
2.2.4.3.2	Coûts de l'outillage	20
2.2.4.3.3	Coûts d'exploitation	20
2.2.4.3.4	Coûts totaux	20
2.2.4.3.5	Modèle d'établissement des comptes d'exploitation	21
2.2.4.1	Estimation des recettes.....	22
2.2.4.2	Modélisation du stock de carbone	22
3	CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSIONS.....	24
3.1	Enquêtes auprès des producteurs	25
3.1.1	Caractéristiques des producteurs.....	25
3.1.2	Prix de la boîte de la mangue sauvage	25
3.2	Estimation des productions annuelles des systèmes agroforestiers	26
3.2.1	Production par arbre des espèces fruitières	26
3.2.2	Production par hectare pour chaque système agroforestier	26
3.3	Estimation du stock de carbone dans les SAFs cacaoyers.....	27
3.4	Relation entre le stock de carbone et le diamètre des arbres	28

3.5	Estimation des charges d'exploitation.....	29
3.5.1	Coûts d'installation et développement	29
3.5.1.1	Outillage.....	29
3.5.1.2	Main d'œuvre/ le travail.....	29
3.5.1.3	Achat des plants.....	29
3.5.2	Coûts d'exploitation	31
3.5.2.1	Coûts d'entretien.....	31
3.5.2.2	Préparation pour la vente	32
3.5.2.2.1	Coûts de concassage.....	32
3.5.2.2.2	Matériels utilisés pour le conditionnement des produits	32
3.5.3	Coûts totaux de production.....	33
3.6	Recettes générées par les systèmes agroforestiers	34
3.6.1	Recettes issues des produits forestiers et fruitiers.....	34
3.6.2	Recettes issues de la vente du carbone	35
3.6.3	Recettes annuelles totales de chaque système agroforestier.....	35
3.7	Comptes d'exploitation et résultats nets des systèmes agroforestiers.....	36
3.8	Modélisation du stock de carbone en fonction de l'âge de l'agroforêt	37
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS		39
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....		41
ANNEXES.....		46

DEDICACE

A notre Seigneur et Sauveur Jésus Christ

Qui dans sa bonté et sa miséricorde nous a permis de traverser toutes les épreuves du moment et d'arriver à ce stade de notre formation

A nos géniteurs

AFFIAN Ekou et ADJO Helene

Pour tous les sacrifices consentis leurs prières et conseils durant toute notre formation

A la famille AFFIAN à mes meilleurs amis merci pour vos prières conseils et orientations

Si on converti 30% de la superficie potentiellement convertible en agroforesterie, d'ici 2040, cela engendrerait un potentiel net de séquestration de carbone de 586 millions de tC/an soit environ 17.5 Gt de Carbone. (IPCC, 2000)

AVANT-PROPOS

Le présent rapport de fin d'études est réalisé en vue de l'obtention du Diplôme d'Agronomie Approfondie (DAA) pour la spécialisation Eaux et Forêts du cycle Ingénieur Agronome de l'Ecole Supérieure d'Agronomie (ESA), une des grandes écoles de l'Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-HB) de Yamoussoukro (Côte d'Ivoire). Le stage qui mène à la présentation de ce mémoire est institué à la fin du cycle Ingénieur Agronome. Il dure six (6) mois et il vise à familiariser l'Elève-Ingénieur Agronome spécialité Eaux et Forêts aux multiples aspects que la foresterie offre. Il peut se faire en entreprise, au sein d'une unité de recherche ou d'un organisme de développement agricole en vue de contribuer à la mise en application des différents cours qui ont été dispensés durant notre cycle de formation. Par ailleurs, ce stage qui contribue favorablement à notre intégration professionnelle s'oriente sur le thème « Modélisation du stock de carbone et évaluation économique des systèmes agroforestiers à cacaoyer dans le département de Agboville. ». Nous avons effectué notre stage au sein de la société AGRO-MAP de Mars à Septembre 2020.

Cette étude vise à valoriser l'agroforesterie afin de faciliter son adoption par les producteurs qui en sont les principaux bénéficiaires. L'étude consistait à évaluer le stock de carbone et estimer la valeur économique des systèmes agroforestiers développés par la société AGRO-MAP.

REMERCIEMENTS

La rédaction de ce rapport a été possible grâce à l'encadrement technique et la supervision dans le traitement des données avec l'aide de plusieurs personnes.

Mes sincères remerciements vont à l'endroit de :

Mr. ADAYE Kouamé Patrice qui a été mon encadreur de terrain, pour sa proximité dans le travail et les possibilités qu'il m'a toujours offertes pour m'intégrer au sein de l'entreprise et m'accoutumer aux réalités du monde professionnel ;

Dr. AKIAN Dieudonné, Enseignant-chercheur au Département FOREN de l'ESA, mon encadreur pédagogique, pour sa totale disponibilité et ses précieux conseils dans l'élaboration de ce mémoire ;

Dr. KOUA Daniel, Enseignant-chercheur au Département FOREN de l'ESA, pour ses conseils et orientations.

Dr. KOUASSI Jean-Luc qui m'a encadré tout long du déroulement du stage en dépit de ses multiples occupations pour les lectures et la pertinence des corrections apportées.

Cne. TRAORE Kabolaha, CUGF¹ de la forêt classée de SEGUIE pour l'accueil, les conseils et son aide pendant la période de mission d'inventaire et de collecte de données primaires.

M. KOUAME Fourier, Project Manager à AGRO-MAP, pour son implication dans ce travail.

La brillante équipe de AGRO-MAP et l'UGF de Rubino, pour leur expertise variée mise à ma disposition dans le cadre de ce travail ;

¹ Chef de l'Unité de Gestion Forestière

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Modèles de régression pour l'estimation de la biomasse des forêts tropicales humides	12
Tableau 2: Systèmes agroforestiers considérés pour l'étude	16
Tableau 3: Prix du mètre cube de quelques espèces forestières	17
Tableau 4: Formules mathématiques pour le calcul des coûts	20
Tableau 5: Modèle de compte d'exploitation des SAFs	21
Tableau 6: Répartition des systèmes agroforestiers	25
Tableau 7: Prix moyen de <i>Irvingia gabonensis</i>	26
Tableau 8: Evolution des rendements des arbres fruitiers	26
Tableau 9: Production par hectare des différents systèmes agroforestiers	26
Tableau 10: Outillage de l'agroforêt	30
Tableau 11: Activités impliquant une main d'œuvre dans l'agroforêt	30
Tableau 12: Coûts des plants	31
Tableau 13: Entretien et traitements phytosanitaires	32
Tableau 14: Eléments entrant dans les coûts de préparation pour la vente	33
Tableau 15: Recettes issues de l'agroforêt	34
Tableau 16: Valeur économique du stock de carbone dans les SAFs	35

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1: Questionnaires	46
Annexe 2: Des script R pour les calculs effectués	49
Annexe 3: Comptes d'exploitation	51
Annexe 4: Biomasse aérienne par système	54

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Fonction de production des cultures pérennes	4
Figure 2: Importance de l'agroforesterie	6
Figure 3: Arbres associés aux cacaoyers dans un SAF-Cacaoyer	10
Figure 4: Flux de carbone dans une parcelle agroforestière	11
Figure 5: Matériel utilisé pour la collecte des données	14
Figure 6: Carte de la zone d'étude	15
Figure 7: Caractéristiques des producteurs enquêtés	25
Figure 8: Estimation du stock de carbones dans les SAFs	27
Figure 9: Relation entre le stock de carbone et le diamètre des arbres	28
Figure 10: Coûts de production annuels moyens des SAFs	33
Figure 11: Recettes annuelles moyennes des SAFs en fonction des marchés de carbone	36
Figure 12: Résultats annuels nets des SAFs	37
Figure 13: Modélisation du stock de carbone	38

SIGLES ET ABREVIATIONS

AFC	Systèmes agroforestiers Complexes
AGB	<i>Aboveground Biomass</i>
AME	Age Moyen d'Exploitabilité
CIFOR	<i>Center for International Forestry Research</i>
CIRAD	Centre International de Recherche en Agronomie pour le Développement
CUGF	Chef de l'Unité de Gestion Forestière
CO2	Dioxyde de Carbone
DBH	<i>Diameter at Breast Height</i>
DHP	Diamètre à hauteur de Poitrine
DME	Diamètre Moyen d'Exploitabilité
ESA	Ecole Supérieure d'Agronomie
FAO	Organisation des Nations-Unies pour l'Alimentation
FOREN	FORestrie et ENvironnement
GPS	<i>Global Positioning System</i>
ICCO	Organisation Internationale du cacao
ICRAF	<i>International Centre for Research in Agroforestry</i>
INP-HB	Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
MO	MO Main d'Œuvre
MDP	Mécanisme de Développement Propre
MV	Marché de carbone Volontaire
PAF	Produit Agroforestier
PFNL	Produits Forestiers Non Ligneux
PROTA	<i>Plants Resources Of Tropical Africa</i>
PSE	Paiement pour Services Environnementaux
RN	Résultat Net
SAF	Système Agroforestier
SAFs-Cacaoyer	Système Agroforestier à base de Cacaoyer
SODEFOR	Société de développement des forêts

RESUME

L'objectif de cette étude était d'évaluer le stock de carbone et d'estimer la valeur économique de nos systèmes agroforestiers (SAF) en vue de promouvoir l'agroforesterie et son adoption auprès des producteurs. Trois (03) systèmes agroforestiers ont été définis et suivis. Le système agroforestier 1 est composé de *Terminalia superba* et *Terminalia ivorensis*. Le système agroforestier 2, quant à lui est composé de *Terminalia superba*, *Terminalia ivorensis* et *Ricinodendron heudelotii* et enfin le système agroforestier 3 est constitué de *Terminalia superba*, *Terminalia ivorensis*, *Ricinodendron heudelotii* et *Irvingia gabonensis*. Nous avons utilisé les données d'inventaire des différents systèmes pour estimer le stock de carbone avec les équations allométriques. Ensuite, nous avons établi les comptes d'exploitations de chaque système agroforestier à partir des coûts et des recettes et calculé les résultats. Les résultats montrent que le système agroforestier 3 a un stock de carbone plus élevé (42.03 tC/ha) que les système agroforestier 2 (28.65 tC/ha) et système agroforestier 1 (27.94 tC/ha). Aussi, nous avons trouvé que le stock de carbone augmente avec l'âge de la parcelle et que plus le système agroforestier est diversifié, plus il séquestre du carbone. Le résultat net le plus élevé (2 562 400 F CFA) a été obtenu avec le système agroforestier 3. Le système agroforestier 1 a montré le résultat net le plus faible. Ces résultats suggèrent que l'association des arbres de *Terminalia superba*, *Terminalia ivorensis*, *Ricinodendron heudelotii* et *Irvingia gabonensis* avec les cacaoyers constitue le meilleur système agroforestier à adopter en milieu paysan.

Mots clés : Agroforesterie, cacaoyère, carbone, *Terminalia superba*, *Terminalia ivorensis*, *Ricinodendron heudelotii*.

ABSTRACT

The objective of this study was to assess the carbon stock and estimate the economic value of our agroforestry systems in order to promote agroforestry and its adoption in Agboville. Three agroforestry systems were defined and monitored. Agroforestry system 1 is composed of *Terminalia superba* and *Terminalia ivorensis*. Agroforestry system 2 is composed of *Terminalia superba*, *Terminalia ivorensis* and *Ricinodendron heudelotii* and finally agroforestry system 3 is composed of *Terminalia superba*, *Terminalia ivorensis*, *Ricinodendron heudelotii* and *Irvingia gabonensis*. Then, we estimated the carbon stock and established the operating account of each agroforestry system. The results show that agroforestry system 3 has a higher carbon stock (42.03 tC/ha) than agroforestry system 2 (28.65 tC/ha) and agroforestry system 1 (27.94 tC/ha). Also, we found that the carbon stock increases with the age of the plot and that the more diversified the agroforestry system is, the more carbon it sequesters. The highest net result (2,562,400 F CFA) was obtained with agroforestry system 3. Agroforestry system 1 showed the lowest net result. These results suggest that the association of *Terminalia superba*, *Terminalia ivorensis*, *Ricinodendron heudelotii* and *Irvingia gabonensis* trees with cocoa trees constitutes the best agroforestry system to adopt in a farming environment.

Keywords: Agroforestry, cocoa, carbon, *Terminalia superba*, *Terminalia ivorensis*,
Ricinodendron heudelotii

INTRODUCTION

La cacaoculture joue un rôle majeur dans l'économie des principaux pays africains de cacao où cette culture répond à trois objectifs : procurer des devises au pays, contribuer au budget de l'Etat et fournir un revenu aux populations rurales qui en vivent (Clay, 2004). En Côte d'Ivoire, le secteur cacao représente un important pilier de l'économie du pays. En effet, le secteur cacao représente à lui seul 15% du Produit Intérieur Brut (PIB) et 40% des recettes d'exportation (World Cocoa Foundation, 2014).

Cependant, le succès économique de la cacaoculture cache une forte dégradation forestière. Une étude menée par Schroth et Harvey (2007), montre que la cacaoculture représente l'une des causes principales de la déforestation. En Côte d'Ivoire, le développement des cultures de café et cacao s'est fait au détriment de la forêt primaire dont la superficie est passée de 12 millions d'hectares en 1960 à moins 2 millions aujourd'hui (Ruf & Agkpo, 2008). Face à ce constat, l'agroforesterie, association des arbres aux cultures ou aux pâturages, peut représenter une alternative durable au déboisement et à la culture itinérante pour compenser l'empreinte écologique et carbone liée à la cacaoculture sur la forêt.

Actuellement, des organismes de recherche tels que le Centre International de Recherche en Agronomie pour le Développement (CIRAD), *International Centre for Research in Agroforestry* (ICRAF), ont développé des systèmes agroforestiers à base de cacao. Ces systèmes à base de cacaoyer sont de type agroforestier où le cacaoyer est associé à de nombreuses espèces pérennes, forestières et fruitières, aux usages multiples ; qui fournissent aux agriculteurs différents produits qu'ils consomment ou encore qu'ils vendent. Ces systèmes se rencontrent au Mexique (Salgado-Mora et al., 2007) et au Brésil (Ruf & Schroth, 1995) où ils sont d'ailleurs connus sous le terme de « cabruças », mais également en Côte d'Ivoire (Vroh & Abrou, 2019). Ces systèmes offrent plusieurs services écosystémiques tels que la conservation de la biodiversité, le maintien de la fertilité des sols et la séquestration de carbone (Duguma et al., 2001; Seghieri & Harmand, 2019; Xavier et al., 2009). Cependant, le fonctionnement des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer demeure cependant mal connu car ils sont généralement restés ignorés des agriculteurs, en raison de la faiblesse de leurs rendements en cacao marchand. Aussi, il n'existe pas de recherche scientifique suffisante menée pour estimer le stock de carbone et la rentabilité des systèmes agroforestiers (SAF) existants.

Pour une meilleure promotion et une bonne connaissance du fonctionnement de l'agroforesterie, une étude d'évaluation des parcelles agroforestières à base de cacaoyers portant sur leur capacité de séquestration de carbone et leur rendement économique a été initiée par la société AGRO-MAP dans la région de l'Agneby Tiassa. C'est dans ce cadre que s'inscrit notre mémoire de fin d'étude ayant pour thème : « **Modélisation du stock de carbone et évaluation économique des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer : cas du département de Agboville** ».

L'objectif général de cette étude est d'évaluer le stock de carbone et estimer la valeur économique des systèmes agroforestiers en vue de promouvoir l'agroforesterie et son adoption auprès des producteurs.

Spécifiquement, cette étude consiste à :

- mettre en place trois (03) systèmes agroforestiers constitué de *Theobroma cacao*, d'arbres forestiers et arbres fruitiers ;
- évaluer la valeur carbone et économique des systèmes agroforestiers
- établir le compte d'exploitation et calculer le résultat net de chaque système agroforestier développé ;
- réaliser une modélisation de la valeur carbone et économique des systèmes agroforestiers ;
- proposer des approches d'amélioration des systèmes agroforestiers et diversification des revenus des producteurs

Ce mémoire présentera en premier lieu quelques définitions et la revue de littérature. Il sera question de donner les définitions des termes-clés en précisant les explications dont nous tenons compte dans le cadre de cette étude et de faire une prospection dans la littérature existante sur le sujet et les éléments corollaires. En second lieu nous présenterons la méthodologie utilisée pour cette étude. Enfin les résultats et discussions montreront les principaux résultats obtenus et leurs interprétations à la lumière des réalités du terrain et des études antérieures

CHAPITRE 1

DÉFINITIONS ET RÉVUE DE LITTÉRATURE

Dans cette partie, nous donnons la signification des mots et expressions clés employées dans le thème, tout en précisant les définitions que nous retiendrons dans le cadre de cette étude.

1.1 Fonction de production des cultures pérennes

Les spéculations introduites dans l'agroforêt ont des durées de vie économique qui vont jusqu'à vingt-cinq ans et plus (Eboutou, 2009). Pour connaître leurs évolutions et leurs productions moyennes année après année, on fait appel à la fonction de production des cultures pérennes telle que développée par Nerlove (1958).

D'après le modèle de Nerlove (1958), la fonction de production des cultures pérennes est multi périodique ; le facteur temps ayant une influence significative sur l'évolution de la production.

Le cycle de production de Nerlove (1958) comporte ainsi quatre phases ou périodes interdépendantes illustrées dans la figure 1(ci-contre) ainsi qu'il suit :

- une phase de gestation ou d'accroissement (I) ;
- une phase de croissance de la production (II) ;
- une phase de stabilité de la production (III) ;
- une phase de décroissance ou déclin de la production (IV)

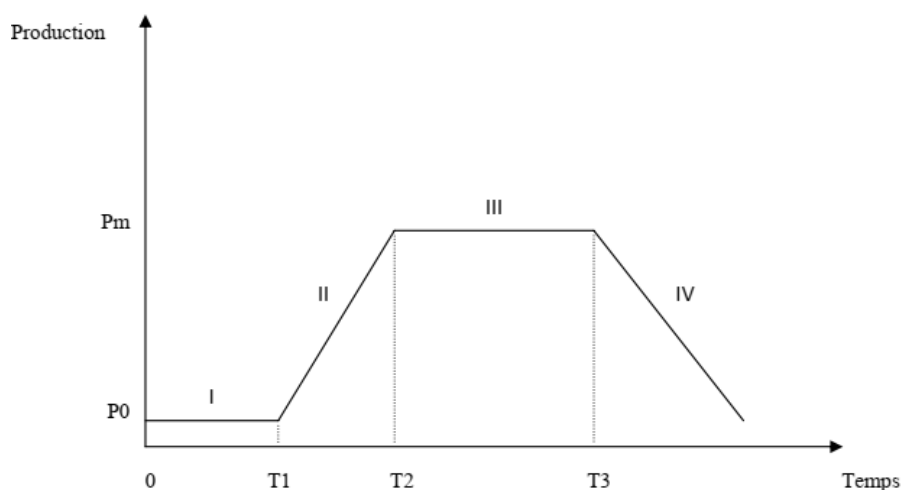


Figure 1: Fonction de production des cultures pérennes

Source : Nerlove (1958)

La phase de gestation est la période de temps qui sépare la plantation de la première production.

La phase de croissance est la période de temps qui sépare la première production de la pleine production (début de la phase de croisière).

La phase de stabilité ou phase de croisière ou encore phase de pleine production est la période du cycle de production qui se caractérise par une stabilité du volume de la production (rendement). C'est la phase au cours de laquelle la production est maximale et les bénéfices financiers réels se réalisent. La fin de cette phase marque la fin de la vie économique de l'exploitation et le début de la décroissance où l'exploitant doit penser à renouveler son verger. Pour le cacaoyer, cette phase va de six ans à vingt-cinq ans (Eboutou, 2009).

La phase de décroissance ou phase de déclin est la phase au cours de laquelle l'âge économique de l'arbre fruitier est terminé et qu'il s'avère rentable de l'abattre et de le remplacer par un arbre nouveau. Cet âge dépend de l'entretien dont a bénéficié la plantation au cours du temps, du climat, de la variété, de l'espèce, etc. Pour le cacaoyer et les espèces fruitières qui lui sont associées dans le cadre de notre étude, cette phase débute à partir de 25 ans.

1.2 Agroforesterie

Le problème de la définition de l'Agroforesterie se pose depuis sa naissance au point que cela en est devenu un sujet que l'on préfère souvent éviter pour ne pas s'enliser dans d'interminables et stériles discussions (Alexandre, 2002). Néanmoins, de bonnes définitions, comme des fondations, nous paraissent indispensables pour édifier une science. Voici, parmi d'autres, quelques définitions de l'agroforesterie.

D'après Nair (1993), c'est en 1977 que le mot « *agroforestry* » aurait fait son entrée dans la littérature scientifique. Un groupe de forestiers tropicaux sollicités par le Centre de Recherche pour le Développement International (CRDI, Canada) écrit dans un rapport qui fera date (Bene et al., 1977) que, pour sauver les forêts tropicales, il faut prendre en compte les pratiques des populations vivant à proximité et donner la priorité aux systèmes de production intégrant la foresterie, l'agriculture et l'élevage. Le terme « agroforesterie » est proposé pour illustrer cet enjeu. La définition qui en est donnée est la suivante : « Un système de gestion durable du sol qui augmente la production totale, associe des cultures agricoles, des arbres, des plantes forestières et/ou des animaux simultanément ou en séquence, et met en œuvre des pratiques de gestion qui sont compatibles avec la culture des populations locales ».

Le centre international de recherche en agroforesterie (ICRAF : *International Centre for Research in Agroforestry*) connu aujourd'hui sous le nom de World Agroforestry Centre, définit

l'agroforesterie comme un terme pour des systèmes et des technologies d'utilisation des terres où des ligneux pérennes (arbres, arbustes, arbrisseaux, palmiers et bambous) sont cultivés délibérément sur des terrains utilisés pour la culture et/ou l'élevage dans un arrangement spatial ou temporel et où existent des interactions à la fois écologiques et économiques entre les ligneux et les autres composantes du système. Si l'on s'en tient à la parenté de l'agroforesterie avec l'agriculture, la définition la plus concise qui ait été proposée est la suivante : « L'agroforesterie est la mise en valeur du sol avec une association (simultanée ou séquentielle) de ligneux et de cultures ou d'animaux afin d'obtenir des produits ou des services utiles à l'homme » (Torquebiau, 2007). En d'autres termes, l'agroforesterie peut être défini comme un système d'utilisation d'arbres en synergie avec des pratiques d'agriculture ou d'élevage (Figure 2).

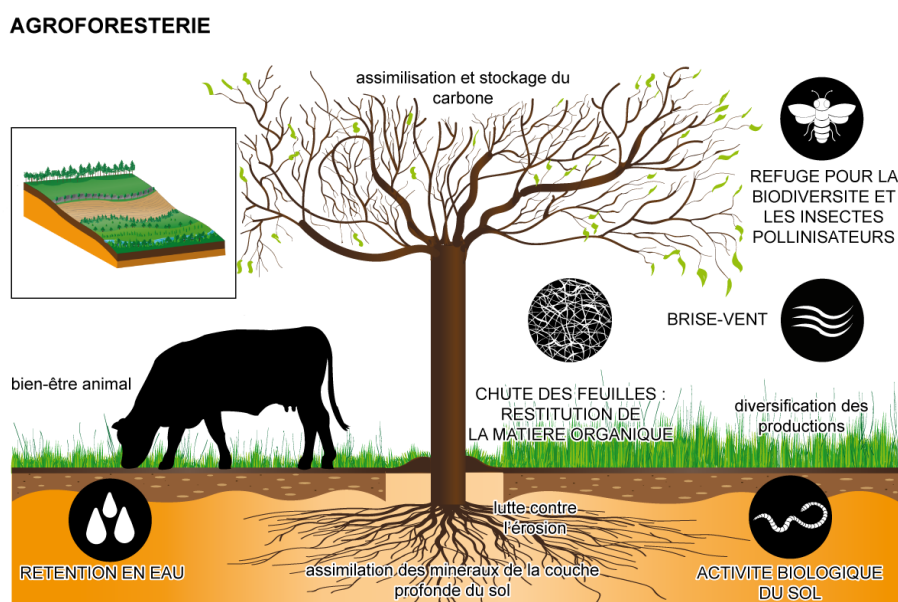


Figure 2: Importance de l'agroforesterie

Source : <https://sciences-en-ligne.net/news/item/>

1.3 Systèmes Agroforestiers

Un système Agroforestier (SAF) désigne l'ensemble de techniques et les modes de mise en valeur des terres dans lesquelles des végétaux ligneux (arbres, arbustes) sont volontairement associés dans une même aux cultures ou aux animaux domestiques soit simultanément , soit de manière séquentielle (Baumer, 1987). De cette définition l'on peut différencier trois systèmes agroforestiers (Haubert, 1998) à savoir :

- Le système agri-sylvicole (association cultures et ligneux)
- Le système sylvo- pastoral (association animaux domestiques et ligneux)

- Le système agri-sylvo- pastoral (association des trois composantes)

Quant à Foresta et Michon (1996), ils distinguent deux principaux groupes de SAFs : simples et complexes.

- Les systèmes agroforestiers « simples » présentent une faible diversité spécifique et sont généralement composés d'herbacées ou d'arbustes associés à des espèces arborescentes. On retrouve de tels systèmes, conduits de façon intensive, dans les régions à très forte densité de population. Leur structure est très différente de celle de la forêt naturelle.
- Les systèmes agroforestiers complexes (AFC²) présentent une très grande diversité spécifique dont la structure est extrêmement proche de la forêt secondaire.

Les systèmes agroforestiers offrent une interaction positive à la fois économique et écologique entre les arbres et les autres éléments du système (FAO, 2015).

1.3.1 Systèmes agroforestiers à base de anacardier

Dans les premières années de culture, les espèces naturelles telles que *Annona senegalensis* peuvent s'associer avec l'anacardier ayant des diamètres compris entre 5 et 10 cm (Koulibaly et al., 2016) formant ainsi un système agroforestier. Aussi, l'anacardier peut être associé au cacaoyer, le système résultant de cette association est appelé système anacardier-cacaoyer. Ce système est pratiqué dans le « parc » de la Marahoué (Kone et al., 2019).

1.3.2 Systèmes agroforestiers à base de cacaoyer

Todem (2015), définit un Système Agroforestier à base de cacaoyer comme tout système d'utilisation des terres intégrant sur une même parcelle le cacaoyer, les herbacées, les arbres fruitiers et les arbres forestiers, introduits et/ou poussés spontanément, ainsi que les arbres forestiers qui n'ont pas été abattus au moment de la mise en place de la cacaoyère. Les principales espèces associées aux cacaoyers dans les systèmes agroforestiers à base de cacaoyers sont généralement *Terminalia superba*, *Terminalia ivorensis*, *Ricinodendron heudelotii*, *Irigina gabonensis* (Figure 3).

² Systèmes Agroforestiers complexes

1.3.2.1 Arbres fruitiers associés aux cacaoyers

- ***Irvingia gabonensis***

Communément appelé « kplé ou kaklou » ou manguier sauvage, *Irvingia gabonensis*, est un arbre de la famille des irvingiacées. Une étude menée par Kouame et al. (2016), montre la croissance en hauteur moyenne et en diamètre moyen des plants de six mois à trois ans issus des graines de *Irvingia gabonensis*. À six mois, ceux-ci mesurent 1,51 m de hauteur moyenne totale et 4,02 cm de circonférence moyenne totale au collet. À un an, ils mesurent 1,95 m de hauteur totale moyenne et 9 cm de circonférence totale moyenne, à deux ans 2,45 m de hauteur totale moyenne et 10,75 cm de circonférence totale moyenne et à trois ans, la hauteur moyenne totale est de 3,22 m et 12,66 cm de circonférence totale moyenne. Avant un an, la croissance totale moyenne radiale est rapide. Mais cette croissance diminue avec l'âge de la plante et elle reste en dessous de 15 cm jusqu'à trois ans. Quant à la croissance en hauteur, elle reste plus ou moins constante avec l'âge (Kouame et al., 2016). Parmi les activités relatives aux PFNL (Produits Forestiers Non Ligneux) d'importance économique, Lapuyade (2000), relève que la collecte des mangues sauvages est l'activité la plus rentable. Le fruit sucré de *Irvingia gabonensis* est consommé cru par les populations (Chabot, 1997). Les amandes de *Irvingia gabonensis* contribuent significativement à l'alimentation des populations pour préparation des sauces. Elles remplacent les arachides dans les sauces et jouent un rôle majeur dans la sécurité alimentaire. Elles contribuent également à la création d'emplois pour les paysans et les vendeurs. D'après le CIFORT (1996), 140 tonnes d'amandes ont été commercialisées dans la région de forêt humide du Cameroun entre Janvier et Juillet 1995.

En 2000, Ndoye et al. , ont révélé que *Irvingia gabonensis* est le PFNL commercialisé par le plus grand nombre de négociants. L'amande est la partie la plus prisée de l'arbre et elle est très oléagineuse. Les amandes fraîches sont riches en lipides, protéines, glucides et contiennent de la vitamine A et C (Eboutou, 2009). Les prix de la mangue sauvage varient d'une période à une autre à l'intérieur d'une même année mais aussi en fonction des localités (Awono, 2007). Les amandes sont vendues dans les seaux de 5 litres, 10 litres, ou même 15 litres. On en trouve aussi dans des assiettes ou en tas dans les marchés urbains.

- ***Ricinodendron heudelotii***

Arbre caducifolié, dioïque, de taille moyenne atteignant 30-45 m de haut ; fût droit et cylindrique, jusqu'à 120-150 cm de diamètre (PROTA, 2020). Le Akpi dont le nom scientifique

est *Ricinodendron heudelotii*, appartient à la famille des euphorbiacées. Il est intentionnellement intégré dans les systèmes agricoles pour son ombrage, ses chenilles comestibles, les champignons qui poussent sur le tronc, et surtout pour ses graines à forte valeur calorifique qui sont commercialisées (Eboutou, 2009). La plante se prête en effet à bien des usages. Les parties les plus utilisées sont les fruits, les graines, l'écorce et le bois (Eyog et al., 2006). La possibilité de conserver la graine de *Ricinodendron heudelotii*, pendant plusieurs mois sans risque d'altérer ses fonctions et sa qualité est un atout important pour le développement de la filière et l'approvisionnement des marchés (Eyog et al., 2006). Ses graines sont donc disponibles sur toute l'année sur les marchés.

Ricinodendron heudelotii peut parfaitement être intégré et associé dans les systèmes de culture sous ombrage. En domestication, le Akpi multiplié par greffage entre en production à 3 ans, il peut avoir 3 mètres de hauteur.

1.3.2.2 Arbres forestiers associés aux cacaoyers

Terminalia superba et *Terminalia ivorensis* appartiennent tous deux à la famille des combrétacées. Le framire, de son nom scientifique *Terminalia ivorensis*. Reconnaisable par ses branches s'organisent en couronne autour du jeune tronc, c'est un arbre très répandu en Afrique de l'Ouest, particulièrement en Côte d'Ivoire. Sa croissance est rapide et développe un tronc plus ou moins droit. Son bois est souvent utilisé en ébénisterie et en charpenterie. Il peut être confondu à son jeune âge avec *Terminalia superba* ou fraké bien qu'il ait des feuilles moins larges que ce dernier. Le prix du mètre cube à l'exploitation est évalué à 25 000 FCFA (SODEFOR 2020). Ils sont associés aux vergers de cacao à cause de l'ombrage qu'ils leur procurent.



Terminalia superba associé aux cacaoyers

Ricinodendron heudelotii associé aux cacaoyers

Figure 3: Arbres associés aux cacaoyers dans un SAF-Cacaoyer

1.3.3 Systèmes Agroforestiers et séquestration de carbone

1.3.3.1 Estimation du stock de carbone

L'estimation du stock de carbone d'un écosystème consiste à inventorier tout le carbone qui se trouve sous diverses formes dans celui-ci : litière, feuilles, branches, troncs, racines, humus (Oumar et al., 2012). Deux méthodes permettent d'estimer la biomasse : les méthodes directes ou dites destructives, et les méthodes indirectes (Segura, 1999). Les premières méthodes impliquent généralement la récolte d'échantillons au champ et parfois même de végétaux complets. Les secondes méthodes consistent, entre autres, à appliquer des modèles de régression, des tables de volume (équation générale) ou des formules mathématiques (tarifs de cubage/équations allométriques) utilisant des variables dendrométriques d'inventaires (hauteurs, diamètres/circonférence à hauteur de poitrine, densités et surface terrière).

1.3.3.2 Stock de carbone dans les systèmes agroforestiers

L'agroforesterie, association des arbres aux cultures ou aux pâturages, peut représenter une alternative durable au déboisement (Xavier et al., 2009). Elle est reconnue par l'UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate change), comme une activité capable de séquestrer une importante quantité de carbone.

Le rôle de purificateur de l'atmosphère que jouent les SAFs-cacaoyer par la séquestration du carbone a été largement prouvé. Selon Nolte et al. (2001), le carbone total stocké dans les

cacaoyères est de 179 tonnes/ha contre 275 tonnes/ha en forêt. Pour Claire (2013), les SAFs-cacaoyers sur forêt stockent en moyenne 85 tonnes/ha contre 58 tonnes/ha sur savane. Oelbermann et al. (2006), indiquent également le potentiel de stockage de carbone par conversion de parcelles agricoles en parcelles agroforestières est très élevé à l'échelle mondiale. Ils estiment que les SAFs pourraient stocker dans leur biomasse aérienne 2,1 Gt C/an en zone tropicale et 1,9 Gt C/an en zone tempérée.

Les valeurs de séquestration de carbone sur une période de 25 ans dans le compartiment du sol sont de l'ordre de 5 à 10 kgC/ha dans les parcs agroforestiers extensifs des arides et semi-arides et entre 100 et 250 kgC/ha sur une période de 10 ans dans les SAFs multi-étages des tropiques humides (Nair et al., 2009).

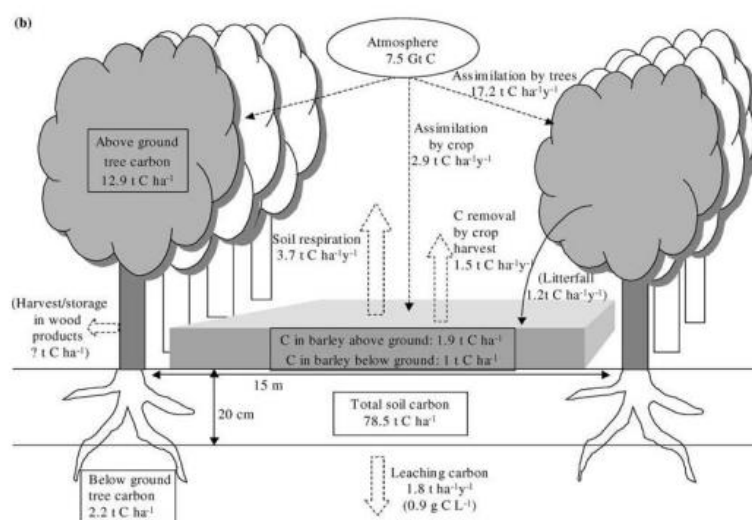


Figure 4: Flux de carbone dans une parcelle agroforestière

Source : Peichl et al. 2006

1.4 Modèles allométriques

De façon générale, il est possible de définir l'allométrie comme étant la différence entre les proportions des différentes parties ou organes d'un organisme en fonction de la taille de cet organisme (Loubota & Grace, 2020). Un modèle allométrique permet de convertir des mesures facilement disponibles, en quantités difficilement accessibles directement sur le terrain (Moumouni et al., 2019). La plupart des études sur la biomasse emploient des modèles allométriques basés sur la quantification de la biomasse aérienne (AGB). Malgré la progression des méthodes en raison de l'accessibilité des ordinateurs, il est difficile de développer un modèle allométrique général pour tous les arbres tropicaux. La plupart des modèles ont été

développés en utilisant des données provenant de zones équatoriales. Plusieurs auteurs ont développé des modèles allométriques reposant sur le DBH (*Diameter at Breast Height*), la hauteur totale, et la densité du bois (Tableau 1). Ces modèles ont été proposés sur la base d'une, deux ou trois variables indépendantes : 1) le DBH uniquement ; 2) le DBH et la densité du bois, et 3) le DBH, la densité du bois et la hauteur totale.

Tableau 1: Modèles de régression pour l'estimation de la biomasse des forêts tropicales humides

Paramètres dendrométriques	Equations	Auteurs
D	$AGB = \exp(-1,9967 + 2,3924 * \ln(D))$	(Djomo, 2010)
	$AGB = \exp(-2,289 + 2,649 * \ln(D) - 0,021 * \ln(D)^2)$	(Brown, 1997)
DH	$AGB = \exp(-2,9946 + 0,9317 * \ln(D^2 * H))$	(Dorvil, 2010)
Dρ	$AGB = (\rho * \exp(1,499 + 2,148 \ln(D) + 0,207 (\ln(D))^2 - 0,0281 (\ln(D))^3))$	(Chave et al., 2005)
DρH	$AGB = 0,0673 * (\rho * D * H)^{0,976}$	(Chave et al., 2014)
	$AGB = \exp(-2,557 + 0,940 \ln(\rho * D^2 * H))$	(Chave et al., 2005)
	$AGB = 0,0694 * (\rho * D^2 * H)$	(Dawkins, 1961) Cité par Dorvil, 2010

1.5 Modèle de régression linéaire simple

Le but de la régression simple est d'expliquer une variable Y (Stock de carbone) à l'aide d'une variable X (Age de l'agroforêt). Dans notre étude, le stock de carbone est appelé variable dépendante, ou variable à expliquer et les variables X_j ($j=1, \dots, q$) sont appelées variables indépendantes, ou variables explicatives (Cornillon 2010).

Le but de la régression simple est de chercher une fonction f telle que $y_i \approx f(x_i)$. L'équation d'une droite du modèle qui explique au mieux la relation entre le stock de carbone et l'âge de l'agroforêt est de la forme :

$$\text{Carbon} = a * \text{Age} + b + Er \quad \left[\begin{matrix} 1 \\ \end{matrix} \right]$$

Le coefficient a , représente la pente de la droite.

Si $a > 0$ alors le stock de carbone et l'âge évoluent positivement

Si $a < 0$, alors la droite est décroissante. Biologiquement, cela signifie que le stock de carbone et l'âge évoluent dans le sens opposé.

Le coefficient b : l'ordonnée du point d'intersection

Er : l'erreur associée



CHAPITRE 2

MÉTHODOLOGIE

2.1 Matériel

2.1.1 Matériels biologiques

Les espèces considérées dans nos différents agroforêts sont composées d'arbres fruitiers, arbres forestiers et les cacaoyers. Ainsi, en plus du cacaoyer, les espèces utilisées dans notre étude sont : Fraké (*Terminalia superba*), Framiré (*Terminalia ivorensis*), Akpi (*Ricinodendron heudelotii*), et Kplé (*Irvigina gabonensis*).

2.1.2 Matériels techniques

Pour la collecte des données sur les arbres, nous avons utilisé, Un mètre ruban pour la mesure des diamètres, un smartphone doté de l'application de collecte de données mobile « ODK Collect » pour enregistrer les données d'inventaire sur le terrain, des formulaires préparés sur Excel et Word pour les enquêtes auprès des différents acteurs (les producteurs, la SODEFOR, les commerçants, NITIDAE).et un GPS de type GARMIN 64 (Figure 5) pour la prise des coordonnées géographiques de chaque arbre. Toutes les données primaires collectées ont été traitées à l'aide des logiciels pack office (Word, Excel), R/Rstudio (Biomass, ggplot2, tidyverse), QGIS, ARCGIS.

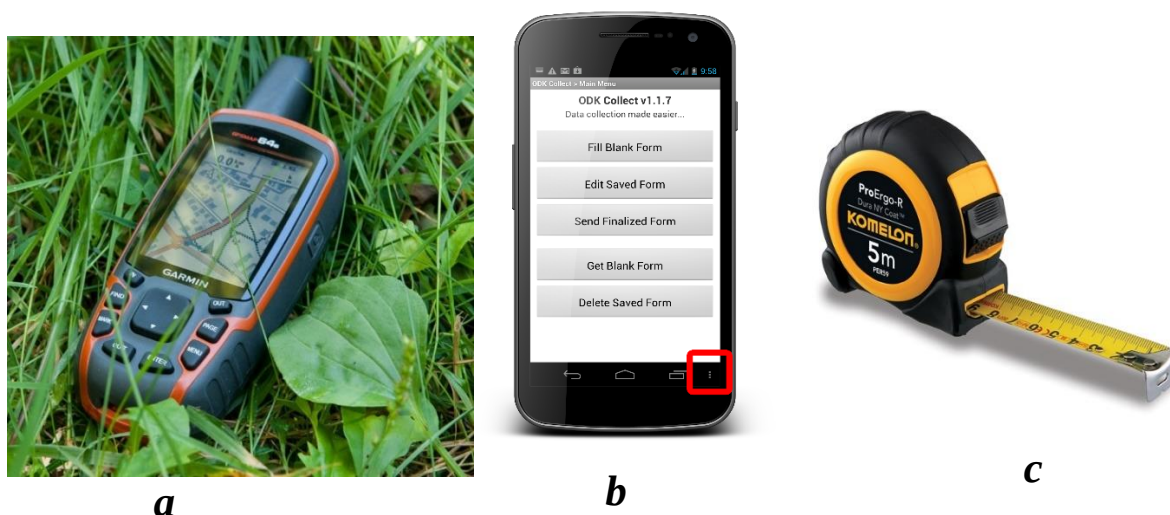


Figure 5: Matériel utilisé pour la collecte des données

(a) : GPS GARMIN 64

(b) : ODK Collect

(c) : Ruban forestier

2.2 Méthodes

2.2.1 Présentation de la zone d'étude

La région de l'Agnéby-Tiassa est composée administrativement de quatre (04) départements : Agboville (Chef-lieu de région), Tiassalé, Sikensi et Taabo. Le département de Agboville est composé de onze (11) sous-préfectures (Aboudé, Agboville, Anaguié, Attobrou, Azaguié, Cechi, Grand-morié, Guessiguié, Loviguié, Oress-Krobou et Rubino). Notre étude se fait dans le département de Agboville.

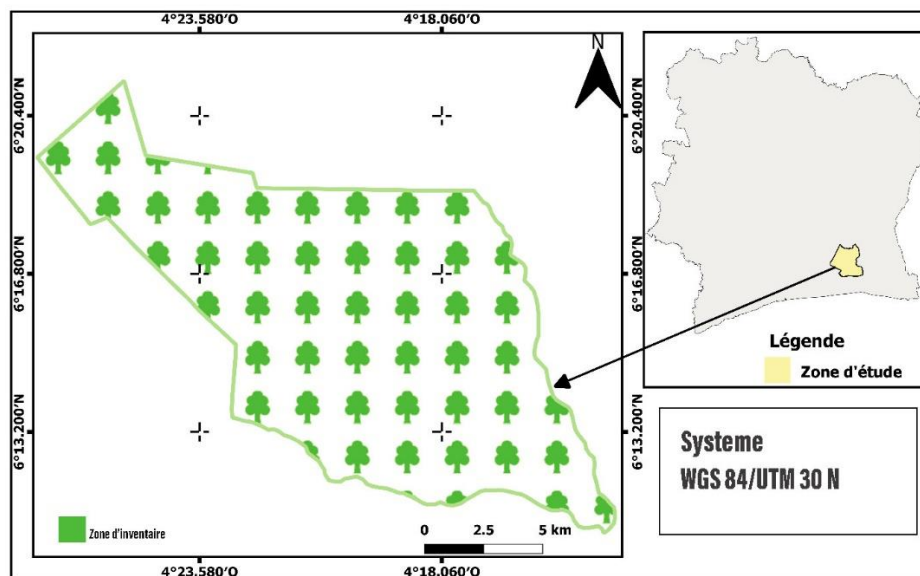


Figure 6: Carte de la zone d'étude

2.2.2 Choix des spéculations et définition des systèmes agroforestiers

Le choix des spéculations est basé sur les modèles agroforestiers développés par AGRO-MAP en accord avec les producteurs. Ce choix tient également compte d'une étude préliminaire menée sur l'adoption de l'agroforesterie par les producteurs. Ainsi, *Terminalia superba*, *Terminalia ivorensis*, *Ricinodendron heudelotii* et *Irvingia gabonensis* sont les espèces que nous retenons dans nos agroforêts.

Les systèmes considérés dans le cadre de cette étude tiennent compte des différentes associations qu'il est possible d'effectuer lorsque l'on dispose d'un certain type et nombre de plants. La densité recommandée pour cette étude est de 35 arbres en moyenne à l'hectare.

Les systèmes ainsi constitués sont indiqués dans le tableau 2.

Tableau 2: Systèmes agroforestiers considérés pour l'étude

Composition des SAFs	Arbres associés au cacaoyer	Densité
SAF1= arbres forestiers	Frake + Framiré	20+ 15
SAF2= arbres forestiers et fruitiers	Frake + Framiré + Akpi	10 + 15 + 10
SAF3= arbres forestiers et fruitiers	Frake + Framiré + Akpi + Kplé	10 + 10 +9+ 9

2.2.3 Collecte de données

Les données recueillies dans le cas de notre étude proviennent des données de source primaire supplémentées avec des données de source secondaire.

2.2.3.1 Données de source primaire

Ces données sont complémentaires aux données de source secondaire. Elles ont été collectées auprès des personnes ressources (SODEFOR, ONG Nitidæ, Industriels du bois). Les outils de collecte des données étaient des questionnaires individuels conçus pour les interviews. Aussi, nous avons utilisé l'application de collecte de données mobile « ODK Collect » pour l'inventaire floristique en vue de déterminer le carbone stocké par nos différents systèmes agroforestiers. Ces questionnaires nous ont permis d'obtenir des informations adaptées aux objectifs de notre étude.

2.2.3.1.1 Enquêtes

Les interviews ont été réalisés auprès de 105 producteurs, des commerçants et de la Société de Développement des Forêts (SODEFOR).

2.2.3.1.1.1 Producteurs

Les entretiens menés auprès des producteurs consistait à recueillir des informations concernant leurs pratiques agroforestières, le prix des plants, la production et les arbres associées au cacaoyer.

2.2.3.1.1.2 Commerçants

Nous avons interrogé vendeurs d'intrants agricoles et de produits phytosanitaires dans les marchés de la ville et des villages environnants. L'entretien portait sur trois (03) points : les prix de l'outillage, la durée d'usage du matériel, encore appelé durée de vie du matériel, les prix des produits phytosanitaires utilisés dans les agroforêts.

2.2.3.1.1.3 SODEFOR

Ces données ont été collectées auprès des agents techniques de la SODEFOR. Le prix du mètre cube obtenu (Tableau 3) nous a servi pour le traitement des données.

Tableau 3: Prix du mètre cube de quelques espèces forestières

Espèces	Prix du mètre cube (m ³) en FCFA	AME (année)	DME en (cm)
<i>Terminalia ivorensis</i>	25 000	25-30	30
<i>Terminalia superba</i>	25 000	25-30	30

Source : SODEFOR, 2020

AME : Age Moyen d'Exploitabilité

DME = Diamètre Moyen d'Exploitabilité

2.2.3.1.2 Inventaire dans les parcelles

L'inventaire a consisté à mesurer circonférences des arbres et également à relever leurs coordonnées géographiques.

2.2.3.1.2.1 Mesure des circonférences des arbres

Dans le cas de notre étude, nous avons pu mesurer qu'un seul prédicteur à savoir le diamètre sur les arbres forestiers et fruitiers. Le diamètre a été mesuré sur écorce à hauteur de poitrine (DHP = 1,30 m du sol). Les espèces forestières inventoriées à cet effet sont *Terminalia superba*, *Terminalia ivorensis*, *Ricinodendron heudelotii* et *Irvingia gabonensis*. L'outil utilisé pour la mesure des circonférences est le ruban forestier.

2.2.3.1.2.2 Prise de coordonnées géographiques des arbres

Ce sont l'altitude, la longitude et la latitude qui ont été enregistrées avec une erreur de positionnement de 3 m en moyenne selon la densité de la canopée dans la parcelle tout en restant dans le système géodésique WGS 84. Le format de position a été calibré sur le degré décimal. Les coordonnées ont été prises avec un GPS GARMIN de type MAP 64 et l'application de collecte de données mobile « ODK Collect ».

2.2.3.2 Données de source secondaire

Concernant les données de source secondaire, elles ont été collectées dans les bibliothèques numériques de PROTA (Plant Resources Of Tropical Africa), de GlobAllomeTree et aussi dans

des rapports du CIRAD (Agriculture Research of Développement) et de l'ICRAF (World Agroforestry Center).

- La base de données Web **PROTA4U**

PROTA4U contient des informations détaillées sur environ 9 000 plantes utiles d'Afrique tropicale : environ 2 000 articles de revue validés par des experts sur 4 000 espèces et des « kits de démarrage » sur les 5 000 autres espèces. Les articles de synthèse générés par PROTA sont disponibles en anglais et en français.

- **GlobAllomeTree**

GlobAllomeTree représente la première plate-forme Web internationale à partager et à donner accès aux équations allométriques des arbres, créée en 2013. Elle s'appuie sur le rôle de rassembleur et l'expertise technique de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). Cette plateforme englobe les équations allométriques, des données de volume des arbres, des données sur la biomasse et la densité du bois. Elle permet une évaluation du volume, de la biomasse et des stocks de carbone des arbres et des forêts.

2.2.4 Traitement et analyse des données

2.2.4.1 Estimation de la production annuelle des différentes espèces

La production totale pour chaque espèce est égale à la production estimée d'un arbre, multipliée par le nombre de pieds d'arbres présent sur un hectare. Mathématiquement, elle est exprimée par l'équation suivante :

$$Pt = Pi * N \quad \left[\begin{array}{c} 2 \end{array} \right]$$

Pt = Production totale de l'espèce, Pi = Production d'un arbre et N = Nombre de pied d'arbres sur l'hectare. Pour la catégorie des espèces forestières, la production totale est la production au mètre cube (m³) d'un arbre multiplié par le nombre de pied sur l'hectare.

2.2.4.2 Estimation du stock de carbone

2.2.4.2.1 Calcul de la biomasse aérienne

Dans le cadre de cette étude, le choix a porté sur l'estimation de la biomasse aérienne et nous avons utilisé la méthode non destructrice, du fait de la limite des moyens, du temps imparti, aussi du fait que l'abattage d'un arbre requiert une autorisation de l'administration forestière. Nos mesures ont été faites uniquement sur les essences forestières. Cependant la littérature fournit des données sur le stock de carbone contenu dans les cacaoyers qui est de 10 tC/ha dans

les études de Santhyami et al. (2018). Les travaux de Réjou et al. (2017), ont permis de mettre en place le package « BIOMASS » inclut dans le logiciel R/Rstudio. Ce package nous a permis d'estimer le stock de carbone de nos différents systèmes agroforestiers. «BIOMASS » exécute un certain nombre de tâches standard : (i) l'identification et correction de la taxonomie, (ii) l'estimation de la densité du bois à partir de l'identité des espèces d'arbres, (iii) la construction d'une allométrie locale hauteur-diamètre (H-D) avec les données de hauteur des arbres (iv) l'estimation des AGB (Aboveground Biomass) avec les erreurs associées.

Avec ce package, nous avons le choix d'estimer le stock de carbone selon deux approches :

- si des données de hauteur d'arbre sont disponibles, l'AGB (biomasse aérienne) est calculé à l'aide de l'équation suivante (Chave et al., 2014):

$$AGB = 0.0673 * (\rho * DHP * H)^{0.976} \quad \left[3 \right]$$

- si aucune donnée de hauteur d'arbre n'est disponible, l'AGB est calculé grâce aux coordonnées du site (Chave et al., 2014 ; Réjou-Méchain et al., 2017). Dans l'équation suivante, s'ajoute une variable qui quantifie le stress environnemental développé par Chave et al. (2014). Le facteur de stress environnemental E englobe la saisonnalité de la température, l'intensité de la sécheresse et la saisonnalité des précipitations et varie entre -0,2 et 1 à travers les forêts tropicales.

$$AGB = \exp \left(-2,024 - 0,896 * E + 0,920 * \log(\rho) + 2,795 * \log(DHP) - 0,0461 * (\log DHP^2) \right) \quad \left[4 \right]$$

ρ = Densité de l'espèce

H = hauteur totale d'un arbre

DHP = Diamètre à hauteur de poitrine

E = Facteur environnemental lié à la zone d'étude.

2.2.4.2.2 Détermination du taux de CO₂

Pour la détermination du stock de carbone, nous avons procédé à une conversion de la biomasse aérienne selon les recommandations de (Penman & IPCC, 2003). La détermination du stock de carbone est égale à 50% de la biomasse aérienne (AGB) calculée (Chenost et al., 2010). Après l'estimation de la quantité de carbone total contenu dans un arbre, le taux de CO₂ correspondant a été déterminé. Le CO₂ séquestré est obtenu en faisant intervenir le rapport des masses molaires du carbone et du CO₂. La masse de CO₂ est calculée par la formule suivante :

$$mCO_2 = AGB * MCO_2/MC \quad \text{soit} \quad mCO_2 = AGB * 44/12 \quad \left[5 \right]$$

2.2.4.2.3 Estimation de la valeur économique du carbone

Plusieurs marchés de carbone se sont mis en place depuis les années 2000. Cependant, nous avons opté pour les prix des marchés du Mécanisme de Développement Propre (MDP³) du protocole de Kyoto, des marchés volontaires et de la REDD+⁴. Le prix moyen de vente du crédit forestier est de 3 euro/tCO₂ pour le MDP, 4.7 euro/tCO₂ pour les marchés volontaires (Chenost et al., 2010).

2.2.4.3 Estimation des charges d'exploitation

Les éléments de coût ont été regroupés dans le tableur Excel 2019. Les valeurs des éléments de coût ont été additionnées pour trouver la valeur des coût totaux. Les charges d'exploitation ont été estimées à partir des données recueillies sur le terrain.

2.2.4.3.1 Coûts d'installation et de développement

Ce sont les coûts nécessaires pour l'installation et le démarrage des activités de l'exploitation et aussi pour le bon fonctionnement de l'exploitation avant l'entrée en phase de croisière. Son expression est renseignée dans le tableau ci-après. En ce qui concerne les plants introduits dans l'agroforet, le coût d'un lot de plants = Coût unitaire du plant * nombre de plants nécessaires.

2.2.4.3.2 Coûts de l'outillage

Ce sont des coûts imputés à l'achat des outils d'entretien de la parcelle. Les outils utilisés pour l'entretien des agrosystèmes sont : machettes, limes, brouettes, pulvérisateurs, bottes.

2.2.4.3.3 Coûts d'exploitation

Les coûts de d'exploitation sont les coûts indispensables lorsque la plantation a atteint la stabilité de la production.

2.2.4.3.4 Coûts totaux

Les charges d'exploitation ont été estimées à partir des données recueillies sur le terrain. Les valeurs des différents éléments de coût ont été additionnées pour trouver la valeur des coûts totaux.

Les formules mathématiques utilisées pour évaluer ces différents coûts sont répertoriées dans le tableau ci-dessous (Tableau 4).

Tableau 4: Formules mathématiques pour le calcul des coûts

³ Mécanisme de Développement Propre

⁴ Réduction des émissions dues à la déforestation et à la dégradation des forêts

Coûts	Formules	Explication
Coûts totaux	$CT = CI_D + CE + Am$	CT = Coûts totaux de production CI_D = Coût d'installation et développement CE = Coût d'exploitation A_m = Amortissement de l'investissement initial
Coûts d'installation et de développement	$CID = Co + Cps + Cn + Ce + Cpp + Cc$	Co = Coût de l'outillage Cps = Coût d'achat des plants Cn = Coûts de nettoyage Cp = Coûts de plantation Ce = Coût d'entretien Cc = Coûts de concassage Cpp = Coût des produits phytosanitaires
Coût de l'outillage	$\Sigma \text{coût des outils}$	
Coûts de d'exploitation	$CE = Ce + C_{pp} + Cc$	CE = Coûts d'exploitation Ce = Coût d'entretien C_{pp} = Coût des produits phytosanitaires Cc = Coûts de concassage

Source : Adapté de Eboutou (2009)

2.2.4.3.5 Modèle d'établissement des comptes d'exploitation

Les comptes d'exploitation ont été établis suivant le modèle du tableau 5.

Tableau 5: Modèle de compte d'exploitation des SAFs

Libellé	A1	A2	A2	A3	A4	A5
A. Coût d'installation						
Outillage						
Achat des plants de frake						
Achat des plants de framire						
Achat des plants de akpi						
Achat des plants de kplé						
Défrichage						
Plantation						

**B. Coûts de développement
/d'exploitation**

Entretien
Produits phytos
Frais de concassage akpi
Frais de concassage kple
Amortissement de l'investissement

**C. Coûts totaux de production
(A+B)**

D. Productions

Recettes issues de la vente de
Akpi
Recettes issues de la vente de kple
Recettes issues de la vente de
frake
Recettes issues de la vente de
framire
Recettes issues de la vente du
carbone

A1 : Année1 A2 : Année2

Source : Adapté de Matsop et al. (2008)

2.2.4.1 Estimation des recettes

Recette totale = Prix d'1 kg de produit * la quantité totale de produits en kg. Les prix de vente sont estimés par kilogramme ou par mètre cube. La recette annuelle pour chaque système est obtenue en additionnant les recettes issues de la vente des produits agroforestiers et celles issues de la vente du carbone.

2.2.4.2 Modélisation du stock de carbone

Dans cette partie de l'étude, nous allons utiliser le modèle de régression linéaire simple pour modéliser le stock de carbone (variable à expliquer) dans notre agroforêt. Le fait qu'une seule variable explicative (l'âge de la parcelle) est considérée dans ce modèle, nous pouvons par conséquent opter pour le modèle de régression linéaire simple. Notre échantillon était constitué de 100 individus. Ces données sur ces individus proviennent d'une part d'inventaire et d'autre part de la littérature. Les individus sont composés de *Terminalia superba*, *Terminalia ivorensis*, *Irvingia gabonensis* et *Ricinodendron heudelotii*. Des régressions linéaires ($y = b + ax$) liant le stock de carbone (y) et l'âge de la parcelle (x) ont été testées en utilisant le package « ggplot 2 » du logiciel R/Rstudio. Le choix du modèle final a été basé sur différents critères : un meilleur coefficient de détermination (R^2), une signification biologique et enfin un modèle assez simple pour garantir son adoption. Seul le modèle de régression déclaré significatif ($p < 0,05$), ayant

un coefficient de corrélation $r = 0,93$ (entre le stock de carbone et l'âge de la parcelle) et ayant un coefficient de détermination $R^2 = 0,87$ a été retenu.



CHAPITRE 3

RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 Enquêtes auprès des producteurs

3.1.1 Caractéristiques des producteurs

Ces caractéristiques concernent la répartition du sexe et l'origine des producteurs. Sur 105 producteurs enquêtés, nous avons enregistré 102 hommes soit 97% contre 3 femmes (3%). La majorité des producteurs enquêtés dans le cadre de cette étude sont allochtones (Figure 7).

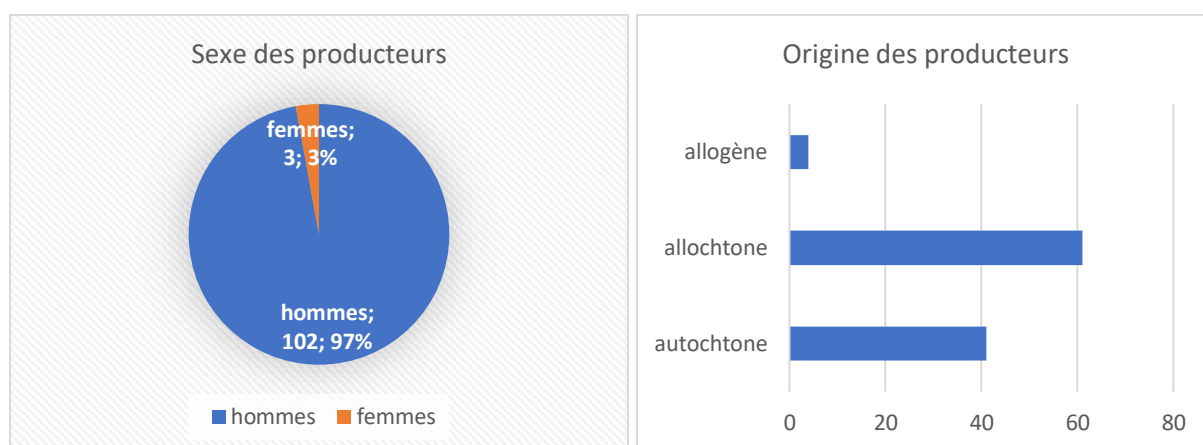


Figure 7: Caractéristiques des producteurs enquêtés

3.1.2 Répartition des producteurs pour chaque système agroforestier

Les systèmes agroforestiers sont repartis suivant le tableau 6.

Tableau 6: Répartition des systèmes agroforestiers

Systèmes agroforestiers	Espèces	Producteurs enquêtés	Pourcentage (%)
SAF1	Fraké	33	31,2
	Framiré		
SAF2	Fraké	57	54,3
	Framiré		
	Akpi		
SAF3	Fraké	15	14,5
	Framiré		
	Akpi		
	Kplé		

3.1.3 Prix de la boîte de *Irvingia gabonensis*

Les prix de la mangue sauvage recueillis auprès des producteurs dans le cadre de notre étude montrent qu'en période de carence, ceux-ci sont plus élevés qu'en période d'abondance. En effet, lorsque la demande est forte, le mango est plus demandé sur le marché d'où l'augmentation du prix. Le tableau 6 présente les prix moyens de la mangue sauvage recueillis auprès des producteurs.

Tableau 7: Prix moyen de *Irvingia gabonensis*

Villages	Prix moyen (1 boîte de 5 l) en F CFA	
	En abondance	En carence
ANAGUIÉ	2 500	5 000
RUBINO	3 000	6 000
ABOUA M'PO	2 500	5 000
ALANY	3 500	6 500

3.2 Estimation des productions annuelles des systèmes agroforestiers

3.2.1 Production par arbre des espèces fruitières

Les quantités produites par chaque espèce suivent l'évolution de la courbe de production des cultures pérennes. A partir de la septième année, la production des arbres est stable (voir tableau 7), c'est la raison pour laquelle il n'a pas été jugé utile de présenter ce tableau sur toute la durée de vie économique de la plantation. *Irvingia gabonensis* a une production bisannuelle c'est-à-dire que la fructification se fait généralement tous les deux ans (Eboutou, 2009).

Tableau 8: Evolution des rendements des arbres fruitiers

Spéculations	Unités	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
Kplé	kg/arbre		0	0	0	10	0	20	0	30	0
Akpi	kg/arbre	0	0	10	15	20	40	47	47	47	47

A=Année

3.2.2 Production par hectare pour chaque système agroforestier

La production totale obtenue pour chaque système est représentée par le tableau 8.

Tableau 9: Production par hectare des différents systèmes agroforestiers

SAFs	Espèces	Production (kg ou m ³ /arbre)	Production (kg m ³ /ha)
SAF1	Fraké	1,8	36
	Framiré	1,8	27
SAF2	Fraké	1,8	18
	Framiré	1,8	27
	Akpi	47	470
SAF3	Fraké	1,8	18
	Framiré	1,8	18
	Akpi	47	423
	Kplé	50	450

3.3 Estimation du stock de carbone dans les SAFs cacaoyers

Le SAF1 qui stocke 27,94 tC/ha représente le système qui enregistre le plus faible taux de carbone comparativement au SAF3 qui stocke à lui seul en moyenne 42,03 tC/ha. De ce fait, le SAF3 a un fort taux de stock de carbone parmi les 3 systèmes. Le SAF2 vient en seconde position avec 28,65 tC/ha (Figure 8).

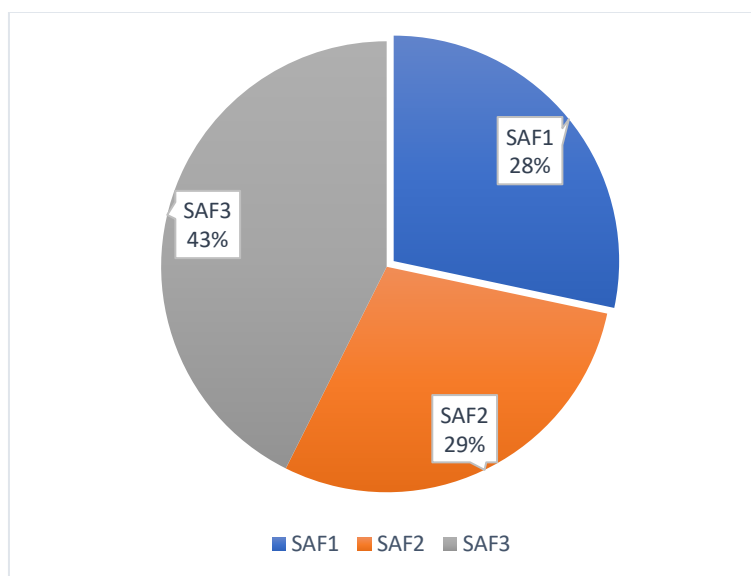


Figure 8: Estimation du stock de carbones dans les SAFs

Les SAFs considérés sont relativement jeunes comparés aux autres cacaoyères où des études similaires ont été menées au Cameroun et dont l'âge étaient de 40 ans (Jagoret, 2011). Les stocks de carbone des SAF1 et SAF2 qui valent respectivement 27,94 tC/ha et 28,65 tC/ha trouvés dans cette étude restent inférieures à celui trouvé par Temgoua et al. (2018). Ce résultat cependant supérieur à celui trouvé par Santhyami et al. (2018). Le SAF3 qui stocke 42.03 tC/ha, reste le meilleur système agroforestier. Cette valeur de carbone stockée par le SAF3 est similaire à celle trouvée par Oelbermann et al. (2006) et inférieure à celle trouvée par Nolte et al. (2001) dans une étude sur la caractérisation et l'estimation du stock de carbone dans les systèmes agroforestiers au Cameroun.

Ces différences sont probablement dues à la diversité des milieux et des densités des arbres mais également aux différentes équations allométriques utilisées et aussi à la variation d'espèces dans les trois (03) systèmes. Les agriculteurs souhaiteraient planter certaines espèces qui ont une forte valeur alimentaire et de production du bois mais qui actuellement ont une faible abondance dans leurs SAFs. Cependant plusieurs contraintes telles que l'absence de plants et la non maîtrise des techniques sylvicoles, la lente croissance des arbres et l'excès

d'ombrage, sont les freins à cette introduction. La rentabilité économique directement liée à l'action d'introduire des arbres dans les SAFs n'intervient que plusieurs années plus tard en raison de la lente croissance de ces derniers et les agriculteurs n'ont pas toujours cette patience. Bien que les cacaoyers nécessitent de l'ombrage, Gala et al. (2017) ont montré qu'un excès d'ombrage ralentit la croissance notamment parce que les plants de cacaoyers entrent en compétition avec les arbres pour la lumière et les éléments minéraux du sol. Plusieurs de ces contraintes à l'introduction des arbres citées par les agriculteurs peuvent être levées par une assistance à la production et à la distribution du matériel végétal de qualité et un renforcement des leurs capacités pour la plantation et la gestion des arbres.

3.4 Relation entre le stock de carbone et le diamètre des arbres

La Figure 9 nous présente la relation entre un paramètre dendrométrique : DHP (Diamètre à Hauteur de Poitrine) et le stock de carbone ($\text{tC} \cdot \text{ha}^{-1}$). Ce graphe montre que le diamètre est bien corrélé au stock de carbone, car le coefficient de corrélation est $r = 0,98$, proche de 1 pour une p-value inférieure à 0,05. De plus nous remarquons que pour un DHP de 51 cm nous avons une séquestration de 1.5 tC/ha en moyenne (Figure 9). En effet ces valeurs lues sur le graphe sont identiques à celle calculées. Il existe effectivement une forte corrélation positive entre le stock de carbone et le diamètre des arbres.

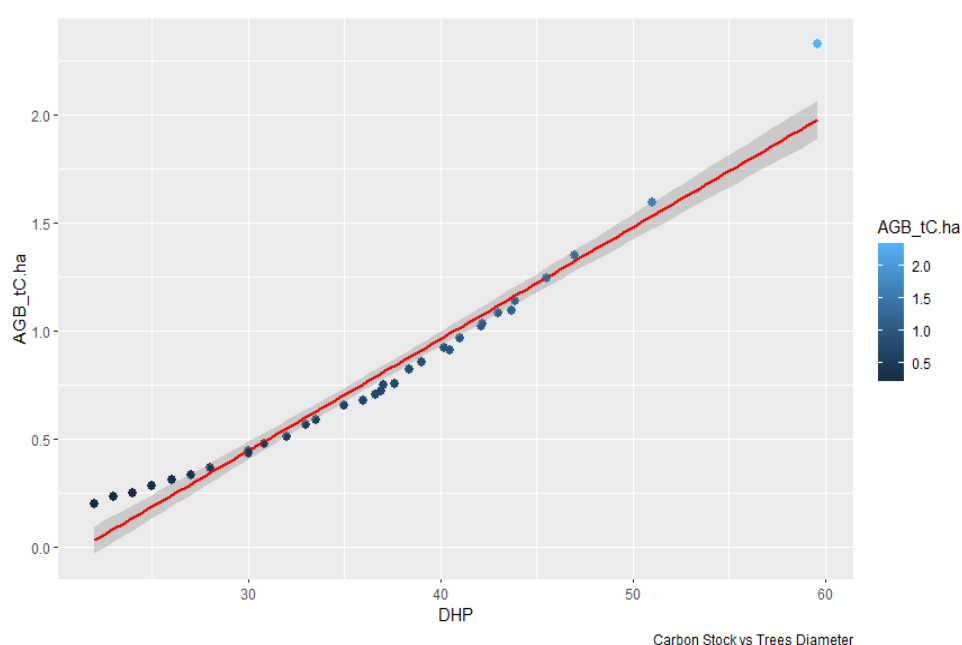


Figure 9: Relation entre le stock de carbone et le diamètre des arbres

La quantité de carbone séquestrée par les arbres augmente avec le diamètre des arbres associés à la cacaoyère. La plus grande partie du carbone est stocké par les arbres associés de diamètre

supérieur à 30 cm. Ces observations ont été révélées par Temgoua et al. (2018) dans une étude sur les systèmes agroforestiers au Cameroun.

3.5 Estimation des charges d'exploitation

Les éléments qui ont été pris en compte pour la détermination des coûts de nos différents SAFs sont respectivement : les coûts d'installation et développement, auxquels il faut ajouter les coûts de d'exploitation et l'amortissement, pour ainsi constituer les coûts totaux de production.

3.5.1 Coûts d'installation et développement

Les coûts d'installation et développement des différents systèmes comprennent :

- L'outillage
- La main d'œuvre pour le défrichage du terrain, le piquetage, la trouaison, et la plantation
- L'achat des plants (akpi, kple, frake et framiré)

3.5.1.1 Outillage

Plusieurs matériels (outils) sont utilisés par les producteurs pour la mise en œuvre et la gestion de la cacaoyère. On peut lister machette, bottes, brouette, lime, pulvérisateur, décamètre. Le tableau 9 présente les prix des différents outils nécessaires pour la gestion d'un SAF-Cacaoyer.

3.5.1.2 Main d'œuvre/ le travail

La majorité des producteurs enquêtés utilisent la main d'œuvre familiale pour réaliser les différentes activités qui implique la gestion du SAF⁵. Ils emploient également de la main d'œuvre (MO) salariée à des degrés divers en fonction des zones et de l'intensité des activités. Le tableau ci-dessous (Tableau 10) présente les valeurs monétaires des activités de l'agroforêt.

3.5.1.3 Achat des plants

Nous choisissons l'option où les plants introduits dans les agroforêts sont tous achetés. Le paysan n'a donc pas besoin de faire une pépinière pour avoir les plants dont il a besoin. Le Tableau11 nous présente le prix des différents plants utilisés dans les agroforêts. Ces prix sont donnés par la société AGRO-MAP⁶, qui d'ailleurs est spécialisée dans la production de plants forestiers et fruitiers.

⁵ Système Agroforestier

⁶ Société de développement des projets de durabilité et de prestation de service dans le domaine agricole

Tableau 10: Outillage de l'agroforêt

Outils	Quantités	Coût unitaire (FCFA)	Coût total (FCFA)	Durée d'usage en (Années)	Amortissement annuel
Machette	2	2 500	5 000	1	5 000
Bottes	1	4 000	4 000	1	4 000
Brouette	1	16 000	16 000	3	5 333
Lime	2	1 000	2 000	1	2 000
Pulvérisateur	1	20 000	20 000	6	3 333
Paniers	2	2 000	4 000	1	4 000
Gants	1	1 000	1 000	1	1 000
Plantoir	1	2 000	2 000	2	1 000
Décamètre5m	1	5 000	5 000	3	1 666
Sécateur	1	4 500	4 500	3	1 500
Couteau	2	1 000	2 000	2	1 000
Houe	2	1 500	3 000	1	3 000
Seau	2	1 500	3 000	2	1 500
Arrosoir	1	15 000	15 000	3	5 000
Total			86 500		39 300

Tableau 11: Activités impliquant une main d'œuvre dans l'agroforêt

Activités	Nombre de jours de travail nécessaires	Coût de la journée de travail (FCFA)	Coût/ha de la MO (FCFA)
Défrichage	12	2 500	30 000
Piquetage	4	2 500	10 000
Trouaison	11	2 500	27 500
Plantation	11	1 000	11 000
Total	36		78 500

Tableau 12: Coûts des plants

SAF	Quantité (plants/ha)	Prix unitaire (FCFA)	Coût total (FCFA)
SAF1	Fraké : 20	250	5 000
	Framiré : 15	250	3 750
SAF2	Fraké : 10	250	2 500
	Framiré : 15	250	3 750
	Akpi : 10	200	2 000
SAF3	Fraké : 10	250	2 500
	Framiré : 10	250	2 500
	Akpi : 9	200	1 800
	Kplé : 9	250	2 250
Total			26 050

3.5.2 Coûts d'exploitation

Ces coûts interviennent après le développement dans la phase de croisière où la production est stable. Ils prennent en compte l'entretien et la préparation pour la vente.

3.5.2.1 Coûts d'entretien

Le nettoyage de la parcelle est l'activité qui a le coût de journée de travail le plus élevé avec 2 500 FCFA alors que le ramassage des fruits sont moins coûteux en main d'œuvre (Tableau 12). En définitive dans notre étude, les coûts d'entretien et de traitements phytosanitaires valent 52.000 FCFA par hectare dans les SAFs; une valeur bien en dessus de celle trouvée par Todem (2015). En faisant le bilan financier de quelques systèmes de cacaoculture, cet auteur a trouvé une somme de 82.476 FCA affectée aux opérations d'entretien et de traitement phytosanitaire.

Tableau 13: Entretien et traitements phytosanitaires

Opérations	Nombre de jours de travail nécessaires	Coût de la journée de travail (FCFA)	Coût/ha de la MO (FCFA)	Coût des produits (FCFA)
Taille	1	2 000	2 000	-
Nettoyage de la parcelle	12	2 500	30 000	-
Traitements insecticides	1	-	10 000	15 000
Traitements Herbicides	1	-	10 000	10 000
Ramassage de akpi et kplé	3	1 500	4 500	-
	18		57 000	25 000

3.5.2.2 Préparation pour la vente

3.5.2.2.1 Coûts de concassage

La production des amandes de akpi et de kplé nécessite une série d'opérations complexes que nous résumons sous le terme de concassage. Les espèces qui nécessitent le concassage sont principalement le manguier sauvage ou kplé et le akpi. Selon les informations recueillies lors d'une étude auprès des paysans (CIFORT, 1996), lorsqu'un paysan aide un autre à concasser les fruits d'un arbre de kplé, celui-ci le récompense en lui donnant un seau d'amandes. Par analogie, nous constatons donc que le producteur devra dépenser un seau chaque fois qu'il se fera aider pour exploiter les fruits d'un arbre de kplé. Or dans les informations recueillies chez les producteurs et sur le marché, le prix moyen du seau estimé selon la littérature à 2.500 FCFA. Donc, si le producteur a 10 arbres sur un hectare, les frais de concassage vont lui coûter $2.500 \times 10 = 25.000$ FCFA. Les frais de concassage de akpi sont évalués à 660 en moyenne FCFA pour 1 kg d'amandes prêtes à être vendues (Nakuna, 2009).

3.5.2.2.2 Matériels utilisés pour le conditionnement des produits

Les coûts supplémentaires de préparation ou conditionnement pour la vente comprennent les matériels utilisés pour transporter et pour stocker les produits. Le Tableau 13 fait l'inventaire des matériels utilisés pour le stockage des produits par hectare.

Tableau 14: Eléments entrant dans les coûts de préparation pour la vente

Produits	Sacs pour l’emballage	Coût unitaire (F CFA)	Coût total (F CFA)
Akpi	14	200	2 800
Kplé	26	200	5 200
Total	40		8 000

3.5.3 Coûts totaux de production

Les coûts totaux de production représentent la somme des coûts d’installation (CI), des coûts de développement (CD), des coûts de fonctionnement, et l’amortissement. Les coûts de production dans les systèmes varient 295 050 FCFA/ha pour les coûts les plus faibles et 340.550 FCFA/ha pour les coûts les plus élevés (Figure 10). La littérature consultée sur les coûts totaux de production renseigne sur une valeur de 155 302 FCFA/ha (Todem, 2015). De façon générale, les coûts de production calculés dans cette étude sont supérieurs à ceux trouvés dans la littérature.

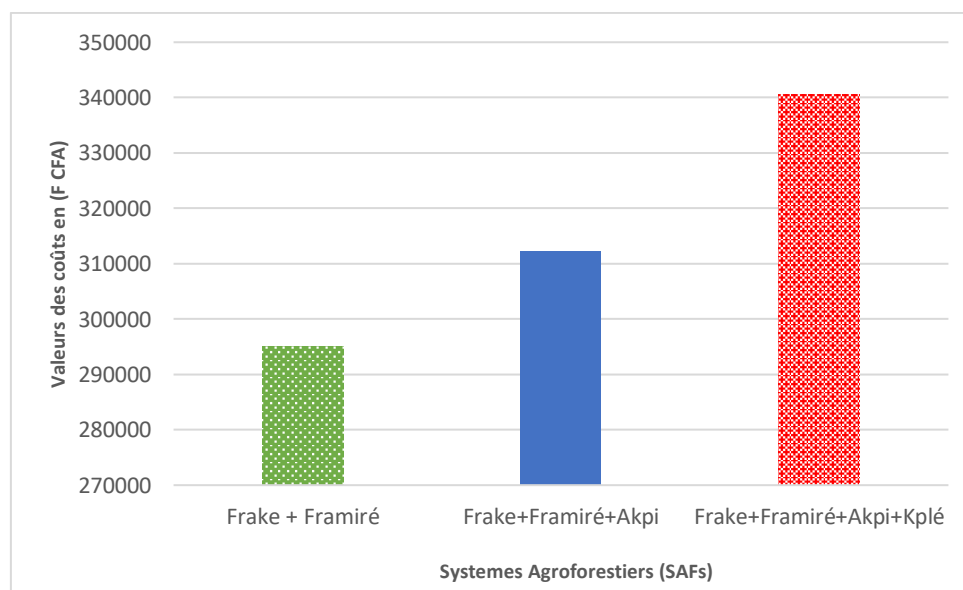


Figure 10: Coûts de production annuels moyens des SAFs

Dans cette étude, les coûts de production moyens annuels sont moins élevés pour le système ‘frake+framire’ car ils ne valent que 295 050 FCFA, comparativement au système ‘frake+framire+kple+akpi’ dont les coûts moyens annuels de production valent 340 550 FCFA. Cette différence certainement due au fait que plus le système est diversifié, on aura à utiliser plusieurs d’intrants dans notre système de production. Notamment l’achat des plants qui s’y

ajoutent. Cette hypothèse a été confirmée par Todem (2015) lors d'une étude sur systèmes agroforestiers à base de cacaoyer.

3.6 Recettes générées par les systèmes agroforestiers

3.6.1 Recettes issues des produits forestiers et fruitiers

Les recettes générées par les systèmes proviennent de la vente des produits agroforestiers (PAF) et de la vente des arbres associés à maturité. Une étude menée par Ahoba et al. (2017), montre que le Fraké de plantation produit des billes de bonne rectitude dont les dimensions sont relativement élevées en longueurs (13 à 21 m) et en diamètres (25 à 50 cm). Les Frakés et Framiré de 32 ans, issus de plantation, ont un volume moyen de 1,800 m³ par arbre (Ahoba et al., 2017). Le tableau 14 présente les recettes issues de l'agroforêt au cours de la phase de croisière de production dans le système composé des cacaoyers, des akpi, kplé, framiré et fraké. Comme dans le cas des produits agricoles en général, les prix des PAFs⁷ dont il est question ici dépendent dans une large mesure de la loi de l'offre et de la demande.

Tableau 15: Recettes issues de l'agroforêt

SAF	Production par arbre en (kg ou m ³)	Prix du produit en (FCFA/kg ou FCFA/m ³)	Quantité d'arbres	Recettes totales en (FCFA)
SAF1	Fraké : 1,8	25 000	20	900 000
	Framiré : 1,8	25 000	15	675 000
SAF2	Fraké : 1,8	25 000	10	450 000
	Framiré : 1,8	25 000	15	675 000
	Akpi : 47	800	10	376 000
SAF3	Fraké : 1,8	25 000	10	450 000
	Framiré : 1,8	25 000	10	450 000
	Akpi : 47	800	09	338 400
	Kplé : 50	2 500	09	1 125 000
Total				5 434 000

⁷ Produits Agroforestiers

Selon la SODEFOR⁸, le prix du mètre cube du frake et framire est évalué à 25 000 F CFA respectivement. En plus de l'ombrage qu'ils procurent aux vergers de cacao qui sont considérés comme des espèces sciaphiles pendant la période juvénile, ces deux espèces représentent une meilleure source de diversification de revenus pour les producteurs. En ce qui concerne le akpi, le kilogramme lorsque la demande est forte est à 1.500 FCFA, et à 800 FCFA en période d'abondance (Nakuna, 2009). Pour ce qui est du kple, le kilogramme d'amandes séchées coûte 2.500 FCFA en périodes d'abondance et 8.000 FCFA en période de carence (Eboutou, 2009).

3.6.2 Recettes issues de la vente du carbone

Les systèmes agroforestiers 1 et 2 (SAF1 et SAF2) ont enregistré quasiment les mêmes taux de carbone séquestré. Pour le système 1, le taux est évalué à 51,22 tCO₂/ha contre 52,22 tCO₂/ha pour le SAF2. C'est le SAF3 qui stock plus de carbone, le taux est élevé à 77,07 tCO₂/ha (Tableau 15). Par analogie, nous disons que le SAF3 a la recette le plus élevé en considérant le stock de carbone.

Tableau 16: Valeur économique du stock de carbone dans les SAFs

Systèmes Agroforestiers (SAF)	Types de carbone	Valeurs	Valeur économique du carbone	
			MV (2 585 F CFA /t)	MDP (1 650 F CFA /t)
SAF1	Biomasse aérienne (tC/ha)	27,94		
	Taux de CO ₂ (tCO ₂ /ha)	51,22	132 400	84 510
SAF2	Biomasse aérienne (tC/ha)	28,65		
	Taux de CO ₂ (tCO ₂ /ha)	52,51	135 735	86 530
SAF3	Biomasse aérienne (tC/ha)	42,03		
	Taux de CO ₂ (tCO ₂ /ha)	77,07	199 045	127 050

MV : Marché Volontaire

MDP : Mécanisme de Développement Propre

ha : hectare

t : tonne

3.6.3 Recettes annuelles totales de chaque système agroforestier

Les recettes annuelles générées par les SAF1 et SAF2 sont sensiblement égales. Elles sont évaluées à 1 574 365 à 1 695 385 FCFA selon le marché de carbone utilisé. Le SAF3, système

⁸ Société de Développement des Forêts

le plus diversifié génère plus de recettes et constitué de ‘frake+framire+akpi+kple’ atteint lui seul 2 544 350 FCFA. Les recettes moyennes issues de l’exploitation des PAFs dans nos agroforêts peuvent être appréciées avec la Figure 11.

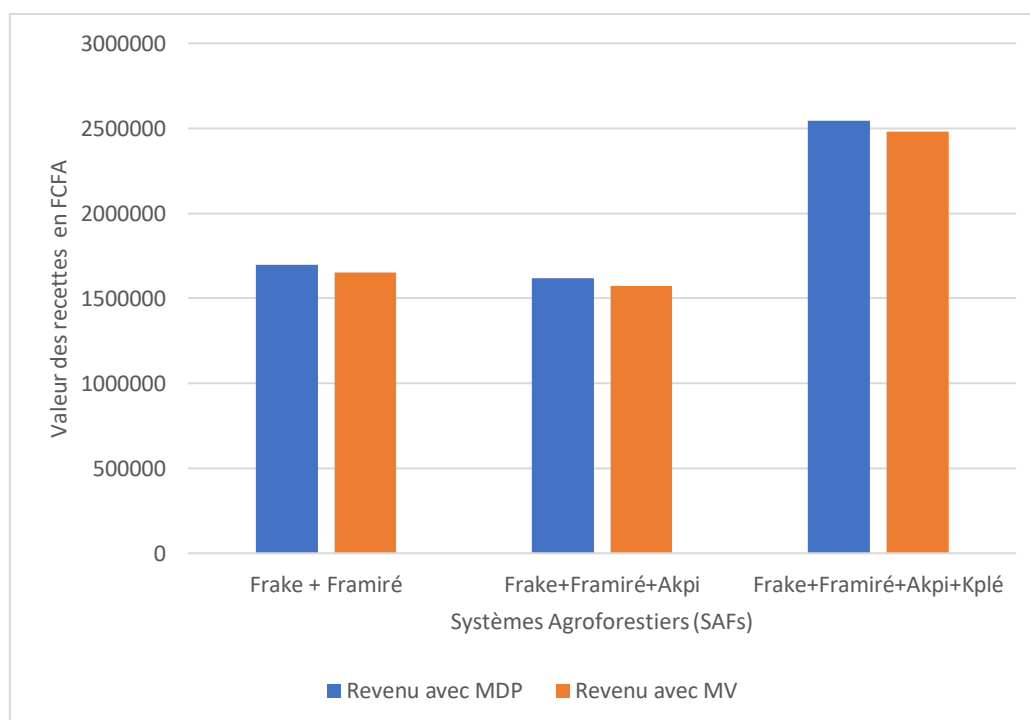


Figure 11: Recettes annuelles moyennes des SAFs en fonction des marchés de carbone

En comparant nos résultats aux résultats de Todem (2005), nous nous rendons compte que le revenu moyen trouvé par cet auteur reste inférieur à ceux trouvés dans nos différents systèmes. Ces différences observées surtout entre les SAF1 et SAF2 d’une part et le SAF3, système plus diversifié d’autre part peut s’expliquer par l’introduction de *Irvingia gabonensis* dans ledit système (SAF3). En effet, la valeur marchande de *Irvingia gabonensis* est beaucoup plus élevée comparée à celle de akpi. Eboutou (2009) confirme cette affirmation dans une étude réalisée sur les systèmes agroforestiers à cacaoyer.

3.7 Comptes d’exploitation et résultats nets des systèmes agroforestiers

Les comptes d’exploitation permettent d’apprécier les activités d’exploitation du planteur sur une période donnée. La comparaison des résultats annuels nets des systèmes (Figure 12), permet de se rendre compte que le SAF1, constitué de Fraké et Framiré a la valeur la plus faible annuellement alors que le SAF3 composé de Fraké et Framiré, Kplé, et Akpi a la valeur la plus élevée. Ce résultat net se dégage des coûts et des recettes précédemment calculés.

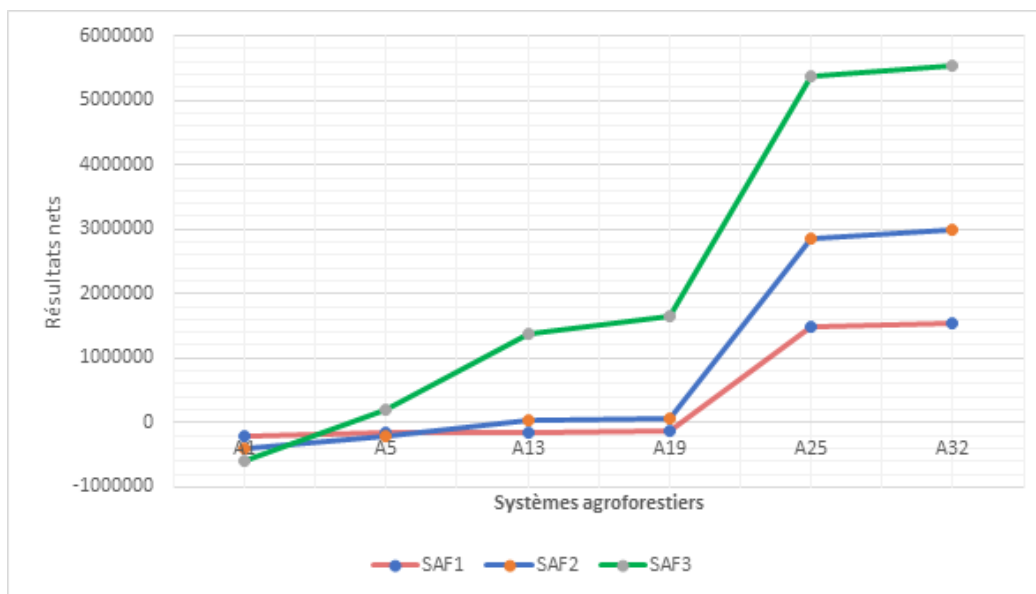


Figure 12: Résultats annuels nets des SAFs

Les trois systèmes agroforestiers ont un résultat net négatif la première année de mise en place de la parcelle. À partir de la 5^e année, le SAF3 génère déjà un résultat net positif, tandis que les résultats nets des deux autres systèmes demeurent toujours négatifs. Ce n'est qu'à partir de la 19^e année que le SAF1 commence à générer un résultat net positif. Quant au SAF2, son premier résultat net positif commence dès la 10^e année. Les résultats des études effectuées par Eboutou (2009) montrent que plus un système agroforestier est diversifié, plus il est rentable. En effet, dans notre cas nous constatons ces mêmes résultats. Par conséquent le système le plus rentable et conseillé dans le cadre de notre étude est le système 3 (SAF3) composé de frake+framiré+kple+akpi. Par ailleurs, en plus de la forte rentabilité économique qu'offre ce système, il permet une conservation de la biodiversité.

3.8 Modélisation du stock de carbone en fonction de l'âge de l'agroforêt

Le système agroforestier 3 (SAF3) a un potentiel de stockage plus élevé et aussi un résultat net élevé par rapport aux deux autres systèmes (SAF1 et SAF2). Pour ces raisons, notre modèle a été conçu pour le SAF3.

Le test de corrélation de Pearson montre que le stock de carbone est corrélé positivement à l'âge de l'agroforêt. En effet l'indice de corrélation $r = 0.93$ et $p\text{-value} < 0.01$. Par conséquent nous pouvons aisément rejeter l'hypothèse nulle et affirmer que les deux variables sont dépendantes. Les coefficients de régression ont été calculés et nous avons trouvé $a = 1,88$ et

$b=0,62$. La valeur de l'ajustement de la courbe par analyse de régression à l'aide du coefficient de corrélation obtenu ($R^2 = 0,87$) étant très proche de 1, cela dénote une très bonne régression.

L'équation de droite trouvée pour notre modèle est donc : ***Carbon* = 1.88**Age* + 0,62** (Figure 13). L'erreur associée au modèle est : $\pm 2,43$ tC.

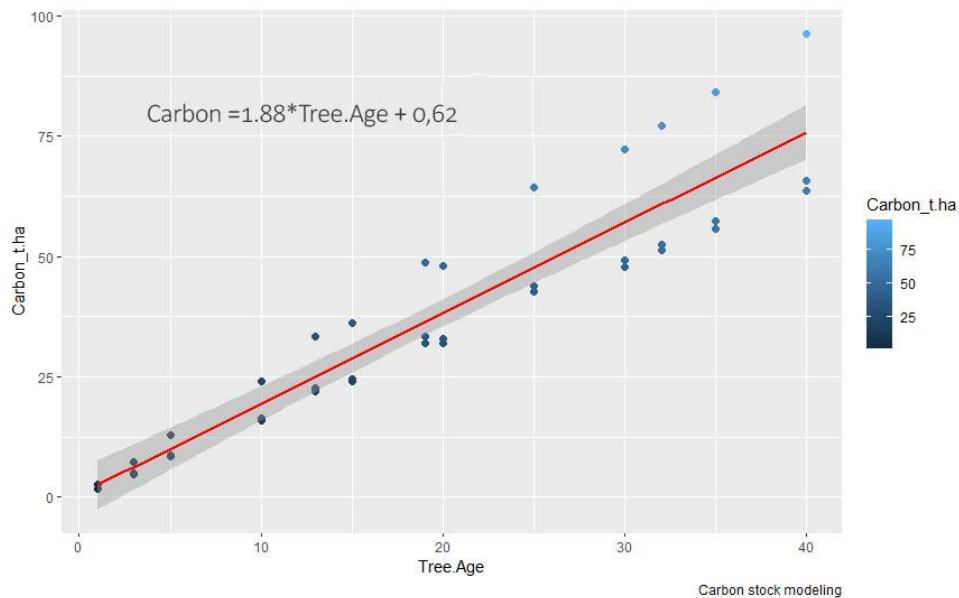


Figure 13: Modélisation du stock de carbone

À l'instar des résultats obtenus, on peut admettre le stock de carbone évolue positivement avec l'âge de l'agroforêt. En effet, plus l'âge de la parcelle augmente, plus le stock de carbone est élevé. La régression linéaire a été adoptée par plusieurs travaux de recherche visant l'établissement d'un modèle qui permet la prédiction de la biomasse (Stock de carbone) (Abdelwahed et al., 2001). Pieper (1998) note que la plupart des régressions utilisées pour la prédiction du stock de carbone ont donné des coefficients de détermination qui varient de 0,86 à 0,99. Le coefficient de détermination trouvé dans notre étude appartient à l'intervalle de coefficient de corrélation trouvé par Pieper (1998).

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

CONCLUSION

La détermination du stock carbone et l'étude économique des systèmes agroforestiers à cacaoyer sont des éléments importants dont il faut tenir compte dans les propositions d'alternatives d'amélioration des revenus faites aux producteurs ; car un tel espace garantit une source régulière et soutenue des revenus issus de la vente des produits agroforestiers.

Cette étude a consisté à évaluer le stock de carbone et la rentabilité financière des agroforêts à base de cacao dans le département de Agboville. Pour ce faire, la production des arbres introduits, le stock de carbone, les calculs des coûts, des recettes et profits, ont été estimés.

Les principales investigations montrent que les paysans accordent une valeur particulière à certaines espèces qu'ils maintiennent volontairement dans leurs cacaoyères. Il s'agit majoritairement de *Terminalia superba*, *Terminalia ivorensis*, de *Irvingia gabonensis* et de *Ricinodendron heudelotii*. Ces arbres lorsqu'ils sont associés au cacaoyer forment une agroforêt, procurent de l'ombrage aux cacaoyers et permettent de diversifier les revenus des producteurs et la biodiversité. Les coûts de production annuels sont imputables à plusieurs éléments indispensables au fonctionnement de l'agroforêt. Les coûts les plus élevés reviennent au système le plus diversifié qui est aussi le système le plus pourvoyeur en revenus.

Cette analyse permet de se rendre compte que les agroforêts à base de cacao sont rentables uniquement dans les conditions de diversification, c'est-à-dire lorsqu'elles sont enrichies par des arbres fruitiers et arbres d'ombrage. L'étude a également montré que toutes les associations n'ont pas le même niveau de rentabilité, et qu'il y a des combinaisons qui sont plus intéressantes que d'autres. A cet effet, l'association « frake+framire+kple+akpi » est la plus intéressante et rentable. De plus, elle utilise de manière efficiente les ressources disponibles.

RECOMMANDATIONS

Face au phénomène de déforestation observé, l'agroforesterie représente une alternative pour résister face au changement climatique. En effet, l'agroforesterie permet de conserver la biodiversité et de diversifier les revenus des producteurs.

Dans le souci de valoriser l'agroforesterie et participer à son adoption par les producteurs, nous avons pensé que les efforts synergiques de plusieurs acteurs permettraient d'obtenir les résultats escomptés.

Aux producteurs, nous recommandons d'enrichir leurs parcelles cacaoyères avec *Terminalia superba* (Fraké) et *Terminalia ivorensis* (Framiré) pour l'ombrage et aussi, *Ricinodendron heudelotii* (Akpi) et *Irvingia gabonensis* (Kplé) pour la consommation des fruits et la diversification de revenus. Nous leur proposons en outre de beaucoup plus intégrer des plants de *Irvingia gabonensis* dans leurs cacaoyères car ils ont une valeur marchande plus élevée. Mais du fait qu'ils ont une entrée en production un peu tardive, nous leur suggérons d'intégrer aussi les plants de Fraké ou Framiré dès la mise en place du SAF à cause de l'ombrage qu'ils procurent aux cacaoyers. De manière générale pour tous les arbres étudiés dans cette étude, nous suggérons une association selon les goûts et les préférences des producteurs

À AGRO-MAP, notre structure d'accueil, nous proposons de former des agents à l'inventaire forestier en vue de mesurer les paramètres dendrométriques (diamètre et hauteur) des arbres plantés dans les agroforêts à un intervalle d'années précises afin d'avoir des données pratiques pour la modélisation du stock de carbone et le revenu des SAFs développés. Aussi, nous proposons de renforcer la capacité des producteurs dans la pratique de l'agroforesterie à base de cacaoyers par l'organisation de formations et d'échanges d'expériences entre producteurs.

Aux organismes de recherche, nous suggérons d'intensifier des études dans le domaine de la rentabilité des agroforêts à base de cacaoyer afin d'enrichir davantage la littérature sur ce sujet.

À l'Etat, nous recommandons de mettre sur pied de centres d'expérimentation et de recherche en agroforesterie au niveau national et local qui fourniraient des informations sur les aspects économique et écologiques des systèmes agroforestiers, afin d'aider les agriculteurs à prendre des décisions à court, moyen et long terme, lesquelles leur permettraient d'investir dans les systèmes agroforestiers les plus rentables. Ensuite, Faciliter l'obtention de l'agrément d'exploitation du bois pour les producteurs afin qu'ils puissent exploiter les arbres plantés dans leurs agroforêts à maturité. Enfin, Former les producteurs aux métiers de transformation des produits agroforestiers (PAFs).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abdelwahed, L., Amine, C., & Hichem, B. S. (2001). Prédiction de la biomasse aérienne d'*Acacia cyanophylla* Lindl. (Syn. *A. saligna* (Labill.) H. Wendl) à partir de mensurations dimensionnelles. *INRA, EDP Sciences*, 2002, 335, 6 p.
- Ahoba, A., Issali, A. E., Gnaoré, L. C., Gbogbo, A. G., & Kouadio, M. K. (2017). Le bois du frake issu de plantation exprime aussi de bonnes qualités technologiques. *Journal of Applied Biosciences*, 106(1), 10215, 9 p. <https://doi.org/10.4314/jab.v106i1.1>
- Alexandre, Y.-D. (2002). Initiation à l'agroforesterie en zone sahélienne : Les arbres des champs du Plateau Central au Burkina Faso. *IRD Éditions et KARTHALA*, 234 p.
- Awono, A. (2007). Projet pour la mobilisation et le renforcement des capacités des petites et moyennes entreprises paysannes en relation avec l'exploitation des produits forestiers non ligneux au Cameroun et en RDC étude de base sur la mangue sauvage. *Centre for International Forestry Research, CIFOR*, 39 p.
- Baumer, M. (1987). *Agroforesterie et désertification. Centre technique de coopération agricole*, 259 p.
- Bene, J. G., Beall, H. W., & Côté, A. (1977). *Trees, food, and people : Land management in the tropics*. International Development Research Centre, 52 p.
- Brown, S. (1997). Estimating biomass and biomass changes of tropical forests: A primer. *PAO Forestry Paper 134, Rome, Italy*, 14 p.
- Chabot, I. (1997). *Etude de la filière des produits forestiers non ligneux au Gabon* (Gabon) [Thesis, Université de Paris-Val-de-Marne], 268p. <https://agritrop.cirad.fr/507190/>
- Chave, J., Andalo, G., Brown, S., Cairns, M. A., Chambers, J. Q., Eamus, D., Fromard, F., & Nelson, B. W. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145, pp. 87-99.
- Chave, J., Réjou, M. M., & Burquez, A. (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, 20, pp. 3177-3190.
- Chenost, C., Gardette, Y.-M., Demenois, J., Grondard, N., & Perrier, M. (2010). Les marchés du carbone forestier ; Bringing forest carbon projects to the market. *ONF International (ONFI)*, 173 p.
- CIFORT. (1996). *Annual report. CIFOR, Jakarta, Indonesia*, 71 p.
- Clay, J. (2004). *World Agriculture and the Environment : A Commodity-By-Commodity Guide To Impacts And Practices*. Island Press, 594 p.

- Dawkins. (1961). *Tree survival in the absence of éléphants in the AKEGERA national parc, RWANDA*, 32 p.
- Djomo. (2010). Allometric équations for biomass estimations in cameroon and pan moist tropical équations including biomass data from africa. *Forest ecology and management* 260, pp. 187-1885.
- Dorvil, W. (2010). Evaluation de la biomasse et des stocks de carbone sur des placettes forestières en forêts tropicales humides de Guadeloupe. *Université des Antilles et de la Guyane*, 45 p.
- Duguma, B., Gockowski, J., & Bakala, J. (2001). Smallholder Cacao (*Theobroma cacao* Linn.) cultivation in agroforestry systems of West and Central Africa : Challenges and opportunities. *Agroforestry Systems*, 51(3), pp. 177-188. <https://doi.org/10.1023/A:1010747224249>
- Durot, C. (2013). Evaluation et comparaison des stocks de carbone des systèmes agroforestiers à base de cacaoyers du Centre Cameroun. *Mémoire de Fin d'Etude, Montpellier SupAgro*, 83 p.
- Eboutou, L. Y. (2009). Rentabilité financière des agroforêts à base de cacao enrichies par des arbres domestiqués dans le bassin de production du centre, Cameroun. *Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome, option : économie et sociologie rurales*, 129 p.
- Eyog, M. O., Ndoye, O., Kengue, J., & Awono, A. (2006). *Les fruitiers forestiers comestibles du Cameroun*. International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI), IITA, Cotonou, Bénin, 52 p.
- FAO. (2015). *Promouvoir l'agroforesterie dans les politiques publiques*. <http://www.fao.org/3/a-i3182f.pdf>
- Foresta, H. de, & Michon, G. (1996). Etablissement et gestion des agroforêts paysannes en Indonésie : Quelques enseignements pour l'Afrique forestière. *Fonds IRD ; Montpellier (Centre IRD)*, 22 p.
- Gala, B. T. J., Yves, B. N., Faustin, A. O., & Albert, Y.-K. (2017). Impact Des Arbres Associés Sur L'exploitation Cacaoyère Dans Les Zones De Transition ForêtSavane : Cas De M'Brimbo (Centre-Sud De La Côte d'Ivoire). *European Scientific Journal, ESJ*, 13(1), 164 p. <https://doi.org/10.19044/esj.2017.v13n1p164>
- Haubert, M. (1998). Les projets de développement agricole. Manuel d'expertise. *Revue Tiers Monde*, 39(153), pp. 212-214.

- Jagoret, P. (2011). Analyse et évaluation de systèmes agroforestiers complexes sur le long terme : Application aux systèmes de culture à base de cacao au Centre Cameroun. *Montpellier Sup Agro*, 288 p.
- Kouame, N. M.-T., Mangara, A., Soro, K., & N'Guessan, K. (2016). Etude de la germination des graines de *Irvingia gabonensis*, Centre-Ouest de la côte d'ivoire dans la région du Gôh. *Passages de Paris*, 11 p.
- Lapuyade, S. (2000). Résumé de l'évaluation des impacts sociaux et environnementaux des activités de la CFC. *La forêt prise en otage/Cameroun.*, 8 p.
- Loubota, P., & Grace, J. (2020). Biomasse et Stocks de Carbone En Afrique Centrale : Importance de l'allométrie Des Arbres. *BOIS & FORETS DES TROPIQUES*, 343, pp. 85-86.
- Matsop, A. S. T., Kamajou, F., Muluh, G. A., & Takam, M. (2008). Analyse économique de la structure des coûts de production apicole au Cameroun. *Tropicultura*, 220-223.
- Moumouni, I., Toko, I., & Toko, I. (2019). *Estimation de la variabilité de la biomasse aérienne ligneuse en forêt tropicale sèche : Cas de la forêt classée de Wari-marô au Centre Bénin.* 19 p.
- Nair, Kumar, B. M., & Haile, S. G. (2009). Soil carbon sequestration in tropical agroforestry systems : A feasibility appraisal. *Environmental Science & Policy*, 12(8), 1099-1111p. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2009.01.010>
- Nair, P. K. R. (1993). An introduction to Agroforestry. *Kluwer Academic Publishers / ICRAF*, 499 p.
- Nakuna, T. A. M. (2009). Analyse du fonctionnement de la filière njansang (*ricinodendron heudelotii*) : Estimation des couts et des marges des acteurs (cas de la région du centre, Cameroun). *Mémoire de fin d'études présenté en vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur Agronome. Économie Rurale*, 103 p.
- Ndoye, O., Eyebe, A., & Vantomme, P. (2000). L'influence de la commercialisation des produits forestiers non ligneux sur la dégradation des ressources forestières en Afrique Centrale : Le rôle de la recherche dans l'équilibre entre le bien-être des populations et la préservation des forêts. *Forest Service, Washington*, 53 p. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XF2016070998>
- Nerlove, M. (1958). The dynamics of supply estimation of farmer's response to price. *Baltimore, Johns Hopkins University press, USA*, 8 p.

- Nolte, C., Kotto-Same, J., Moukam, A., Thenkabail, P. S., Weise, S. F., Woomer, P. L., & Zapfack, L. (2001). *Land-Use Characterization and Estimation of Carbon Stocks in the Alternatives to Slash-and-Burn Benchmark Area in Cameroon*. 49 p.
- Oelbermann, M., Voroney, R. P., Thevathasan, N. V., Gordon, A. M., Kass, D. C. L., & Schlönvoigt, A. M. (2006). Soil carbon dynamics and residue stabilization in a Costa Rican and southern Canadian alley cropping system. *Agroforestry Systems*, 68(1), pp. 27-36. <https://doi.org/10.1007/s10457-005-5963-7>
- Oumar, B., Mathieu, A. A., Brahima, C., & Anatole, N. K. (2012). Stockage de Carbone Dans des Peuplements de Cedrela Odorata et de Gmelina Arborea en Côte D'ivoire. *European Journal of Scientific Research ISSN 1450-216X Vol.75 No.4 (2012)*, 13 p.
- Penman, J., & IPCC. (2003). *Recommandations en matière de bonnes pratiques pour le secteur de l'utilisation des terres, changements d'affectation des terres et foresterie*. IGES, 594 p.
- Pieper, R. D. (1998). *Rangeland vegetation productivity and biomass, Vegetation science applications for rangeland analysis and management*, pp. 450–467.
- PROTA. (2020). *Ricinodendron heudelotii*. *Ricinodendron heudelotii* (Baill.) Pierre et Heckel. <https://www.prota4u.org/database/protav8.asp?h=M4&t=Ricinodendron,heudelotii&p=Ricinodendron+heudelotii#Synonyms>
- Réjou, M. M., Tanguy, A., Piponiot, C., Chave, J., & Hérault, B. (2017). BIOMASS : An R package for estimating above-ground biomass and its uncertainty in tropical forests. *Methods in Ecology and evolution*, p. 1163-1167. *Methods in Ecology and evolution*, pp. 1163-1167.
- Ruf, F., & Agkpo, J.-L. (2008). *Etude sur les revenus et les investissements des producteurs de café et de cacao en Côte d'Ivoire*, 118 p. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4097.0089>
- Ruf, F., & Schroth, G. (1995). *Extrait_cultures-perennes-tropicales*, pp. 45-53.
- Salgado-Mora, M. G., Ibarra-Núñez, G., & Macías-Sámano, J. E. (2007). *Diversidad arbórea en cacaotales del soconusco, chiapas, México*. 32, 7 p.
- Santhyami, S., Basukriadi, A., Patria, M. P., & Abdulhadi, R. (2018). The comparison of aboveground C-stock between cacao-based agroforestry system and cacao monoculture practice in West Sumatra, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 19(2), pp. 472-479. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d190214>
- Schroth, G., & Harvey, C. A. (2007). Biodiversity conservation in cocoa production landscapes : An overview. *Biodiversity and Conservation*, 16(8), pp. 2237-2244. <https://doi.org/10.1007/s10531-007-9195-1>

- Seghieri, J., & Harmand, J.-M. (2019). *Agroforesterie et services écosystémiques en zone tropicale*. éditions Quae, 252 p. <https://doi.org/10.35690/978-2-7592-3059-4>
- Segura, M. (1999). Valoracion del servicio de fijacion y almacenamiento de carbono en bosques privados en el area de conservacion Cordillera Volcanica Central. *Turrialba, Costa Rica.*, 133 p.
- Temgoua, L. F., Dongmo, W., Nguimdo, V., & Nguena, C. (2018). Diversité Ligneuse et Stock de Carbone des Systèmes Agroforestiers à base de Cacaoyers à l'Est Cameroun : Cas de la Forêt d'Enseignement et de Recherche de l'Université de Dschang. *Journal of Applied Biosciences*, 122, pp. 12274-12286. <https://doi.org/10.4314/jab.v122i1.7>
- Todem, N. H. (2015). Contribution des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer a la structure économique des exploitations agricoles familiales dans la région du Centre Cameroun. *Mémoire présenté et soutenu en vue de l'obtention du diplôme de Master en Biologie des organismes végétaux, option biotechnologie végétale. Université de Yaounde I; The Tniversity of Yaoundé I*, 67 p.
- Torquebiau, E. (2007). *L'agroforesterie : Des arbres et des champs*. L'Harmattan, 65 p. <https://agritrop.cirad.fr/539555/>
- Vroh, B. T. A., & Abrou, N. E. J. (2019). Système agroforestier à cacaoyers en Côte d'Ivoire : Connaissances existantes et besoins de recherche pour une production durable. https://www.researchgate.net/publication/332030931_Systeme_agroforestier_a_cacao_yers_en_Cote_d'Ivoire_connaissances_existantes_et_besoins_de_recherche_pour_un_e_production_durable, 12 p.
- World Cocoa Foundation. (2014). *Developpement duable du cacao en Côte d'Ivoire*. https://www.worldcocoaoundation.org/wpcontent/uploads/files_mf/1476459266WS4_2014_CDIMOUSigned.pdf
- Xavier, H., Christian, D., & Fabien, L. (2009). L'agroforesterie, Outil de Séquestration du Carbone en Agriculture. *Compte d'Affectation Spécial pour le Développement Agricole et Rural (CASDAR) du Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et de la Pêche*, 18 p.

ANNEXES

Annexe 1: Questionnaires

QUESTIONNAIRE 1 : ADMINISTRÉ AUX COMMERÇANTS ET PRODUCTEURS

Déterminer le coût des outils nécessaires dans l'agroforêt ainsi que le coût des produits phytosanitaires.

I. Coût des outils nécessaires dans la cacaoyère

Outils	Quantités	Coût unitaire (FCFA)	Coût total (FCFA)	Durée d'usage (Années)
Machette Lime Plantoir Brouette pulvérisateur Botte Gants Sceau Décamètre Sécateur Couteau Echelle				
Total				

II. Coût des produits phytosanitaires

N°	Type de traitements	Période d'application	Nom du produit	Quantité nécessaire	Coût unitaire du produit	Coût total
1						
2						
3						
4						
5						

III. Coût de mise en place

Défrichage

Trouaison

Piquetage

Mise en terre des plants

IV. Coût de développement/fonctionnement annuel

QUESTIONNAIRE 2 : ADMINISTRÉ AUX PRODUCTEURS

I. Informations générales sur le producteur

Date de l'interview

Nom de l'enquêté(e)

II. Espèces fruitières rencontrées dans la parcelle agroforestière

☐ *Garcinia kola*

☐ *Cola acuminata*

☐ *Ricinodendron heudelotii*

☐ *Persea americana*

☐ *Irvingia gabonensis* (Kple)

☐ *Autres, préciser*

III. Production par arbre

Arbres	Quantité (kg.arbre ⁻¹)	Prix du kg (F CFA)
<i>Garcinia kola</i>		
<i>Ricinodendron heudelotii</i>		
<i>Irvingia gabonensis</i> (Kple)		

Coûts totaux de production

Eléments de coût	Opérations	Prix.ha ⁻¹
Coût d'installation	Défrichage	
	Trouaison	
	Piquetage	
	Planting	
Coût de développement	Elagage	
	Eclaircissage	
	Entretien	

QUESTIONNAIRE 3 : INENTAIRE DES ARBRES AVEC ODK COLLECT

QUESTIONNAIRE INVENTAIRE PFE

Date de l'inventaire

yyyy-mm-dd

Âge de la parcelle ou année de mise en place

Nom vernaculaire de l'espece

Nom scientifique de l'espece

Diamètre a hauteur de poitrine DBH (cm)

Hauteur totale (m)

Densité de l'arbre

Coordonnees geographiques (longitude et latitude)

latitude (x.y °)

longitude (x.y °)

altitude (m)

précision (m)



Annexe 2: Des script R pour les calculs effectués

```

1 #####
2 #Script_R/Rstudio_memoire_fin_etude_ingenieur_forestier_ESA/INP-HB_2020
3 #####
4 ##Relation entre Stock de carbone et DHP
5
6 #importer le fichier
7 Relation_AGB.DHP <- read.csv2("D:/Documents/OneDrive/OneDrive - INP-HB/courbe correlation/Relation_AGB-DHP.csv")
8 data <- Relation_AGB.DHP
9 view(data)
10
11 #charger les librairies tidyverse et/ou ggplot2
12 library(ggplot2)
13 library(tidyverse)
14 #transformez les variables
15
16 AGB_tc.ha <- Relation_AGB.DHP$AGB_tc.ha
17 DHP <- Relation_AGB.DHP$DHP_cm
18 #appelez les fonctions ggplot et geo_smooth
19
20 ggplot(data, aes(x=DHP, y= AGB_tc.ha,
21                  color= AGB_tc.ha)) + geom_point(size=2.5) +
22   geom_smooth(method = "lm", color="red") +
23   geom_point()+
24   labs(caption = "Carbon Stock vs Trees Diameter")
25
26 #calcul de l'indice de corrélation avec la methode de Pearson
27
28 cor(DHP, AGB_tc.ha, method="pearson")
29
30 #Calcul de p-value et tester la corrélation
31
32 res<-cor.test(DHP,AGB_tc.ha, method="pearson")
33 res
34 #####
35
36 ## Calcul du stock de carbone
37
38 #importer le fichier
39 SAF1 <- read.csv2("D:/Documents/OneDrive/OneDrive - INP-HB/stock_carbone_SAF/SAF1.csv")
40 view(SAF1)
41 data<-SAF1
42 data
43
44 #charger librairie
45 library(BIOMASS)
46
47 # Corriger la taxonomie
48 Taxo <- correctTaxo(genus=data$genus, species=data$species)
49 data$genusCorr <- Taxo$genusCorrected
50 data$speciesCorr <- Taxo$speciesCorrected
51 APG <- getTaxonomy(data$genusCorr, findOrder = T)
52 data$familyAPG <- APG$family
53 data$orderAPG <- APG$order
54
55 # calcul des densités
56 WDdata <- getWoodDensity(genus = data$genusCorr,species = data$speciesCorr,
57                          stand = data$date)
58 WDdata
59
60 #calcul de AGBTree
61 AGBTree <- computeAGB(data$D,WDdata$meanWD,
62                       coord = cbind(data$long, data$lat))
63 view(AGBTree)
64 #Calcul d'erreurs associées
65 error <- AGBmonteCarlo(data$D, WDdata$meanWD, errH=NULL, HDmodel=NULL,
66                       coord = cbind(data$long, data$lat),
67
68                               errWD= data$meanWD, carbone = TRUE)
69
70 #Exporter le resultat en fichier csv
71 write.table(data,"Dta_SAF1.txt", row.names=FALSE, sep="t",dec=".", na=" ")
72 #####

```

```

72 - #####
73 #Charger les libraries
74 library(tidyverse)
75 ##AGB en fonction de age
76 dataModelPFE <- read.csv2("D:/Documents/OneDrive/OneDrive - INP-HB/courbe correlation/dataModelPFE.csv")
77 view(dataModelPFE)
78
79 #Coefficient de corrélation de pearson
80
81 carbon_t.ha <- dataModelPFE$Carbon.stock
82 Tree.Age<-dataModelPFE$TreeAge
83
84 cor(Carbon_t.ha,Tree.Age, method="pearson")
85
86 res<-cor.test(Carbon_t.ha,Tree.Age, method="pearson")
87 res
88
89 #Modele graphique
90
91 ggplot(dataModelPFE, aes(Tree.Age, Carbon_t.ha,
92                           color= Carbon_t.ha)) + geom_point(size=2) +
93   geom_smooth(method = "lm", color="red") +
94   labs(caption = "Carbon stock modeling")
95
96
97 #equation de la droite estimation des coefficients avec la fonction lm
98
99 yi <- dataModelPFE$Carbon.stock
100 xi <- dataModelPFE$TreeAge
101 Model=lm(yi ~ xi, data = dataModelPFE)
102 Model
103
104 #validation des hypothèses du modèle
105 summary(Model)
106 anova(Model)
107 plot(Model)
108 - #####

```

Annexe 3: Comptes d'exploitation

COMPTE D'EXPLOITATION DU SYSTÈME 1

Libellé	A1	A5	A13	A19	A25	A32
A. Coût d'installation						
Outillage	86500	67830	85500	85500	67830	39330
Achat des plants de frake	2500	0	0	0	0	0
Achat des plants de framire	2500	0	0	0	0	0
Défrichage	30000	0	0	0	0	0
Piquetage	10000	0	0	0	0	0
Trouaison	27500	0	0	0	0	0
Plantation des plants	11000	0	0	0	0	0
B. Coûts de développement /d'exploitation						
Entretien (taille+defrichage)	32500	32500	32500	32500	32500	32500
Insecticides	0	25000	25000	25000	25000	25000
Herbicides	0	20000	20000	20000	20000	20000
C. Amortissement		39 300	39 300	39 300	39 300	39 300
D. Coûts totaux de production (A+B+C)	202500	184630	202300	202300	184630	156130
E. Productions						
Recettes issues de la vente de frake	0				900000	900000
Recettes issues de la vente de framire	0				675000	675000
Recettes issues de la vente du carbone	4400	19975	51700	75200	10010	132000
Recettes totales	4400	19975	51700	75200	1675000	1707000
Résultat Net	-198100	-164650	-150600	-127100	1490370	1550870

COMPTE D'EXPLOITATION DU SYSTÈME 2

Libellé	A1	A5	A13	A19	A25	A32
A. Coût d'installation						
Outillage	86500	67830	85500	85500	67830	39330
Achat des plants de frake	2500	0	0	0	0	0
Achat des plants de framire	2500	0	0	0	0	0
Achat des plants de akpi	1800	0	0	0	0	0
Défrichage	30000	0	0	0	0	0
Piquetage	10000	0	0	0	0	0
Trouaison	27500	0	0	0	0	0
Plantation des plants	11000	0	0	0	0	0
B. Coûts de développement /d'exploitation						
Entretien (taille+defrichage)	32500	32500	32500	32500	32500	32500
Insecticides	0	25000	25000	25000	25000	25000
Herbicides	0	20000	20000	20000	20000	20000
Préparation pour vente akpi	0	14000	14000	14000	14000	14000
C. Amortissement		39 300	39 300	39 300	39 300	39 300
D. Coûts totaux de production (A+B+C)	204300	198630	216300	216300	198630	170130
E. Productions						
Recettes issues de la vente de frake					450000	450000
Recettes issues de la vente de framire					675000	675000
Recettes issues de la vente de Akpi		144000	388400	338400	338400	338400
Recettes issues de la vente du carbone	4523	20562	53462	78137	102812	135000
Recettes totales	4523	164562	391860	416540	1566210	1598400
Résultat Net	-199800	-34070	175562	200260	1367580	1428270

COMPTE D'EXPLOITATION DU SYSTÈME 3

Libellé	A1	A5	A13	A19	A25	A32
A. Coût d'installation						
Outillage	86500	67830	85500	85500	67830	39330
Achat des plants de frake	2500	0	0	0	0	0
Achat des plants de framire	2500	0	0	0	0	0
Achat des plants de akpi	1800	0	0	0	0	0
Achat des plants de kplé	2250	0	0	0	0	0
Défrichage	30000	0	0	0	0	0
Piquetage	10000	0	0	0	0	0
Trouaison	27500	0	0	0	0	0
Plantation des plants	11000	0	0	0	0	0
B. Coûts de développement /d'exploitation						
Entretien (taille+defrichage)	32500	32500	32500	32500	32500	32500
Insecticides	0	25000	25000	25000	25000	25000
Herbicides	0	20000	20000	20000	20000	20000
Préparation pour vente akpi	0	14000	14000	14000	14000	14000
Préparation pour vente kple		25000	25000	25000	25000	25000
C. Amortissement		39 300	39 300	39 300	39 300	39 300
D. Coûts totaux de production (A+B+C)	206550	223630	241300	241300	223630	195130
E. Productions						
Recettes issues de la vente de Akpi	0	144000	144000	338400	338400	338400
Recettes issues de la vente de kple	0	225000	1125000	1125000	1125000	1125000
Recettes issues de la vente de frake	0				450000	450000
Recettes issues de la vente de framire	0				450000	450000
Recettes issues de la vente du carbone	6720	30198	78500	114700	150930	199000
Recettes totales	67200					
Résultat Net	-199830	399200	1347500	1578100	2514330	2562400

Annexe 4: Biomasse aérienne par système

SAF1				SAF2				SAF3			
Arbre	WD	D	AGB t	Arbre	WD	D	AGB t	Arbre	WD	D	AGB t
Frake	0,4589	42,1	1,023356	Framire	0,4439	36,9	0,72202172	Frake	0,4589	42,1	1,02878584
Frake	0,4589	39	0,85273852	Framire	0,4439	28	0,36442284	Frake	0,4589	39	0,85273852
Frake	0,4589	25	0,28331547	Framire	0,4439	36,6	0,70726734	Frake	0,4589	50	1,56587504
Frake	0,4589	43	1,08352462	Framire	0,4439	59,6	2,32526622	Frake	0,4589	33,5	0,58631911
Frake	0,4589	40,2	0,91865736	Framire	0,4439	40,5	0,90721035	Frake	0,4589	47	1,34672651
Frake	0,4589	43,9	1,13989527	Framire	0,4439	44	1,11150655	Frake	0,4589	41	0,96420377
Frake	0,4589	33,5	0,58631911	Framire	0,4439	18	0,12031367	Frake	0,4589	50,5	1,60437083
Frake	0,4589	47	1,34672651	Framire	0,4439	51	1,59344618	Frake	0,4589	53,5	1,84601488
Frake	0,4589	41	0,96420377	Framire	0,4439	45	1,17433076	Frake	0,4589	30,8	0,47623354
Frake	0,4589	30	0,4461306	Framire	0,4439	22	0,19947889	Frake	0,4589	35	0,65333433
Frake	0,4589	33	0,56494389	Frake	0,4589	23	0,22874498	Framire	0,4439	47,4	1,33351344
Frake	0,4589	30,8	0,47623354	Frake	0,4589	39	0,85273852	Framire	0,4439	52,3	1,69445724
Frake	0,4589	35	0,65333433	Frake	0,4589	25	0,28331547	Framire	0,4439	61,2	2,47979582
Framire	0,4439	27	0,33297918	Frake	0,4589	43	1,08352462	Framire	0,4439	51	1,5938888
Framire	0,4439	32	0,50777259	Frake	0,4589	40,2	0,91865736	Framire	0,4439	66,5	3,02990884
Framire	0,4439	30	0,43271311	Frake	0,4589	43,9	1,13989527	Framire	0,4439	37,6	0,75606006
Framire	0,4439	51	1,5938888	Frake	0,4589	33,5	0,58631911	Framire	0,4439	45,4	1,20036047
Framire	0,4439	36	0,67926775	Frake	0,4589	47	1,34672651	Framire	0,4439	43,7	1,09342215
Framire	0,4439	37,6	0,75606005	Frake	0,4589	41	0,96420377	Framire	0,4439	36,9	0,72192118
Framire	0,4439	24	0,248157	Framire	0,4439	40,5	0,9076163	Framire	0,4439	28	0,3645762
Framire	0,4439	43,7	1,09342215	Framire	0,4439	44	1,11201372	Kple	0,7748	35,48	0,55584357
Frake	0,4589	37	0,74930469	Framire	0,4439	40,75	0,92154395	Kple	0,7748	46,18	1,06137619
Frake	0,4589	23	0,23000667	Framire	0,4439	39,8	0,86978284	Kple	0,7748	41,4	0,81237868
Frake	0,4589	38,4	0,82102173	Framire	0,4439	38,85	0,81973713	Kple	0,7748	71,08	3,0165134
Framire	0,4439	36,9	0,72192118	Akpi	0,2106	32,9	0,27386148	Kple	0,7748	78,22	3,79476038
Framire	0,4439	28	0,3645762	Akpi	0,2106	72,61	1,88477754	Kple	0,7748	24,08	0,21224883

Framire	0,4439	36,6	0,70756468	Akpi	0,2106	23,44	0,11778899	Kple	0,7748	21,27	0,15549558
Frake	0,4589	45,5	1,24441606	Akpi	0,2106	32,74	0,27058885	Akpi	0,2106	32,9	0,27386148
Framire	0,4589	59,6	2,32626446	Akpi	0,2106	20,06	0,07966507	Akpi	0,2106	72,61	1,88477754
Frake	0,4589	37	0,74936073	Akpi	0,2106	28,98	0,19997291	Akpi	0,2106	23,44	0,11778899
Frake	0,4589	26	0,31254361	Akpi	0,2106	30,25	0,2224451	Akpi	0,2106	32,74	0,27058886
Framire	0,4439	40,5	0,9076163	Akpi	0,2106	82,36	2,54863282	Akpi	0,2106	20,06	0,07966507
Frake	0,4589	42,2	1,03509635	Akpi	0,2106	65,61	1,47711218	Akpi	0,2106	28,98	0,19997291
Framire	0,4439	22	0,19956215	Akpi	0,2106	26,43	0,15900916	Akpi	0,2106	30,25	0,2224451
Framire	0,4439	51	1,59417175	Akpi	0,2106	26,43	0,15900916	Akpi	0,2106	82,36	2,54863282
Total			27,9470662				28,6529473	Akpi	0,2106	65,61	1,47711218
								Akpi	0,2106	26,43	0,15900916
											42,0349773