

REPUBLIQUE DEMOCRATIQUE DU CONGO

UNIVERSITE DE KISANGANI
FACULTE DE GESTION DES RESSOURCES NATURELLES
RENOUVELABLES



BP 2012 KISANGANI

**Evaluation de la contribution de la culture de cacao (*Theobroma cacao*)
sous ombrage dans le maintien des stocks de carbone et la conservation de
la biodiversité dans les forêts secondaires exploitées de l'Ituri (Province
Orientale, RD Congo).**



Par

Nutriche LUKONGO MBOYE

Mémoire de Licence

Présenté et défendu en vue de l'obtention du grade de
d'Ingénieur Forestier.

Option : Eaux et forêts

Promoteur : Prof. Jean-Remy MAKANA

Co-Promoteur : Prof. Corneille EWANGO

Encadreur : Assistant Bonaventure IBANDA



ANNEE ACADEMIQUE: 2013–2014

DEDICACE

A mon père LUKONGO ESUNGU Bernard, et à ma grand-mère SIFA Elisabeth pour les vertus de la persévérance dans l'effort transmis, et les prières constantes pour la réussite de votre progéniture.

REMERCIEMENTS

Mes remerciements les plus sincères vont à l'endroit des personnes et entités qui ont participé de près ou de loin à la production de ce document. Cette reconnaissance s'adresse :

- ❖ Au Professeur Jean-Rémy MAKANA qui malgré ses multiples occupations a voulu prendre la direction de ce travail
- ❖ Au Professeur Corneille EWANGO pour son implication et contribution avec honnêteté scientifique, ses remarques et conseils nous ont été pertinents pendant l'élaboration de ce travail
- ❖ A l'Assistant Bonaventure IBANDA pour son encadrement efficace qui nous a encouragés pendant l'élaboration de ce travail
- ❖ A Joseph OTOMABONGO, Thoms KAVALI et Bernard IKATI qui ont contribué scientifiquement par leur encadrement sur terrain et remarques pour l'avancement de ce travail
- ❖ A tous les agents de la WCS qui par leur conseil et expertise nous ont aidé à réaliser ce travail, Martinique LUSUNA, Floribert BUJO, Maurice MANALA, Gédéon LOBO, Niclette ALUKA, Louise KAMANDA, Charles BALEKAGE, Marlène MAMBO, Louise NEMBUSU, etc.
- ❖ A nos compagnons de lutte ; Vicky NANYONZI, Dieu merci MBOMBO, Paulin ONOYA, Yvette TCHETE, Achille MONZONGO, Issac BANZA, Yvonne ITOMALI, Innocent MUSUBI, Innocent KITENGE, Elysée KITENTE, Myriam MUNGURYEKE, Alphonse LOKOTO, etc.
- ❖ A la famille ; notre père Bernard LUKONGO ESUNGU, notre mère Marie KELEKELE et Florence DJIMA, Papa Vicky LUBUKU, Ma Mimi LUBUKU, Papa Robert MWENYEHALI, Papa KAIKO MULONGO, Papa Gilbert KOMBA, Papa David AVIA, Tante Eugénie UKEMBELO, Hyacinthe LUKONGO, Sumaili LUKONGO, Tharcisse LUKONGO, Giljaure LUKONGO, Simone LUKONGO, Mado LUKONGO, Jacqueline AWAZI etc.
- ❖ A nos amies ; Arlette MBO, Nancy MOBESE et Annie ALIMENGO pour leurs soutiens

Que tous les autres bienfaiteurs que nous n'avons pas cités nommément sur cette page qu'ils ne se sentent pas oubliés, mais qu'ils retiennent que nous les portons dans nos cœurs.

Nutriche LUKONGO MBOYE

RESUME

La présente étude a été menée dans des champs démonstratifs de cacao de trois villages (Banana, Bakwanza et Makumo) dans le territoire de Mambasa, district de l'Ituri en Province Orientale. Elle a eu pour objectifs (i) d'évaluer et de comparer la biomasse dans trois systèmes différents notamment le système de cacao sous ombrage, le système de cacao à ciel ouvert et les parcelles témoins situées dans la forêt secondaire la plus proche de champs de cacao; ;(ii) de comparer le potentiel de séquestration de stock de carbone dans ces systèmes ; et (iii) d'évaluer et comparer la diversité floristique entre les agro-forêts à cacao et les témoins.

L'étude s'est appuyée sur un réseau de 23 parcelles temporaires de 2500 m² chacune (50m x 50m), dont 12 dans le système agroforestier (SAF) cacao sous ombrage, 4 dans le cacao à ciel ouvert et 7 dans les forêts secondaires (témoin). Au total, 1.393 individus de diamètre ≥ 10 cm (dhp) ont été inventoriés. Ces individus appartiennent à 93 espèces de 81 genres et 33 familles.

La densité variait entre 144 à 280 tiges/ha pour le système de cacao sous ombrage, 300 à 452 tiges/ha pour les forêts secondaires et 52 à 112 tiges/ha pour le cacao à ciel ouvert.

La biomasse aérienne moyenne obtenue dans les parcelles témoin, le système de cacao sous ombrage et le système de cacao à ciel ouvert était respectivement de 313,56t/ha ; 243,54t/ha et 83,00 t/ha. Ainsi, les estimations moyennes de stocks de carbone sont de 121,77 tC/ha pour le système agroforestier (SAF) de cacao sous ombrage et 41,54 tC/ha pour le système à ciel ouvert. Par ailleurs, dans des forêts secondaires environnantes les stocks de Carbone dans la biomasse ligneuse était de 156,78 tC/ha.

Mots-clés : SAF cacao, stock de carbone, biomasse aérienne, forêt secondaire et Ituri

SUMMARY

This study was conducted in demonstrative cocoa fields in three villages (Banana, and Bakwanza Makumo) in Mambasa territory, Ituri district in Orientale Province. She had objectives (i) to evaluate and compare the biomass in three different systems including the system of cocoa under shade, the system cocoa open pit and control plots located in the nearest cocoa fields secondary forest; (ii) to compare the sequestration potential of carbon stock in these systems; and (iii) evaluate and compare the floristic diversity between agro-forest cocoa and cookies.

The study relied on a network of 23 temporary plots 2500 sqm each (50m x 50m), including 12 in the agroforestry system (FAS) under shade cocoa, cocoa 4in open pit and 7 in secondary forests (control). A total of 1393 individuals aged ≥ 10 cm dbh were inventoried. These individuals belong A93 species of 81 genera and 33 families.

Densities ranging from 144 to 280 stems / ha for the system of cocoa under shade, 300-452 stems / ha for secondary forest and 52 to 112 stems / ha for cocoa in the open.

The average aboveground biomass obtained in the control plots, the system under shade cocoa and cocoa system to open was respectively 313,56t / ha; 243,54t / ha and 83.00 t / ha. Thus, the average estimates of carbon stocks are 121.77 tC / ha for agroforestry system (FAS) of cocoa under shade and 41.54 tC / ha for the system in the open. Moreover, in secondary forests surrounding carbon stocks in woody biomass was 156.78 tC / ha.

Keywords: SAF cocoa, carbon stock, aboveground biomass, secondary forest and Ituri

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Nombre et superficie de parcelles inventoriées par village et traitement.....	10
Tableau 2 : Résumé de l'analyse de la variance de comparaison des moyennes de densité de différents traitements	16
Tableau 3 : Résultat du test post-hoc de Tukey de comparaison de la moyenne de densité de différents traitements.....	16
Tableau 4. Résumé de l'analyse de la variance de comparaison des moyennes de surface terrière des traitements.....	17
Tableau 5. Résultat du test post-hoc de Tukey de comparaison des moyennes des surfaces terrières de différents traitements.....	17
Tableau 6. Indice de diversité.....	19
Tableau 7. Résumé de l'analyse de la variance de comparaison des moyennes de biomasse des traitements étudiés.....	23
Tableau 8. Résultat du test post-hoc de Tukey de comparaison des moyennes de biomasse des traitements étudiés.....	23

LISTE DE FIGURES

Figure 1 ; Carte du territoire de Mambasa.....	7
Figure 2 ; Illustration du dispositif d'échantillonnage	10
Figure 3 ; Densité (m ² /ha) des parcelles inventoriées.....	15
Figure 4 ; Surface terrière à l'hectare dans les trois traitements.....	18
Figure 5 ; Distribution diamétrique des individus en fonction de traitement. Classe de diamètre 1=10-19,9cm ; 2=20-29,9cm ; 3=30-39,9 ... ; 11=>110cm.....	18
Figure 6 ; La moyenne des espèces par parcelle et par traitement.....	18
Figure 7 ; Indice de similarité de Bray-Curtis pour les différents traitements.....//.....	19
Figure 8 ; Densité relative des espèces dans les traitements.....	20
Figure 9 ; Densité relative des familles dans les traitements.....	20
Figure 10 ; Dominance relative des espèces.....	21
Figure 11 ; Dominance relative des familles	21
Figure 12 ; Distribution de DHP par rapport à la hauteur totale des individus	21
Figure 13 ; L'analyse de la biomasse aérienne par traitement (ramenée au tonne à l'hectare).....	23
Figure 14 ; Biomasses en fonction des classes de diamètre des arbres par traitement (classe de diamètre 1= 10-19,9cm ; 2=20-29,9cm ... ; 11= >110cm).....	24

LISTE DES ABREVIATIONS

AGB	: AbovegroundBiomass ou Biomasse Aérienne (BA)
C	: CARBONE
CNUED	: Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement
COMIFAC	: Commission des Forêts de l'Afrique Centrale
DHP	: Diamètre à hauteur de poitrine/ Diameter at BreastHeight (DBH) en anglais
FAO	: Food and Agriculture Organization
FS	: Forêt secondaire
GES	: Gaz à Effet de Serre (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, HFC, PFC et SF ₆)
GIEC	: Groupe d'expert intergouvernemental sur l'évolution du climat (En anglais)
IPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change)
GPS	: Global Positioning System
MECNT	: Ministère d'Environnement et de Conservation de la Nature et Tourisme
OGM	: Organisme Génétiquement Modifiée
PFNL	: Produit Forestier Non Ligneux
REDD+	: Réduction des émissions dues à la déforestation et à la Dégradation des Forêts, la conservation, la gestion durable des forêts et le renforcement des stocks de carbone forestier
SAF	: Système Agro forestière
SAF cacao	: Systèmes Agroforestiers à base de cacaoyer/ Agroforêts traditionnelles à base de cacaoyers
UNFCCC	: Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques
ZGCRNs.	: Zones de Gestion Communautaire des Ressources Naturelles
ZZ	: Inconnues des familles
ZZZ	: Inconnues des espèces

0. INTRODUCTION

0.1. Contexte

Les forêts tropicales couvrent environ 15% de la surface terrestre et jouent un rôle clé dans le cycle mondial du carbone (Dorvil ; 2010). Elles contiennent 50% de stocks de carbone à l'échelle globale (Dixon *et al.*, 1994). Ces forêts sont d'une grande importance notamment pour satisfaire les besoins en bois, en produits alimentaires (pêche, chasse, cueillette et culture) mais aussi pour le rôle qu'elles jouent sur le plan économique, socioculturel et environnemental. Ces écosystèmes subissent actuellement des fortes pressions liées aux activités anthropiques et aux changements climatiques. Leur dégradation et déforestation entraînent une augmentation de l'émission des gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère, principalement le CO₂, contribuant ainsi à accélérer le réchauffement de la planète (Quentin, 2012).

Les conséquences de ces changements climatiques ne font que s'aggraver et inquiètent actuellement l'humanité toute entière. En 2007, le quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a montré de façon incontestable que le climat mondial se modifie en raison des activités humaines. La déforestation est l'une des activités qui provoquent la modification climatique à l'échelle locale, nationale aussi bien qu'à l'échelle mondiale. Elle est responsable d'environ 20% des émissions mondiales des gaz à effet de serre (GIEC 2007). Les forêts du bassin du Congo et, en particulier celles de la République Démocratique du Congo, constituent le second bloc continu des forêts tropicales du monde, après l'Amazonie. Ces forêts constituent un moyen important pour la mitigation des effets des changements climatiques par la séquestration de carbone (Lewis *et al.* 2009). Cependant et en dépit des multiples campagnes pour protéger les forêts tropicales qui restent encore au monde, ces forêts sont sujettes à des menaces accrues de la déforestation causées par l'agriculture, l'exploitation forestière et minière, ainsi que l'exploitation du bois-énergie (Dany T, 2010) et exacerbée par la pression démographique.

Par ailleurs, la République démocratique du Congo émerge d'une longue période de guerre et d'incurie. Les 60 millions de Congolais sont parmi les gens les plus pauvres de la planète et une majorité d'entre eux dépend de la forêt et de ses ressources pour survivre. Les institutions sont affaiblies, la paix est fragile et des urgences affectent tous les domaines de la vie sociale et économique. Cette conjoncture crée, pour la forêt et pour les gens qui en vivent, des opportunités et des risques importants (Anonyme 2007).

0.2 Problématique

Selon des études faites sur les moteurs de la déforestation en République Démocratique du Congo (RDC), l'agriculture serait la cause principale de la perte des forêts (MECNT, 2011). Les paysans congolais pratiquent en majorité l'agriculture itinérante sur brûlis. La majorité des ménages cultivent moins d'un hectare par an pour la subsistance. Les schémas spécifiques

de cette agriculture vivrière en RDC ne sont pas bien connus. Les quelques études existant ne sont pas représentatives de l'ensemble du pays. (MECNT, 2011)

L'agriculture modifie souvent très fortement les milieux naturels, surtout dans les zones à forte densité de population où les mêmes espaces sont exploités pendant de longues périodes de temps sans laisser les sols se reposer par un système de jachère. Elle a donc un impact négatif sur la capacité des écosystèmes forestiers à contribuer à la régulation du climat par la séquestration du carbone, accentuant ainsi les changements climatiques par l'augmentation de la concentration des Gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère. Ainsi, pour tenter de juguler à la fois le problème de survie des populations rurales et celui du réchauffement climatique global, on peut faire recours aux systèmes qui permettent d'exploiter durablement les espaces forestiers.

L'agroforesterie est l'un de ces systèmes, qui combine la plantation d'arbres avec les cultures vivrières et/ou pérennes. Les SAFs apparaissent donc comme une alternative crédible pour atteindre les objectifs du millénaire en matière d'éradication de la faim et de la lutte contre la pauvreté dans le monde (Garrity, 2004).

Les cultures pérennes comme celui de cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) sont faites généralement dans les systèmes agroforestiers en association étroite avec une liste riche d'espèces d'arbres et d'autres plantes utiles sur la même parcelle (Somarriba et al. 2013). En Afrique Centrale, la cacaoculture traditionnelle extensive repose sur des systèmes agroforestiers où le cacaoyer est couramment planté dans les forêts secondaires et jachères forestières à fine canopée. Pratiqués sur des petites surfaces sous l'ombrage naturel de la forêt, ces derniers assurent une régularité de production (Mossu, 1990 & Jagoret, 2011) cités par Durot Claire, 2013). Les agro-forêts (SAF) sont conservatrices d'un certain niveau de biodiversité, pouvant aller jusqu'à un niveau proche de celui de la forêt secondaire selon les systèmes (Michon et al. 1995). L'évolution des niveaux d'ombrage pourraient avoir un impact sur fonctions de l'écosystème, y compris la fertilité des sols et le maintien du stock de carbone (LINDSEY NORGROVE & STEFAN HAUSER, 2013,). Les systèmes agroforestiers à base de cacao sont crédités pour le stockage de quantités importantes de carbone.

En effet, le mécanisme REDD+ mis en œuvre dans la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (UNFCCC) devrait permettre aux pays en développement de tirer des bénéfices pour réduire leur déforestation, la dégradation forestière, augmenter leurs stocks de carbone forestier et la conservation de leurs forêts. Les systèmes agroforestiers pourraient alors bénéficier de ce mécanisme (Thangata et al., 2012).

Le stockage du carbone dans les agroforêts à base de cacao est aujourd'hui reconnu et même quantifié. Le carbone total dans les cacaoyères est de 179 mg/ha contre 275 en forêt (Nolte et al., 2001). Toutefois, il se pose aussi non seulement la nécessité de protéger et de mieux gérer ces agroforêts, mais aussi de pouvoir en créer de nouvelles (boisements et/ou reboisements) pour piéger le carbone.

Le piégeage du carbone par établissement d'agroforêts sur les sols dégradés montre que des systèmes utilisant des espèces de bois d'œuvre au Costa Rica (*Cordia alliodora* et *Erythrina poeppigiana*) comme arbres d'ombrage, augmentent le stock de carbone au niveau du sol respectivement de 75 et de 65 pour cent à la 10ème année, avec un taux d'accumulation annuelle de 4,28 et 3,08 tonnes de carbone/ha/an (Beer et al., 1990 cités par FAO. (2002).

Sauf en situation de saturation foncière doublée d'une raison suffisante pour créer des plantations de cacaoyers sur des terres dégradées, les populations créent toujours les agroforêts cacao sur des terres précédemment forestières plus fertiles. L'inscription des créations et de la gestion durable de ces agroforêts dans le cadre du marché de carbone permettrait ainsi d'atteindre des objectifs globaux sur le plan environnemental mais aussi de satisfaire les besoins du paysan. FAO. (2002).

Dans cette étude, nous évaluons la contribution des exploitations de cacaoyères sous ombrage dans le maintien du stock de carbone forestier.

0.3. Hypothèses

Les hypothèses ci -après seront vérifiées au cours de cette étude :

- La biomasse dans les champs de cacao sous ombrage est similaire à celles des forêts originelles environnantes.
- La biomasse dans les champs de cacao sous ombrage serait supérieur à ceux à ciel ouvert ;
- La structure forestière et la diversité floristique sont similaires entre les agro-forêts cacao et les forêts secondaires environnantes.

0.4. Objectifs

a. Objectif général

L'objectif global de cette étude est d'évaluer la contribution de la culture de cacao sous ombrage dans le maintien de stock de carbone forestier.

b. Objectifs spécifiques

Pour atteindre l'objectif général, nous les objectifs spécifiques suivantes seront évalué :

- Evaluer et comparer la biomasse dans les champs de cacao (à ciel ouvert et sous ombrage) et les témoins (forêts secondaires environnantes ;
- comparer la diversité floristique entre les agro-forêts à cacao et les forêts environnantes.

0.5. Intérêt du travail

Ce travail est une des premières contributions sur l'estimation des stocks de carbone dans les systèmes agroforestiers à base du cacao en RDC. Il s'inscrit dans le processus du projet REDD+ dans le but d'évaluer le rôle des agroforêts dans le processus de changement climatique global qui est un sujet d'actualité qui alimente les débats scientifiques, sociaux et politiques.

0.6. Subdivision du travail

La structuré de notre rapport scientifique se présente comme suit :

- Le premier chapitre aborde les généralités sur les systèmes agroforestiers de cacao et les forêts secondaires ;
- Le deuxième chapitre décrit les matériel et méthodes utilisés
- Le troisième chapitre présent les résultats ;
- Le quatrième chapitre se focalise sur la discussion des résultats obtenus ;
- Enfin, une conclusion et quelques suggestions sont esquissées avant de clore la présente dissertation.

CHAPITRE I. GENERALITES

1.1. Les systèmes Agroforestiers de cacao

Le cacaoyer a été décrit comme une espèce de sous-bois de la forêt Amazonienne. Sa culture a exigé dès son introduction en Côte d'Ivoire, comme dans bien d'autres pays, un ombrage provisoire ou définitif afin de diminuer l'éclairement sur le cacaoyers. (<http://fr.wikipedia.org/wiki/cacaoyer>)

Le cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) est cultivé généralement dans les systèmes agroforestiers en association étroite avec une liste riche d'espèces d'arbres et d'autres plantes utiles sur la même parcelle. Dans ce mode de conduite, les arbres d'ombrage sont plantés selon le dispositif bien précis ; cela nécessite un abattage total de la forêt, et par conséquent, la suppression de toutes les espèces nuisibles et d'introduire de nouvelles espèces locales ou exotiques. Les jeunes plants de cacaoyer peuvent aussi être directement plantés sous l'ombrage des arbres existants. Dans ce cas, le sous-bois est fauché et les arbres sont sélectivement abattus pour éclaircir le sous-bois avant l'installation des plantules de cacaoyer (Somarribaet al. 2013)

Parce que les rendements de cacao diminuent avec l'augmentation de l'ombre, il est nécessaire de concevoir des systèmes agroforestiers de cacao optimal avec des rendements élevés et des stocks de carbone élevés. (Somarribaet al. 2013)

La complexité des agroforêts à base de cacao contraste avec les systèmes de foresterie classique, comme les plantations d'*Eucalyptus*, qui sont souvent promues dans les projets de boisement/reboisement. Même si les agroforêts cacao ne peuvent pas jouer le même rôle que les forêts sur le plan environnemental, elles sont nettement meilleures que les autres modes d'occupation de sol. Elles regorgent ainsi de nombreuses populations de PFNL, parfois à faible densité, qui n'abritent pas toujours dans un même arbre tous les caractères souhaités par les paysans. FAO. (2002).

En effet, si le cacaoyer possède la capacité de se développer dans un environnement ombragé, il s'avère que sa production potentielle est limitée, en dehors de tout autre facteur limitant, lorsque l'éclairement reçu est inférieur à 1 800 heures par an (Asomaning et al., 1971 ; Gerritsma et Wessel, 1996). Ainsi, pendant les premiers stades de son développement, le jeune cacaoyer a « *besoin pour une croissance optimum d'un ombrage relativement dense ne laissant passer que 25 à 50 % de la lumière totale* ». Ensuite, lorsque « *l'auto-ombrage intervient en diminuant l'intensité lumineuse moyenne reçue par unité de surface foliaire sur l'ensemble de l'arbre, l'ombrage doit être progressivement diminué pour laisser passer 70 % de la lumière* », voire davantage (Braudeau, 1969).

Les systèmes agroforestiers à base de cacaoyer mis au point par les agriculteurs constituent des systèmes durables aux plans agro-écologique et socio-économique. Les cacaoyères agroforestières sont anciennes et leur conduite technique permet aux agriculteurs de maintenir sur un pas de temps long une production de cacao marchand, peut-être peu élevée, mais stable, sans apport d'engrais. La conduite de ces systèmes se traduit notamment par un agencement spatio-temporel de plusieurs espèces forestières et fruitières associées à plusieurs générations de cacaoyers et par des pratiques de réhabilitation continue des cacaoyères qui

permettent aux exploitations de se maintenir et de se reproduire et ce, quel que soit le contexte pédoclimatique(Jagoret.2011).

1.2. La forêt secondaire.

1.2.1. Le concept de forêt secondaire.

Les forêts secondaires sont des forêts qui se régénèrent dans une large mesure par des processus naturels après une importante perturbation d'origine humaine et/ou naturelle de la végétation forestière originelle à un moment donné ou sur une longue période de temps, et dénotant des différences marquées dans la structure de la forêt et/ou de la composition des espèces du couvert par rapport aux forêts voisines sur des sites similaires (Chokkalingam *al.* 2002 cités par Lubini. 2003). Cette définition permet de relever les caractéristiques des forêts secondaires : en particulier, l'origine, le temps, la dynamique de régénération, la structure et la composition des espèces.

1.2.2. Typologie des forêts secondaires.

Comme toute typologie de «science forestière», celle des forêts secondaires ne fait pas l'unanimité, notamment l'importance donnée aux critères de classification de ces forêts. Les critères puis les principaux types de forêts secondaires d'Afrique centrale et occidentale sont présentés brièvement ci-dessous.

1.2.3. Les critères de classification.

Les auteurs identifient plusieurs critères pour la dénomination d'une forêt secondaire: temporel, édaphique, altitudinal et climacique (Lubini, 2003). L'âge est valable comme critère de classification des Forêts secondaire. En effet, chaque type de Forêts secondaire présente des espèces caractéristiques permettant de les reconnaître à travers leur physionomie, composition floristique et âge. Ainsi, en référence à l'âge, on distingue :

- Une jeune jachère forestière (Jj), âgée de 3 à 7 ans;
- Une forêt secondaire jeune (Sj), parfois appelée recru forestier, âgée de 8 à 15 ans;
- Une forêt secondaire vieille (Sv), âgée de plus de 20 ans.

En ce qui concerne le critère édaphique, la nature du substrat, surtout l'humidité, détermine la série de végétations secondaires évoluant sur les sols à hydromorphie permanente ou périodique (sol alluvionnaire récent ou actuel et vallée humide) et celle se développant sur les sols de terre ferme. Il en est ainsi des caractères morphologiques adaptatifs: racines-échasses ou aériennes (Lubini, 2003).

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

2.1. MILIEU D'ETUDE

2.1.1 Situation géographique.

La forêt équatoriale de l'Ituri se trouve au nord-est de la République Démocratique du Congo. Elle occupe une superficie d'environ 63 000 km², et se situe entre 0° et 3°N et 27° et 30° E. L'altitude Varie de 600 m d'altitude moyenne avec environ 1500 m dans la zone de transition avec les savanes anthropiques et les forêts de montagne (Hart et Carrick, 1996).

La température moyenne est de 31 °C (88 °F) avec une humidité moyenne de 85 %. Environ 20 % de la forêt équatoriale est constituée de la réserve de faune à okapis, inscrite sur la liste du patrimoine mondial de l'UNESCO(<http://fr.wikipedia.org/wiki/Ituri>)

Les données de cette étude ont été récoltées dans les exploitations cacaoyères et forêts secondaires de Mambasa et ses environs précisément dans les Zones de Gestion Communautaire des Ressources Naturelles. Les sites retenus pour l'étude sont :

- Banana, situé à 01°22'37,8" latitude Nord et 028°53'05,2" longitude Est ;
- Bakwanza à 01°23'46,1" latitude Nord et 029°21'49,7" longitude Est
- Makumo à 90 km au sud de centre de Mambasa se situe à 00°44'15,5" latitude Nord et 029°14'11,6" longitude Est. La figure ci-dessous présente la carte du paysage Ituri-Epulu-Aru avec les différents ZGCRNs.

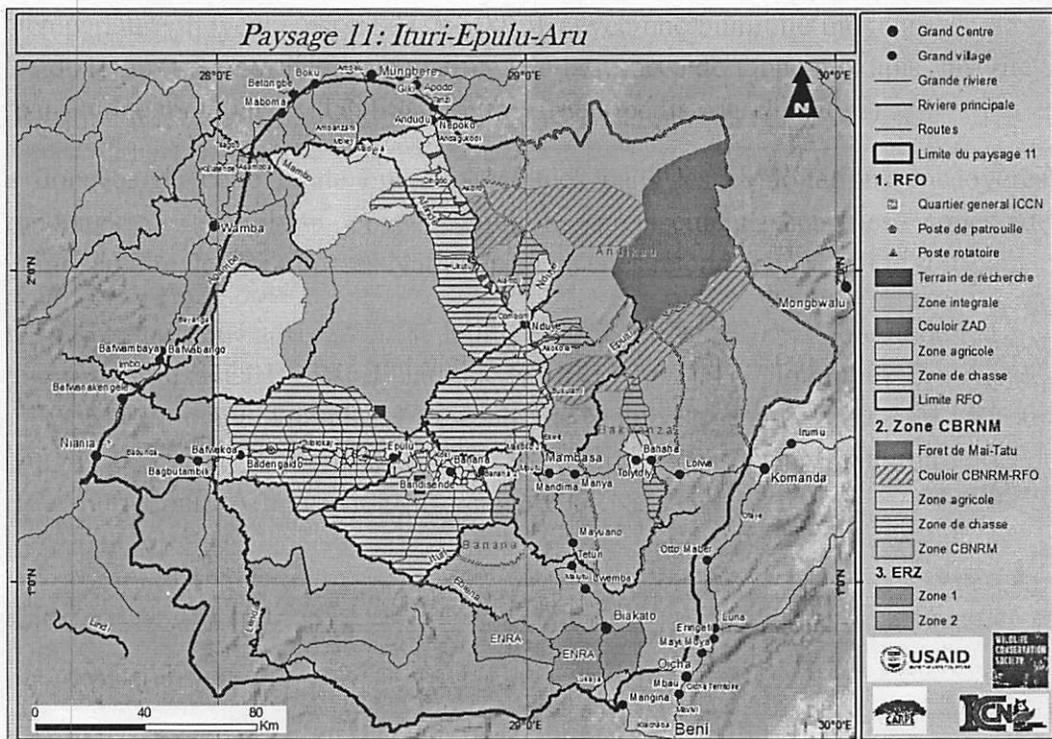


Fig 1. Carte du paysage Ituri-Epulu-Aru montrant les trois zones de gestion communautaire des ressources naturelles qui sont Andikau, Bakwanza et Banana. *Source: Wildlife Conservation Society DRC-USAID-CARPE: created in 2012, WCS-DRC.*

2.1.2. Description biophysique du milieu d'étude.

A. Climat

La forêt de l'Ituri est classée dans la catégorie des forêts humides sempervirentes telles que définies par White en 1983. Elle présente un climat chaud et guinéen (humide). La moyenne des températures journalières se situe entre 20° et 27° C avec des variations de la durée du jour inférieure à une heure sur toute l'année.

La température moyenne annuelle est toujours supérieure à 24° C avec une amplitude thermique très faible. La pression atmosphérique est très faible et constante. Les précipitations annuelles se situent autour de 1600 à 1800 mm. En général, la région de l'Ituri connaît une saison sèche allant de mi-décembre à février, le reste de l'année est entièrement pluvieux avec des pics irréguliers de précipitations. (<http://fr.wikipedia.org/wiki/Ituri>)

B. Relief et hydrographie

La grande partie du paysage est constituée d'une plaine légèrement ondulée qui s'étend entre 700 et 900 m d'altitude mais s'élève à l'Est jusqu'à 1000 m. Ces massifs se joignent en une chaîne spectaculaire de roches granitiques exposant de larges pans de roches dénudées (COMIFAC, 2006).

C. Biodiversité

Végétation

Les forêts de Mambasa et ses environs sont situées à l'extrême Nord-est du massif forestier du bassin du Congo. Elles font parties de la région Guinéo-Congolaise dans laquelle deux types de forêts sont prépondérants notamment les forêts ombrophiles sempervirentes monodominantes, pour lesquelles *Gilbertiodendron dewevrei* en est l'espèce caractéristique, et les forêts secondaires mixtes semi-sempervirentes, souvent dominées par *Cynometra alexandrii* et *Julbernardia seretii*. La végétation étant très haute, elle dépasse parfois 40 m (Makana, 1999). Des forêts marécageuses bordent les cours d'eau ou sur le sol continuellement inondé. Les espèces dominantes de cette végétation sont : *Hallea stipulosa* (Rubiaceae), *Macaranga schweinfurthii*, et *Uapaca guineensis* (Euphorbiaceae) (COMIFAC, 2006).

Faune

Les forêts de l'Ituri sont exceptionnellement riches en faune. D'après l'identification des zones prioritaires pour la conservation effectuée par ESRI, WWF, MODIS, UMD et SDSU (COMIFAC, 2006), le paysage Ituri-Epulu-Aru est classé parmi les zones à très haute priorité de conservation. Ces forêts abritent environ 90 espèces mammifères dont treize espèces de primates diurnes, le nombre le plus élevé pour une forêt africaine, et six espèces de céphalophes (Ikati, 2013).

L'Okapi, *Okapia johnstoni* est un animal endémique de la RDC. Sa population est relativement élevée dans la forêt de l'Ituri et sa présence est l'une des principales raisons ayant motivé la création de la RFO. Cependant, d'autres mammifères revêtent également une

importance majeure du point de vue de la conservation. La Réserve offre un habitat pour des populations appréciables d'éléphants de forêt (*Loxodonta africanacyclotis*). Elle abrite 13 espèces de primates dont six espèces de cercopithèques, trois de colobes, deux de cercocèbes et deux de grands primates (babouin et chimpanzé) anthropoïdes diurnes ou la grande diversité connue en Afrique sur un seul site. Trois espèces de ses primates sont considérées comme vulnérables. Il s'agit du Cercopithèque à tête de hiboux (*Cercopithecus hamlyni*), du Cercopithèque de l'hoesti (*Cercopithecus hoesti*) et du Chimpanzé (*Pan troglodytes*). Les divers carnivores de la RFO sont : le chat doré (*félis aurata*) et deux viverridés rares tels que la genette aquatique (*Osbornictis piscivora*) et la genette géante (*Genetta victoriae*).

3.1.3. Population

La population autochtone de l'Ituri est composée de deux peuples : les bantous (Lese, Bila, Ndaka, ...) et pygmées. Parmi ces deux peuples, les bantous sont en majorité orientés vers les travaux champêtres et les pygmées (peuples de chasseurs-cueilleurs) servent de main d'œuvre. La plupart de cette population se donne à l'exploitation des produits forestiers comme le bois d'œuvre, produits forestiers non ligneux, carrières de sable et charbon, etc.

2.2. Matériels

2.2.1. Dispositif expérimental

Au total 23 parcelles de 50 m × 50m chacune ont été échantillonnées. On compte 4 parcelles à ciel ouvert, 12 cacaoyères sous ombrage et 7 parcelles témoins (dans les forêts secondaires disposées de part et d'autre des champs de cacao). Notons que les champs de cacao sous étude ont été établis depuis plus de quatre ans.

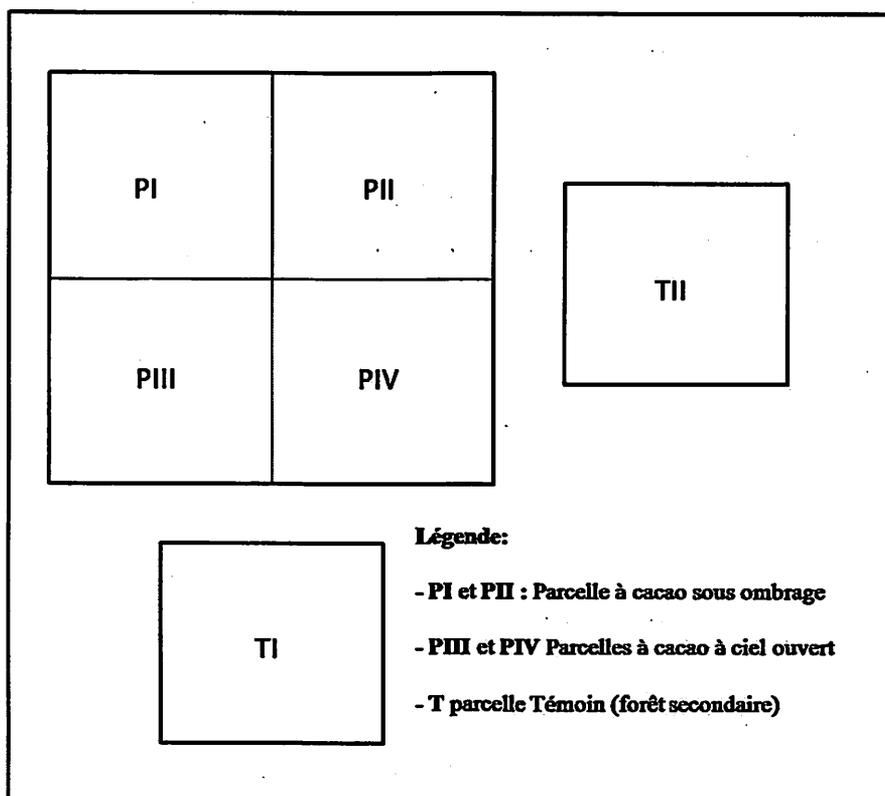


Figure 2 : Illustration du dispositif d'échantillonnage

La superficie totale inventoriée était de 5,75 hectares répartis selon les traitements et par village de la manière suivante :

Tableau 1. Nombre et superficie de parcelles inventoriées par village et traitement

Village	Traitement					
	Champ de cacao à ciel ouvert		Champ de cacao sous ombrage		Forêt secondaire (Témoin)	
	#parcelles	Aire (ha)	#parcelles	Aire (ha)	#parcelles	Aire(ha)
Banana	2	0,5	2	0,5	2	0,5
Bakwanza	2	0,5	2	0,5	2	0,5
Makumo I	0		4	1	1	0,25
Makumo II	0		4	1	2	0,5
Total	4	1	12	3	7	1,75

2.2.2 Matériels de terrain

La réalisation de cette recherche a nécessité un certain nombre d'équipements de terrain pour la collecte des données. Le GPS (Global Positioning System) a servi pour prendre les coordonnées géographiques des parcelles ; la boussole pour la prise des orientations du dispositif expérimental. La machette a permis d'ouvrir des layons et de faire l'entaille pour l'identification des arbres. La peinture a servi pour marquer le niveau de prise de dhp sur les arbres inventoriés. Le mètre ruban de 100m pour délimiter et mesurer les parcelles. Les fiches de collecte des données ou carnet de terrain pour permettre de noter les différentes variables mesurées et observées. Le dhp-mètre pour prendre le diamètre à hauteur de poitrine ; le jalon pour délimiter les parcelles et un Clinomètre SUUNTO (échelle de pourcentage) pour mesurer les hauteurs des arbres et la pente de la placette. Enfin, le ruban en couleur pour symboliser les limites des parcelles.

2.3 Méthodes

2.3.1. Identification des arbres

Les arbres ont été identifiés à leurs espèces généralement à partir des critères stériles c'est-à-dire en utilisant les caractères végétatifs (type d'exsudat, architecture du houppier, ramification, feuille, écorce, aspect du tronc, etc.).

2.3.2 Collecte des données dendrométriques

❖ Mesure de diamètre

Le diamètre était mesuré sur écorce à hauteur de poitrine (1,30 m du sol) au pied des arbres ayant un diamètre supérieur ou égal à 10 cm à l'exception de ceux présentant des défauts évidents (contreforts, bosses, nœuds, renflement, fourches, courbures, etc.). La mesure était prise alors t au-dessus ou en dessous du défaut selon le cas. Des arbres de gros diamètres

étaient estimés et la mention « estimé » était inscrite dans la case observation de la fiche des données d'inventaire.

❖ Estimation de la hauteur

La mesure de la hauteur était effectuée en plusieurs étapes. Premièrement, il a été question de mesurer la distance horizontale à partir du pied de l'arbre. La hauteur totale est obtenue de la visée supérieure et inférieure estimée visuellement en se plaçant à une certaine distance du tronc permettant à l'opérateur de percevoir le sommet de la cime. Une distance de 20 m a été régulièrement utilisé à l'exception des arbres les plus grands, pour lesquels cette distance allait même jusqu'à 30 m ou plus.

L'opération suivante a consisté à viser la cime de l'arbre et noter la pente en pourcentage.

❖ Transformation des mesures de hauteur prises au clinomètre Suunto

Les transformations de mesures brutes prises par le clinomètre de Suunto pour trouver la hauteur des arbres est obtenue de la manière suivante : $Ht = \left(\frac{Ls-Li}{100}\right) * d$

Où Ht est la hauteur totale, Ls la lecture de la pente de la cime en %, Li la lecture de la pente au pied de l'arbre en % et d la distance horizontale, en m, entre l'observateur et l'arbre.

❖ Densité du bois

Pour les espèces de densité de bois inconnue, c'est la moyenne de densité de toutes les espèces du genre ou de la famille ou bien de toutes les espèces inventoriées qui a été prise selon les cas.

❖ Densité et distribution des arbres

La densité (notée N), est le nombre d'arbres sur pied ramené à l'hectare. Pour le calculer avec la diversité relative, nous avons appliqué les formules ci-dessous :

- $N = n/S$ avec N : densité (en arbres/ha), n : nombre d'arbres présents sur la surface considérée et S : surface considérée (ha) ;

2.3.3 Analyse des données

❖ Analyses des données d'inventaires

- **Densité des arbres:** la densité (notée N), est le nombre d'arbres sur pied ramené à l'hectare. Elle se calcule par $N = n / S$ avec N : densité (en arbres/ha), n : nombre d'arbres présents sur la surface considérée et S : surface considérée (ha) ;
- **Densité relative** = $\frac{\text{Nombre d'espèce}}{\text{Nombre total d'espèces dans l'échantillon}} \times 100$
- **Fréquence relative** = $\frac{\text{Fréquence d'une espèce}}{\text{Total des fréquences de toutes les espèces}} \times 100$
- **Abondance relative** = $\frac{\text{Nombre d'individus d'une famille ou espèce}}{\text{Nombre total d'individus dans l'échantillon}} \times 100$
- **Dominance relative** = $\frac{\text{Surface terrière (ST) d'une espèce ou famille}}{\text{ST totale de l'échantillon}} \times 100$

- **Surface terrière :** La surface terrière d'un arbre est la surface de la section transversale de son tronc à 1,30 m de hauteur, exprimée en m². Pour un peuplement, c'est la surface que représenteraient tous les troncs des arbres d'un hectare de la forêt que l'on aurait coupé à 1,30 mètre de hauteur.. La formule de la surface terrière utilisée est $(\pi \times dhp^2)/4$. Elle est donc exprimée en mètre carré par hectare (m²/ha).

❖ Biomasse aérienne et équations allométriques

Elle correspond à la masse de matière végétale ligneuse sèche par unité de surface.

L'approche la plus directe pour estimer la biomasse aérienne d'un arbre implique un certain nombre d'étapes, notamment (1) la récolte de l'arbre, (2) la coupe de l'arbre, dont les feuilles, les branches et les souches, en petits morceaux plus maniables, (3) le four de séchage des morceaux, et (4) la pesée soigneuse des morceaux une fois qu'ils sont complètement secs et que toute l'eau ait été extraite. Bien que très appropriée, cette méthode est aussi très longue, coûteuse, et destructrice. Par conséquent, elle n'est pas une approche pratique pour l'obtention des estimations de biomasse pour beaucoup d'arbres ou de terrains forestiers entiers.

Les limites associées à des méthodes directes ont conduit de nombreux chercheurs à développer des rapports mathématiques, communément appelées équations allométriques, qui permettent de déterminer la biomasse aérienne des arbres à partir des caractéristiques dendrométriques qui sont plus faciles à mesurer sur le terrain. Ces caractéristiques comprennent le diamètre à hauteur de poitrine (DHP), la hauteur totale, et la densité du bois. Des centaines d'équations allométriques ont été développées pour des espèces d'arbres individuels et des espèces de groupes d'arbres par des chercheurs à travers le monde (Walker *et al.*, 2011).

L'allométrie désigne la relation statistique qui existe entre deux ou plusieurs caractéristiques de taille des individus d'une même population. Il est donc possible de définir une relation statistique entre certaines grandeurs faciles à mesurer à grande échelle (diamètre, hauteur, densité) et une grandeur difficile à mesurer telle que la biomasse ou le volume. Effectuer des mesures coûteuses et destructrices pourra ainsi être limité à un échantillon d'arbres et aura pour but d'ajuster des paramètres pour l'ensemble des arbres d'une zone donnée (Sola *et al.*, 2012). Certaines techniques permettent aujourd'hui d'estimer la biomasse aérienne des forêts, et donc les stocks de carbone forestier, sur base d'images satellitaires de haute résolution. Cependant, les estimations les plus précises des stocks de carbone forestier sont obtenues par les inventaires forestiers, tandis que le monitoring des changements des stocks de carbone passe par l'établissement des parcelles permanentes dans lesquelles les arbres sont mesurés à intervalle régulier. Les mesures de terrain présentent donc des avantages que les techniques de télédétection ne peuvent encore offrir à ce jour (Makana, 2010 cité par Nyembo, 2012).

La biomasse aérienne totale en bois se répartit en biomasse aérienne du tronc et biomasse aérienne du houppier (branches). Pour cette étude, l'estimation de la biomasse aérienne des arbres s'est faite à partir des équations allométriques en intégrant les paramètres dendrométriques issues de l'inventaire forestier comme indiqué ci-dessous :

$B.A \text{ (kg)} = \tilde{N} \times \exp(-1,499 + 2,148 \ln(D) + 0,207(\ln(D))^2 + 0,0281(\ln(D))^3)$ (Chave *et al.*, 2005) ; domaine de validité (cm) de $5 < D < 156$.

\tilde{N} : densité du bois

D : diamètre à la hauteur de poitrine

❖ Richesse spécifique et indice de diversité

a) Richesse spécifique

La richesse spécifique représente le nombre d'espèces inventoriées dans une parcelle (Kiet *et al*, 1998). Pour décrire un peuplement forestier, il faut s'intéresser à l'évolution de sa richesse spécifique.

b) Indice de diversité

Les indices de diversité renseignent sur la qualité et la fonctionnalité des peuplements (diversité, interaction, etc.), la variabilité ou non des peuplements (nombre d'individus...); l'évolution des peuplements (progression et régression) (Nshimba, 2008).

• Indice de Shannon-weaver

L'indice de Shannon-Weaver permet de mesurer la diversité spécifique des cacaoyères et des parcelles témoins. Cette moyenne est calculée à partir des proportions des espèces qu'on a recensées (Nshimba, 2008).

$$H = - \sum_{i=1}^s f_i \cdot \log_2 f_i \quad \text{Où } f_i = \frac{n_i}{N}$$

N : effectif total (nombre total des espèces), n_i : effectif de l'espèce dans l'échantillon, s : nombre total d'espèces dans l'échantillon.

• Indice de Fisher alpha

Il est facile à calculer car il ne nécessite que le nombre d'individus dans la communauté dont on cherche à évaluer la diversité. Il prend en compte les espèces rares et est stable en fonction de nombres d'individus.

$$s = \ln\left(1 + \frac{N}{\alpha}\right)$$

N : nombre d'individus, S : richesse spécifique

• Indice d'équitabilité

Il représente le rapport maximal théorique dans le peuplement (H_{\max}). Cet indice est défini par la formule : $R = \frac{H}{H_{\max}}$

Où R ; régularité (équitabilité) varie de 0 à 1, H ; indice de Shannon - weaver, H ; diversité spécifique observée. $H_{\max} = \log_2 \log_2$.

Les indices de diversité cités ci-haut ont été tous calculés directement par le logiciel *Past*

c) Indice de similarité

L'indice de Bray-curtis a été utilisé pour déterminer la similarité des traitements étudiés. Il est très utilisé pour les données d'abondances d'espèces. Cet indice est aussi très connu sous la forme d'une distance, la distance de Bray-Curtis obtenue par la formule :

$$(D_{14}) = 1 - S_{17}$$

2.3.4 Traitements statistiques des données

Les analyses statistiques ont été réalisées en se servant des logiciels Past, Excel et R version 2.10.0 (R Development Core Team, 2009).

L'analyse de variance a été utilisé pour comparer les moyennes pour la densité, la surface terrière, la biomasse, la richesse spécifique et le stockage de carbone entre les trois traitements (ciel ouvert, sous ombrage et témoin). Lorsque l'analyse de la variance s'était avérée significative, le test post-hoc de comparaison multiple de Tukey a été employé pour révéler ces différences.

Pour décider de la signification des tests de comparaison de moyenne et de Tukey, nous avons fait référence à la valeur statistique (p-value) fourni par le logiciel R à l'issue de chaque analyse :

Si p-value $\geq 5\%$: différence non significative ;

Si p-value $< 5\%$, $< 1\%$ et $< 0,1\%$: respectivement différence significative, très significative et hautement significative.

CHAPITRE III. RESULTATS

Ce chapitre présente les principaux résultats obtenus au cours de ce travail sur l'évaluation de la contribution de culture de cacao sous ombrage dans le maintien du stock de carbone dans forêts secondaire de l'Ituri.

3.1. Structure

3.1.1. Densité

Les résultats de la densité moyenne obtenue dans les parcelles de l'étude sont consignés dans la figure ci-dessous. La boîte à moustache représente l'intervalle dans lequel sont regroupées 50% des observations et la barre épaisse à l'intérieur de la boîte indique la densité médiane, la barre basse indique la densité minimale et la barre haute la densité maximale.

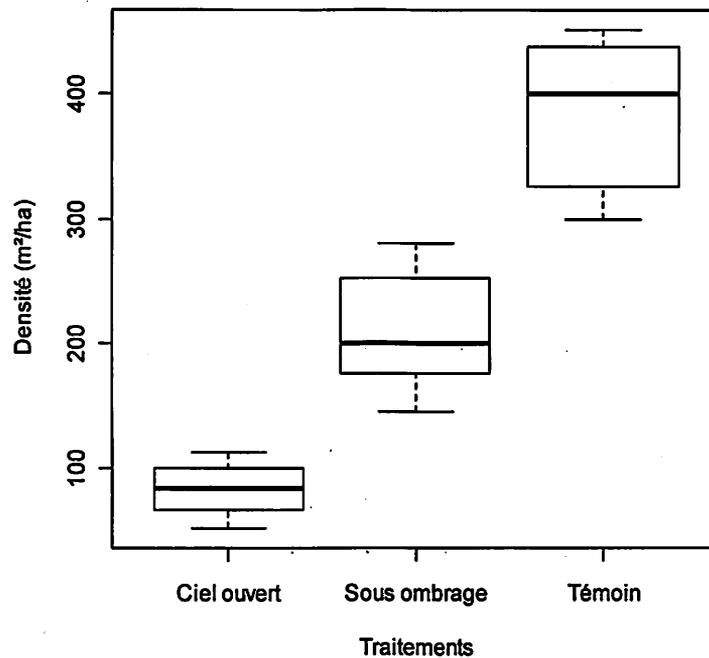


Figure 3. Densité (m²/ha) des parcelles inventoriées

Il ressort de cette figure que la densité moyenne du témoin (forêt secondaire) est beaucoup plus élevée que celle des champs de cacao sous ombrage et à ciel ouvert. Les moyennes enregistrées sont de 382,9, 210 et 83 individus par hectare respectivement pour le témoin, les parcelles sous ombrage et à ciel ouvert. La densité des parcelles sous ombrage représente 55% de celle des parcelles témoins, tandis que celle des parcelles ne représente qu'environ 40% de celle des parcelles sous ombrage et seulement 22% de la densité des parcelles témoins. Le tableau 2 ci-dessous indique que la densité des arbres est significativement différente entre les traitements.

Tableau 2. Résumé de l'analyse de la variance de comparaison des moyennes de densité des différents traitements

	Degré de liberté	Somme de carré	Carrémoyen	F-value	p-value
Traitements	2	252003	126002	50.76	< 0,0001 ***
Résiduels	20	49650	2482		

Le test de Tukey indique tous les trois traitements sont significativement différents (Tableau3). La différence la plus grande étant entre les parcelles témoins et celles de cacao a ciel ouvert.

Tableau 3. Résultat du test post-hoc de Tukey de comparaison de la moyenne de densité des différents traitements

Traitements	Diff	Lwr	Upr	p-value
Sous ombrage-Cielouvert	127,3333	54,55547	200,1112	<0,001
Témoin-Cielouvert	299,8571	220,84801	378,8663	<0,0001
Témoin-Sous ombrage	172,5238	112,57272	232,4749	<0,0001

3.1.2. Surface terrière

Les résultats relatifs à la surface terrière des parcelles inventoriées sont consignés dans la figure 5. Ces résultats montrent que la surface terrière moyenne la plus élevée est de 31,39m²/ha enregistrée dans les parcelles témoin (forêts secondaires), suivie des parcelles sous ombrage avec 21,99 m²/ha et enfin viennent les parcelles à ciel ouvert 5,96m²/ha. On remarque les agro-forêts à cacao contiennent 70% de a surface terrière des forets secondaires environnantes. Alors que le système à ciel ouvert ne compte que 19% de la surface des forêts secondaires environnantes.

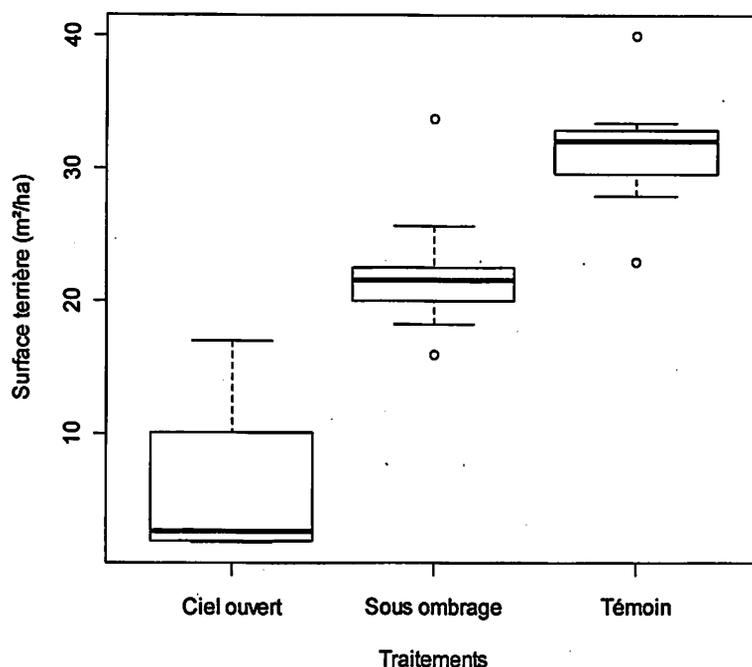


Figure 4 Surface terrière à l'hectare dans les trois traitements

Le résultat du test de normalité de Shapiro-Wilk(0.9221, p-value = 0.07393) indique que les données de la variable surface terrière sont normalement distribuées. Ainsi l'ANOVA a été utilisée et ses résultats indiquent qu'il existe une différence significative entre les différents traitements (tableau 4). Le test de Tukey indique que tous les trois traitements sont différents les uns des autres (tableau 5).

Tableau 4. Résumé de l'analyse de la variance de comparaison des moyennes de surface terrière des traitements

	Degré de liberté	Somme de carré	Carrémoyen	F-value	p-value
Traitements	2	252003	126002	50.76	1,46e-08 ***
Résiduels	20	49650	2482		

Tableau 5. Résultat du test post-hoc de Tukey de comparaison des moyennes des surfaces terrières de différents traitements

Traitements	Diff	Lwr	Upr	p-value
Sous ombrage - Cielouvert	127,3333	54,55547	200,1112	0,0007274
Témoin - Cielouvert	299,8571	220,84801	378,8663	0
Témoin - Sous ombrage	172,5238	112,57272	232,4749	0,0000014

3.1.3. Distribution des classes de diamètre

La distribution des individus en fonction des classes de diamètre est consignée dans la figure 5.

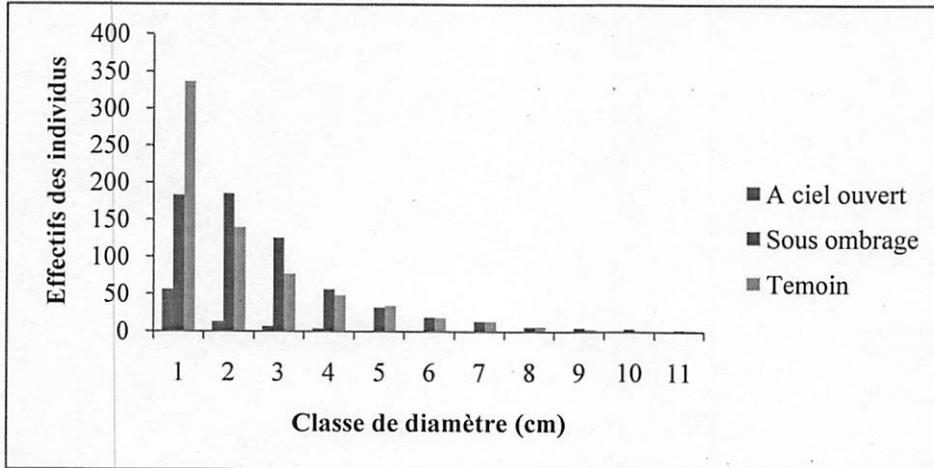


Figure 5. Distribution diamétrique des individus en fonction de traitement. Classe de diamètre 1= 10-19,9cm ; 2=20-29,9cm ; 3=30-39,9 ... ; 11=>110cm

Il ressort de la figure ci-haut que la classe 1 renferme le plus grand nombre des tiges, alors que dans les parcelles sous ombrage c'est la classe 2 qui compte le plus grand nombre d'individus. La distribution diamétrique montre une allure décroissante pour le témoin et le traitement à ciel ouvert avec beaucoup d'arbres de petite taille.

3.2. Composition floristique et diversité

Les inventaires réalisés dans les champs de cacao sous ombrage, à ciel ouvert et dans les forêts secondaires voisines ont permis de recenser au total 1.393 arbres de diamètre supérieur ou égal à 10 cm. Ces arbres se répartissent en 93 espèces, 81 genres et 33 familles.

3.2.1. Richesse spécifique, diversité et similarité

La richesse spécifique dans les différents traitements est présentée dans la figure 4 ci-dessous.

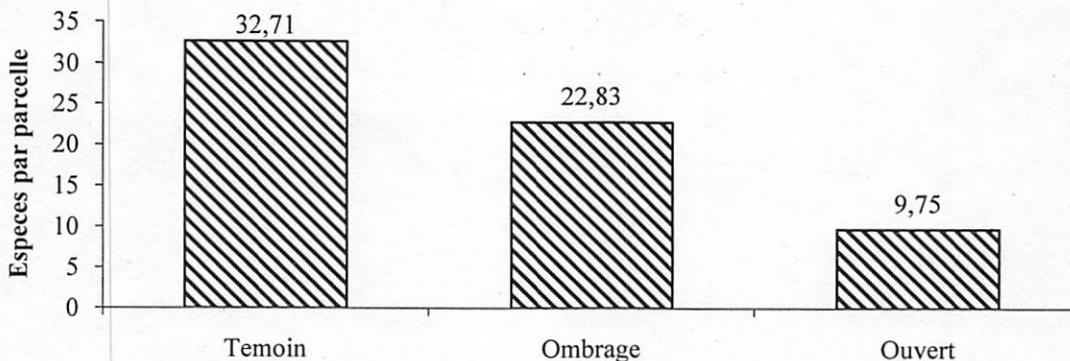


Figure 6. La moyenne des espèces par parcelle et par traitement

La lecture de la figure 6 montre que les parcelles témoins ont la richesse spécifique la plus élevée (32,7 espèces par parcelle), suivies des parcelles sous ombrage qui comptent en moyenne 22,8 espèces tandis que les parcelles de cacao à ciel ouvert ne comptent qu'environ 10 des espèces en moyenne.

Tableau 6. Indice de diversité

	Traitements		
	Ciel ouvert	Sous ombrage	Témoin
Indice Shannon	2,824	3,564	3,647

L'indice de diversité de Shannon-Wiener corrobore les résultats de la richesse spécifique en plaçant la diversité la plus élevée dans les parcelles témoins. Mais il ne semble avoir de différence entre la diversité des parcelles témoins et celle des parcelles sous ombrage (3,647 vs. 3,564). Les parcelles de cacao à ciel ouvert sont nettement moins diversifiées.

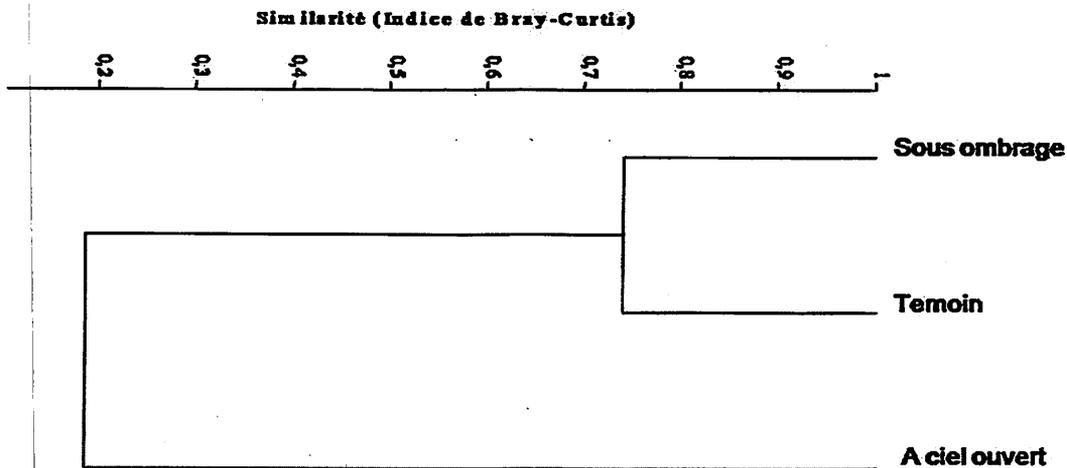


Figure 7. Indice de similarité de Bray-Curtis pour les différents traitements

L'analyse de la similarité des trois traitements concernés par cette étude à travers l'indice de similarité de Bray-Curtis (figure 7) indique une forte similarité des parcelles sous ombrages à celles en forêt secondaire, les parcelles à ciel ouvert sont fortement modifiées et forment un groupe à part.

3.2.2. Abondance relative des espèces et dominance

L'analyse des paramètres botaniques de parcelles étudiés relatifs à la densité relative et à la dominance est consignée dans les figures 8, 9, 10 et 11

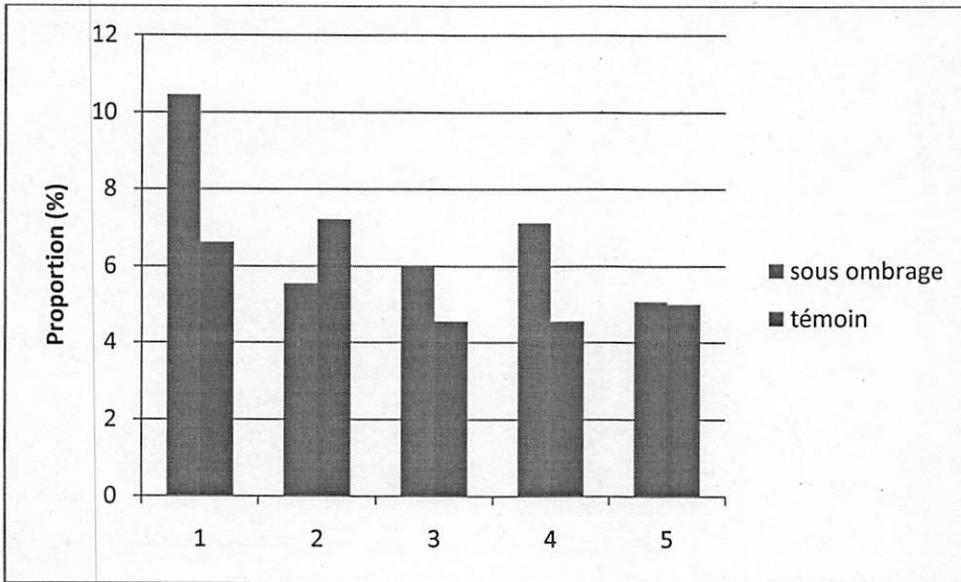


Figure 8. Densité relative des espèces dans les traitements. Espèces 1=*Albizia gumifera*, 2=*Paveta* sp ; 3= *Alangium chineensis* ; 4= *Myrianthus arboreus* et 5 ; *Antiaris toxicaria*

L'espèce, 1 suivie de 4, 3, 2 et 5 sont beaucoup plus abondante dans le traitement sous ombrage alors que les espèces 2 suivie de 1, 5 sont abondants dans les traitements témoin de la figure ci-haut.

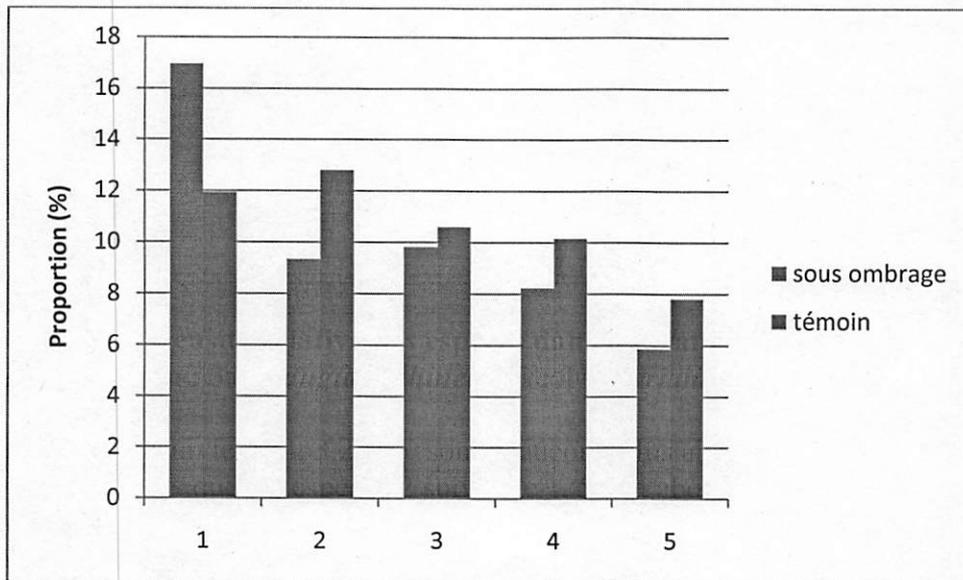


Figure 9. Densité relative des familles dans les traitements. Familles 1= *Euphorbiaceae*, 2= *Fabaceae*; 3= *Moraceae*; 4= *Urticaceae* et 5 = *Rubiaceae*

Il ressort de la figure 8 que les familles les plus abondante sont respectivement 1, 3, 2, 4 et enfin 5 dans le traitement sous ombrage; tandisque dans le traitement témoin. est dominé par les familles de 2, 1, 3, 4 et 5.

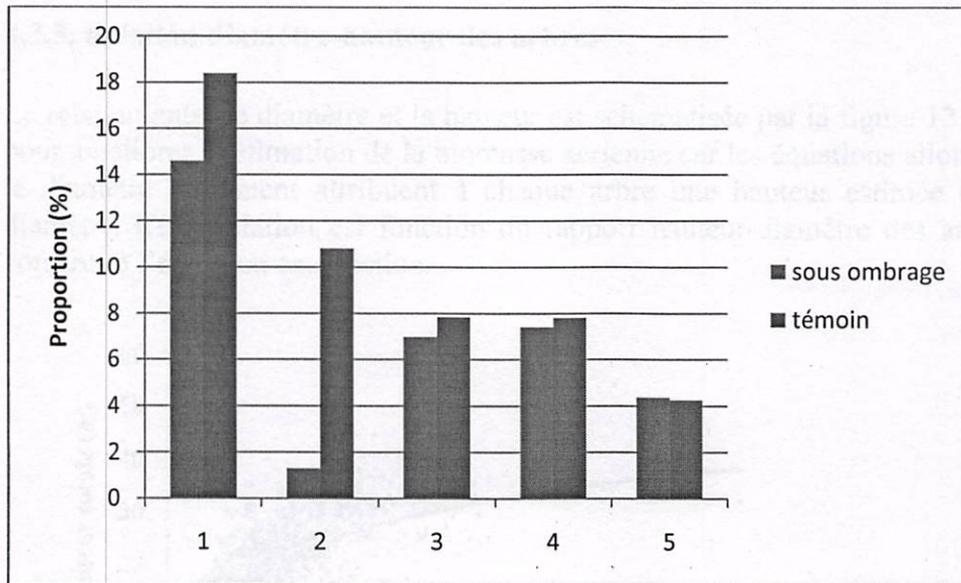


Figure 10. Dominance relative des espèces . Espèces 1=*Albizia gumifera*, 2= *Musanga cecropioides*; 3= *Ricinodendron heudelotii*; 4= *Paveta sp* et 5 ; *Alangium chineensis*

La lecture de cette figure montre, pour le traitement sous ombrage, une très grande dominance des espèces 1 suivie de 4,3, 5 et 2. Dans le traitement témoin l'espèce 1 est la plus dominante suivie de 2, 4, 3 et 5.

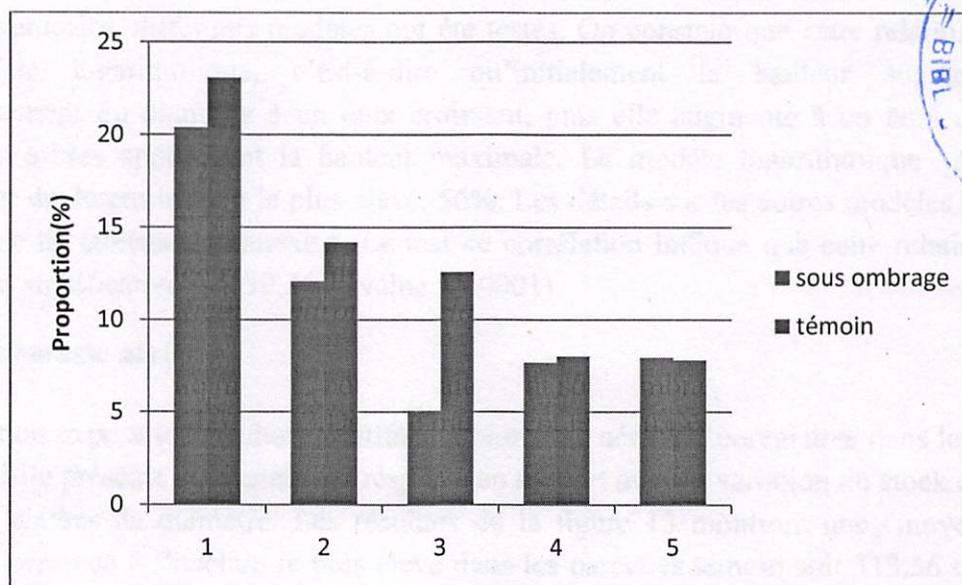


Figure 11. Dominance relative des familles. Familles 1= *Fabaceae*; 2= *Euphorbiaceae*; ; 3= *Urticaceae* 4= *Rubiaceae* et 5 = *Moraceae*

La figure 11 montre une dominance relative des familles 1 suivie 2 dans les deux traitements et que le traitement sous ombrage est dominé respectivement des familles 5,4 et 3 alors que le traitement témoin est dominé de familles 3,4 et 5.



4.3.3. Relation diamètre-hauteur des arbres

La relation entre le diamètre et la hauteur est schématisée par la figure 12. Elle est importante pour améliorer l'estimation de la biomasse aérienne car les équations allométriques basées sur le diamètre seulement attribuent à chaque arbre une hauteur estimée en fonction de son diamètre. Cette relation est fonction du rapport hauteur-diamètre des arbres ayant servis à construire l'équation en question.

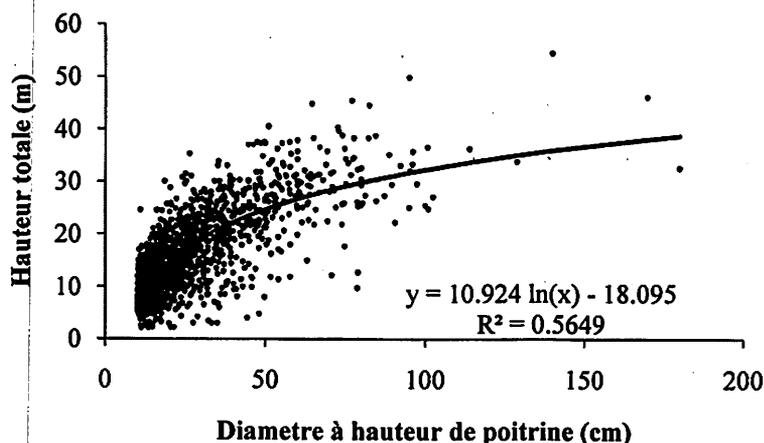


Figure 12. Distribution de DHP par rapport à la hauteur totale des individus

Pour déterminer la relation entre le diamètre à hauteur de poitrine et la hauteur totale des arbres inventoriés, différents modèles ont été testés. On constate que cette relation répond à un modèle logarithmique, c'est-à-dire qu'initialement la hauteur augmente avec l'accroissement du diamètre à un taux croissant, puis elle augmente à un taux décroissant quand les arbres approchent la hauteur maximale. Le modèle logarithmique présente le coefficient de détermination le plus élevé, 56%. Les détails sur les autres modèles sont repris sous forme de tableau en annexe 5. Le test de corrélation indique que cette relation est très hautement significative ($t = 39,34$, $p\text{-value} < 0.0001$).

3.4. La Biomasse aérienne

Cette section expose les résultats relatifs à la biomasse aérienne enregistrée dans les parcelles étudiées. Elle présente également les résultats en rapport avec la variation du stock de carbone selon les classes de diamètre. Les résultats de la figure 13 montrent une moyenne de la biomasse aérienne à l'hectare le plus élevé dans les parcelles témoin soit 313,56 t/ha, suivie du traitement sous ombrage avec 243,55 t/ha et enfin vient le traitement à ciel ouvert 20,77t/ha pour le témoin.

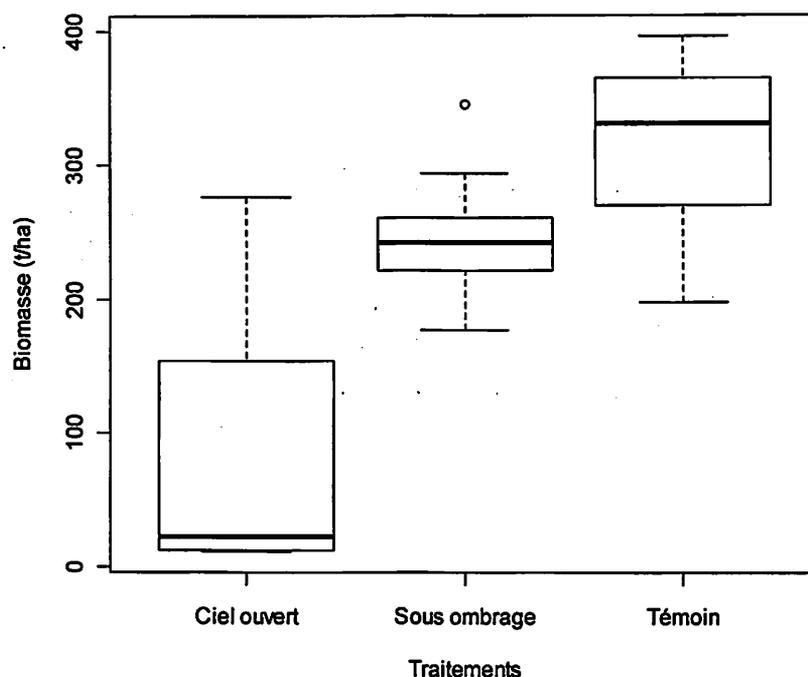


Figure 13. L'analyse de la biomasse aérienne par traitement (ramenée au tonne à l'hectare)

Les résultats de l'analyse de la variance indiquent qu'il existe une différence significative entre ces trois traitements au seuil de 5% (tableau 7). Il ressort du test post-hoc de Tukey (tableau 8) que la moyenne du traitement à ciel ouvert diffère significativement du traitement sous-ombrage et de la forêt secondaire, la moyenne de ces deux derniers traitements n'étant pas significativement différentes.

Tableau 7. Résumé de l'analyse de la variance de comparaison des moyennes de biomasse des traitements étudiés

	Degré de liberté	Somme de carré	Carrémoyen	F-value	p-value
Traitements	2	136291	68145	12,92	0.00025 ***
Résiduels	20	105472	5274		

Tableau 8. Résultat du test post-hoc de Tukey de comparaison des moyennes de biomasse des traitements étudiés

Traitements	Diff	Lwr	Upr	p-value
Sous ombrage - Cielouvert	160,45	54,38	266,52	0,0029
Témoin - Cielouvert	230,46	115,31	345,62	0,00017
Témoin - Sous ombrage	70,015	-17,36	157,39	0,13

Les résultats de la biomasse aérienne de la distribution diamétrique sont représentés par la figure 14

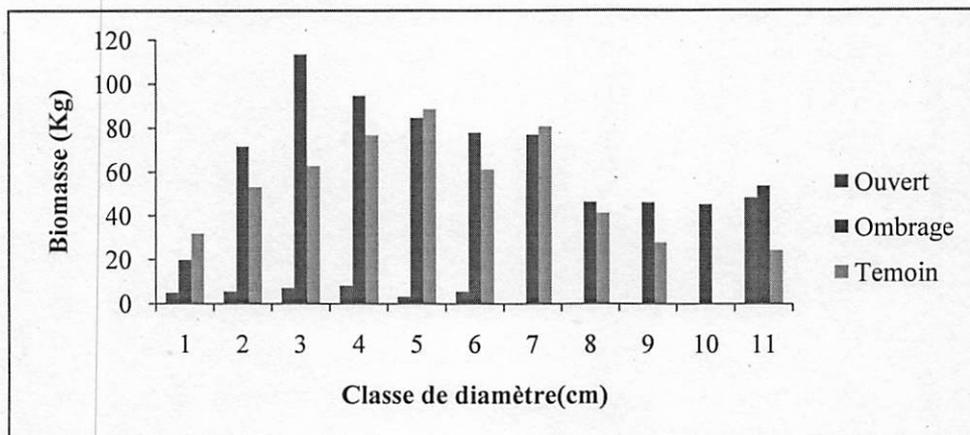


Figure 14 : Biomasses en fonction des classes de diamètre des arbres par traitement (classe de diamètre 1= 10-19,9cm ; 2=20-29,9cm ... ; 11= >110cm)

Il ressort de la figure 14 que la biomasse obtenue du traitement sous ombrage est plus importante pour les classes de diamètre, 3, 4, 5, 6, et 2. Le témoin quant à lui présente une biomasse plus élevée pour les classes de diamètre 5, 4, 7, et 3. Le traitement à ciel ouvert par contre montre une biomasse assez élevée seulement pour la classe de diamètre 11, les autres classes (1 à 6) semblent présenter une biomasse assez uniforme et faible.

CHAPITRE IV. DISCUSSION

4.1. Culture de cacao sous ombrage et stockage de carbone

La première hypothèse de ce travail n'a pas été infirmée. En effet, les agro-forets a cacao contiennent des stocks de carbone ou biomasse aérienne qui sont similaires à ceux des forêts secondaires environnantes (p -value = 0,13). Bien que la biomasse de témoin a été supérieure à celle des parcelles de cacao sous ombrage, ces dernières contiennent près de 78% de la biomasse de la forêt secondaire originelle. On peut donc dire que la culture de cacao sous ombrage a un potentiel important pour conserver le carbone forestier dans un paysage agricole, satisfaisant ainsi le double objectif de la réduction de la pauvreté et la conservation de la forêt qui joue un rôle important dans l'atténuation du réchauffement climatique par la séquestration de carbone.

La moyenne de la biomasse aérienne a été de 313,56t/ha dans le traitement témoin qui est une forêt secondaire, en le comparant avec les valeurs de TAYO (2014), elle est moins élevée car leurs parcelles témoin (forêt secondaire) étaient à proximité des zones anthropisées (jachères, forêt secondarisée, cacaoyère, champ) qui sont presque deux fois plus sollicitées que les écosystèmes véritablement forestiers.

Les valeurs des SAF de cacao de TAYO (2014) (78 tC/ha) sont nettement inférieures à notre traitement sous ombrage. Ceci peut s'expliquer par le choix de planteurs de cacao pour le niveau d'ombrage désiré dans leurs champs. Il est possible que les champs expérimentaux qui ont fait l'objet de ce travail aient conservé un niveau d'ombrage supérieur à celui que les paysans voudraient avoir dans leurs champs.

La deuxième hypothèse aussi a été confirmée. Le niveau de stocks de carbone est nettement supérieur dans les agro-forets a cacao en comparaison avec celles de cacao à ciel ouvert (p -value = 0.003). Les parcelles a cacao à ciel ouvert ne représentent qu'environ 7% de la biomasse des forêts secondaires environnantes et 8.5% de celle des agro-forets a cacao. Etant donné que les paysans de l'Ituri rapportent une meilleure production dans les champs sous ombrage, il semble totalement inapproprié de pratiquer la culture de cacao à ciel ouvert dans la région.

4.2. Agro-forets a cacao et conservation des écosystèmes forestiers

La troisième hypothèse de l'étude a aussi été confirmée, car la diversité floristique des agro-forets a cacao n'est pas différente de celle des témoins. La valeur de l'indice de diversité de Shannon-Wiener est presque la même entre les deux traitements, 3,647 vs. 3,564. Les parcelles a ciel ouvert étaient plus pauvres en espèces.

Les densités obtenues pour nos traitements d'étude (témoin, sous ombrage et à ciel ouvert) varient respectivement entre 452 – 300, 144 – 280 et 52 – 112, pour une moyenne de 382,86 ; 210,33 et 83 individus à l'hectare. Des études similaires au nôtre ont été réalisées au Cameroun (Durot, 2013 et TAYO, 2014) qui ont trouvés des valeurs très supérieures à nos résultats dans les SAF cacaoyères ou traitement sous ombrage, cela s'explique par l'âge des

cacaocultures qui influence la densité dans ce traitement par rapport au diamètre (DHP \geq 10cm).

En outre, la richesse spécifique des traitements témoin, sous ombrage et ciel ouvert révèle respectivement 33, 23 et 10 espèces en moyenne. Celle du traitement témoin est élevée car elle est due à une succession de végétation qui traduit de la reconstitution de la forêt à la suite de perturbation anthropique.

La littérature nous rapporte que la valeur de la surface terrière de plusieurs parcelles de 1ha dans les forêts tropicales humides de certains pays du monde est comprise entre 30,7m²/ha et 45,75m²/ha (DHP \geq 10cm). Cependant nos résultats présentent des valeurs de surface terrière nettement inférieure comprise entre 22,89m²/ha et 39,96m²/ha avec une moyenne de 31,38m²/ha à celle à celle de la forêt secondaire des environs de Kisangani (BOSUANDOLE, 2013).

CONCLUSION ET SUGGESTION

1. Conclusion

Nous retiendrons de cette étude que, les SAF cacao et les forêts secondaires peuvent séquestrer le carbone et contribuer au changement du climat mondial. Elles emmagasinent de grandes quantités de carbone dans la végétation et le sol, en favorisant l'échange entre la terre et l'atmosphère à travers la photosynthèse et la respiration. Les forêts sont des sources de carbone atmosphérique lorsqu'elles sont perturbées, en deviennent des puits quand elles ne le sont plus et se régénèrent, et peuvent être gérées de manière que soit modifié leur rôle dans le cycle du carbone (Brown, 1996).

Dans notre étude, nous nous sommes intéressés à l'évaluation de stock de carbone dans les jeunes champs de démonstration de cacao de l'âge de quatre ans (4 ans) environ occupant une superficie de un (1) hectare chacun dans trois sites différents et les forêts secondaires environnantes ces champs.

Après analyse, les résultats obtenus relèvent ce qui suit :

Les forêts secondaires (Témoin) sont plus diversifiées suivis des traitements SAF cacao et enfin le traitement à ciel ouvert. Ces résultats confirment nos hypothèses selon lesquelles la biomasse aérienne et la diversité floristique seraient supérieures dans les traitements témoins (forêts secondaires environnantes) suivis des parcelles sous ombrage (SAF cacao) et à ciel ouvert.

Ainsi nous avons obtenus des valeurs de stockage de carbone qui ont été de 156,78 tC/ha dans le témoin suivis de sous ombrage et ciel ouvert qui sont respectivement de 121,77 tC/ha et 41,54 tC/ha pour une biomasse respective de 313,56t/ha, 243,54 t/ha et 83,07 t/ha. Ces résultats sont à prendre avec beaucoup de prudence car il découle d'une première campagne.

En bref, nous avons atteint nos objectifs dans la mesure où nous avons évalué la contribution de la quantité de la biomasse dans les SAF cacao et de la diversité floristique dans les forêts secondaires d'Ituri ; ce qui nous a permis d'évaluer également les stocks du carbone dans ces différents traitements.

Lors de notre étude sur terrain, nous avons été confrontés à un certain nombre de difficultés d'ordre technique et logistique :

- ❖ Le nombre insuffisant de parcelle témoin, sept (7) au lieu de huit (8) au minimum, et ciel ouvert, 4 au lieu de 8 au minimum.
- ❖ L'estimation visuelle de la hauteur totale des arbres sous couvert serré (cimes enchevêtrées ou jointives) a été difficile ;
- ❖ L'identification de certains arbres nécessitant l'utilisation des manuels après le prélèvement d'échantillons.

2. Suggestion

En tenant compte de la complexité du thème de notre étude par rapport à l'âge de notre culture de cacao qui est de quatre ans seulement, nous suggérons que cette étude soit poursuivie à la longue avec la présence dans l'inventaire des pieds de cacaoyères pour apporter une meilleure connaissance de la contribution de la culture de cacao dans le stockage de carbone.

Nous voudrions suggérer que ceux qui pourraient trouver un quelconque intérêt dans ce travail dans l'optique de le poursuivre, de comparer le stock de carbone de la culture de cacao sous ombrage avec d'autres formations forestières en tenant compte de la nature du sol.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Anonyme 2007.** *La forêt en RDC post-conflit : Analyse d'un agenda prioritaire.* Revue .Edition 2007
- Boyemba B.F.** 2006. *Diversité et régénération des essences forestières exploitées dans les forêts des environs de Kisangani (RDC) ;* Mémoire de Diplôme d'Etudes Approfondies en sciences biologiques. Université libre de Bruxelles
- Boyemba B.F.,** 2011. *Ecologie de Pericopsiselata (harms) van meeuwen (fabaceae), arbre de forêt tropicale africaine à répartition agrégée.* Thèse de doctorat en sciences. Université libre de Bruxelles
- Brown S et al.,** 1996. *Management of forests for mitigation of greenhouse gas emissions:* Watson R.T, Zinyowera M. C et Moss R. H 115(éd.), *Climate change 1995: impacts, adaptations and mitigation of climate change: scientific analyses.* Contribution de l'Ile Groupe de travail au deuxième rapport d'évaluation du GIEC. Cambridge University Press, Cambridge, pp.773-798
- Chave J., DeWal S J.,** 2004. *Structure and Biomass of Four Lowland Neotropical Forests. ??*
- Chave J., Guitet S., Blanc L., Gomis A.** 2005. *Expertise sur les références dendrométriques nécessaires au renseignement de l'inventaire national de gaz à effet de serre pour la forêt guyanaise.* Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, Rapport final. 38Pg.
- Dany Toung,** 2010. *Estimation de la quantité de carbone stockée par une forêt en reconstitution.* Ecole Nationale des Eaux et Forêts du Cap-Estérias (Gabon). Mémoire
- Dorvil W.** 2010. *Evaluation de la biomasse et des stocks de carbone sur des placettes forestières en forêt tropicale humide de Guadeloupe. ??*
- Doucet J-L.,** 2003. *L'alliance délicate de la gestion forestière et de la biodiversité dans la forêt du centre du Gabon.* Thèse de doctorat. Faculté universitaire des sciences agronomiques de Gembloux. 316 Pg.
- Durot Claire,** 2013. *Evaluation et comparaison des stocks de carbone des systèmes agroforestiers à base de cacaoyers du Centre Cameroun Cas de l'arrondissement de Bokito,* Mémoire de Fin d'Etude, Groupe ISA LILLE&CIRAD, 76p
- Ebuy Ali Pade J.** 2009. *Estimation du stockage de carbone dans les plantations de l'I.N.E.R.A. Yangambi à Yangambi (R.D. Congo) : Cas d'Austranellacongolensis (De Wild) A. Chev., de Gilbertiodendron dewerei (De Wild)J. Léonard et «Drypeteslikwa (J. Léonard. Nomen) ».* D.E.A, Faculté des sciences .UNIKIS. 125Pg.
- FAO. 2002.** *Etude de cas d'aménagement forestier exemplaire en Afrique centrale: les systèmes agroforestiers cacaoyers, Cameroun.* Par Denis J. Sonwa, octobre 2002. Document de travail FM/12F. Service de la mise en valeur des ressources forestières, Division des ressources forestières. FAO, Rome (non publié).
- Garrity D.P.** 2004. *Agroforestry and the achievement of the Millennium Development Goals.* Agroforestry Systems 61p.

- GIEC. 2007.** *Bilan 2007 des changements climatiques*. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Équipe de rédaction principale, Pachauri, R.K. et Reisinger, A., Genève, Suisse, 103 p.
- Ibanda B.** 2012. *Etude écologique des forêts caducifoliées à Gilbertiodendron kisantuens (Vermoesen ex De wild) J. Léonard dans la réserve forestière de la Yoko (Ubundu, RDC)*, Mémoire de D.E.A, Faculté des sciences .UNIKIS. 54Pg.
- Laporte et al., 2008.** *Les fonctions de la REDD en République Démocratique du Congo (RDC) : The woodshole research centre*, p.16.
- Legendre, Bocard D., 2009.** *Analyse multidimensionnelle*. 45Pg.
- LINDSEY NORGROVE & STEFAN HAUSER, 2013.** Carbon stocks in shaded Theobroma cacao farms and adjacent secondary forests of similar age in Cameroon) *Tropical Ecology* 54(1): 15-22,).
- Lomba B.C. 2012.** *Systèmes d'agrégation et structures diamétriques en fonction des tempéraments de quelques essences dans les dispositifs permanents de Yoko et Biaro (Ubundu, province orientale RD. Congo)*. Thèse de doctorat en Sciences.
- Lubini, A.C. 2003.** *La gestion des forêts tropicales secondaire en Afrique: Sur les aspects écologiques des forêts secondaires en Afrique centrale et occidentale francophone*. Document thématique. Laboratoire de Biologie I.S.P/Gombé et Université de Kinshasa. 18Pg.
- Makana, J. R. 2004.** – *Ecology and sustainable management of African mahoganies and other selected timber species in northeastern Congo basin, Democratic Republic of Congo*. Thesis for degree of doctor, University of Toronto, Canada.
- Makana J.R. 2010:** *Estimation des stocks de carbone aérien dans les forêts du Bassin du Congo: Cas des parcelles permanentes de l'Ituri et de la Salonga en RDC*.
- MECNT, 2011.** *Synthèses sur les études sur les causes de la déforestation et de la dégradation en RDC*. FAO, PNUD, PNUE. Kinshasa, RDC.
- Nelsona, B., W., Mesquita R., Pereira L.G., Silas Garcia Aquino de Souza, Getulio Teixeira Batista, Bovino C.L.** Allometric regressions for improved estimate of secondary forest biomass in the central Amazon
- Nshimba S.H., 2008.** *Composition du, Etude floristique, écologique et phytosociologique des forêts de l'île Mbiye à Kisangani, RD. Congo*. Thèse de doctorat en Sciences. Université Libre de Bruxelles
- Nolte, C., Kotto-Same, J., Moukam, A., Thenkabail, P.S., Weise, S.F., Zapfack, L.** 2001. Land use characterization and estimation of carbon stock in the alternative to slash and burn benchmark area in Cameroon. Resource and crops management research Monograph No 28. IITA, Ibadan

- NYEMBO K. F., 2012.** *Contribution à l'étude de la dynamique forestière : Accroissement diamétrique et évolution du stock de carbone dans la forêt semi-caducifoliée de la réserve de Yoko (Ubundu, RD. Congo)* 47Pg
- Patrick JAGORET.2011.** *Analyse et évaluation de systèmes agroforestiers complexes sur le long terme : Application aux systèmes de culture à base de cacaoyer au Centre Cameroun,* Thèse de doctorat, MONTPELLIER
- Quentin M., 2012.** *Développement des équations allométriques afin d'estimer les stocks de carbone séquestré dans les forêts primaire du Nord- Est du Gabon, Afrique central*
- Ramade F. 1994.** *Elément d'écologie, écologie fondamentale.* Edition science international, Paris, 579Pg.
- Razakamanarivo H.,Razakavololona A., Razafindrakoto M.A.,Vieilledent G. et Albrecht A. 2012.** Below-ground biomass production and allometric relationships of eucalyptus coppice plantation in the central highlands of Madagascar.Review
- Sola G., Picard N., Saint-André L., Henry M., 2012 :** *Résumé du manuel de construction d'équations allométriques pour l'estimation du volume et la biomasse des arbres: de la mesure de terrain à la prédiction.* CIRAD et FAO.
- SUPAGRO. 2013.** Irène Arizmendi Gonzalez-*Quelle stratégie de gestion pour l'augmentation de la rentabilité des systèmes agroforestiers : modélisation technico-économique des agroforêts cacaoyers et caféiers et améliorées au Cameroun-Montpellier-CIHEAM-IAMM , 120.* (Master of science -, n°125). 236p+annexes
- TAYO GAMO K. Y. 2014.** *Dynamique de la biodiversité ligneuse et des stocks de carbone dans les systèmes agroforestiers a base de cacaoyer au centre Cameroun : cas de ngomedzap,* Mémoire de Master professionnel en foresterie, UNIVERSTITE DE DSCHANG, 91p)
- Thales H., Bogaert J., Beeckman H., 2012.** *Etude de stock de carbone des forêts de Yangambi(RDC) ;* Gembloux
- Thangata, P. H., & Hildebrand, P. (2012).** Carbon stock and sequestration potential of agroforestry systems in smallholder agroecosystems of sub-Saharan Africa: Mechanisms for 'reducing emissions from deforestation and forest degradation' (REDD+). *Agriculture, Ecosystems and Environment (158)* , 172–183.
- Walker, W., A. Baccini, M. Nepstad, N. Horning, D. Knight, E. Braun, et A. Bausch. 2011.** Field Guide for Forest Biomass and Carbon Estimation. Version 1.0. Woods Hole Research Center, Falmouth, Massachusetts, USA
- White L.J.T et Edwards A., 2001.** *Conservation en forêt pluvial africaine: méthodes de recherché.* WCS. 241pg

TABLE DES MATIERES

DEDICACE

REMERCIEMENTS

RESUME

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DE FIGURES

LISTE DES ABREVIATIONS

0. INTRODUCTION	1
0.1. Contexte	1
0.2. Problématique.....	1
0.3. Hypothèses	3
0.4. Objectifs	3
0.5. Intérêt du travail.....	3
0.6. Subdivision du travail	3
CHAPITRE I. GENERALITES	5
1.1. Les systèmes Agroforestiers de cacao	5
1.2. La forêt secondaire.	6
1.2.1. Le concept de forêt secondaire.....	6
1.2.2. Typologie des forêts secondaires.	6
1.2.3. Les critères de classification.	6
CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES	7
2.1. MILIEU D'ETUDE	7
2.1.1 Situation géographique.	7
2.1.2. Description biophysique du milieu d'étude.	8
3.1.3. Population	9
2.2. Matériels.....	9
2.2.1. Dispositif expérimental.....	9
2.2.2 Matériels de terrain.....	10
2.3 Méthodes	10
2.3.2 Collecte des données dendrométriques	10
2.3.3 Analyse des données	11
2.3.4 Traitements statistiques des données.....	14
Chapitre III. RESULTATS.....	15
3.1. Structure.....	15

3.1.1. Densité.....	15
3.1.2. Surface terrière.....	16
3.1.3. Distribution des classes de diamètre.....	18
3.2. Composition floristique et diversité.....	18
3.2.1. Richesse spécifique, diversité et similarité.....	18
3.2.2. Abondance relative des espèces et dominance.....	19
4.3.3. Relation diamètre-hauteur des arbres.....	22
3.4. La Biomasse aérienne.....	22
Chapitre IV. DISCUSSION.....	25
4.1. Culture de cacao sous ombrage et stockage de carbone.....	25
4.2. Agro-forets a cacao et conservation des écosystèmes forestiers.....	25
CONCLUSION ET SUGGESTION.....	27
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	29
TABLE DES MATIERES.....	32
ANNEXES	

ANNEXES

Annexe 1. Résultat de l'Abondance des espèces dans les différents traitements

Nom scientifique	Traitements		
	A ciel ouvert	Sous ombrage	Témoin
<i>Aidia micrantha</i>	0	0	1
<i>Alangium chineensis</i>	9	38	31
<i>Albizia gumifera</i>	0	66	45
<i>Albizia zygia</i>	0	8	7
<i>Allanblackia floribunda</i>	0	11	2
<i>Alstonia bonei</i>	2	8	11
<i>Angylocalyx pynaertii</i>	0	1	0
<i>Anonidium mannii</i>	0	2	0
<i>Antiaris toxicaria</i>	7	32	34
<i>Antrocaryonnan nanii</i>	1	0	0
<i>Aulacocalyx jasminiiflora</i>	0	1	0
<i>Barteria nigritaria</i>	0	3	7
<i>Blighia welwitschii</i>	0	4	5
<i>Bridelia atroviridis</i>	0	0	1
<i>Bridelia micrantha</i>	0	17	23
<i>Canarium schwerfurthii</i>	0	7	7
<i>Carapa procera</i>	0	0	1
<i>Ceiba petandra</i>	0	1	0
<i>Celtis adolfi-friderici</i>	0	3	0
<i>Celtis durandii</i>	2	4	11
<i>Celtis mildibraedii</i>	3	12	4
<i>Celtis prantlii</i>	0	0	1
<i>Chrysophyllum pentagonocarpum</i>	0	1	0
<i>Cola acuminata</i>	0	1	0
<i>Cola lateretia</i>	1	9	11
<i>Comiphyton gabonense</i>	0	1	3
<i>Cordia abyssinica</i>	17	8	7
<i>Cordia millenii</i>	1	4	0
<i>Croton haumanianus</i>	0	3	2
<i>Desplatsia dewevrei</i>	0	2	0
<i>Dichrostachys sp</i>	0	3	1
<i>Diogoia zenkeri</i>	0	0	1
<i>Dubosci aviridis</i>	0	2	0
<i>Entandrophragma candollei</i>	1	3	3
<i>Erythropheum suaveolens</i>	0	1	1
<i>Ficus hexasperata</i>	1	14	23
<i>Ficus sp</i>	0	0	1
<i>Futumia africana</i>	0	2	9
<i>Futumia sp</i>	0	0	1
<i>Garcinia kola</i>	0	0	1

<i>Grewia oligoneura</i>	0	6	0
<i>Guarea cedrata</i>	0	1	0
<i>Guarea sp</i>	0	3	3
<i>Harungana madagascariensis</i>	0	0	1
<i>Irvingia excelsa</i>	0	1	0
<i>Irvingia robur</i>	0	1	0
<i>Julbernadia seretii</i>	0	1	3
<i>Khaya anthoteca</i>	3	9	19
<i>Kigelia africana</i>	0	0	1
<i>Klainedoxa gabonensis</i>	0	1	0
<i>Lanea welwitschii</i>	0	4	0
<i>Lindackeria schweinfurthii</i>	0	1	0
<i>Lychnodiscus cerospermus</i>	0	0	3
<i>Macaranga barteri</i>	0	0	1
<i>Macaranga monandra</i>	0	5	6
<i>Macaranga spinosa</i>	0	2	15
<i>Maesopsis eminii</i>	0	7	3
<i>Maproune africana</i>	0	0	2
<i>Margaritaria discoidea</i>	8	35	27
<i>Milicia excelsa</i>	0	2	2
<i>Morinda lucida</i>	0	1	1
<i>Musanga cecropioides</i>	1	7	38
<i>Myrianthus arboreus</i>	0	45	31
<i>Nauclea diderichii</i>	0	0	2
<i>Omphalocarpum sp</i>	0	2	0
<i>Oncoba crepiniana</i>	0	0	1
<i>Pancovia harmsiana</i>	0	0	1
<i>Parkia bicolor</i>	1	11	2
<i>Paveta sp</i>	3	35	49
<i>Persea americana</i>	1	3	2
<i>Petersianthus macrocarpus</i>	0	5	6
<i>Piptadeniastrum africanum</i>	2	0	0
<i>Pseudospondias microcarpa</i>	1	28	28
<i>Psidium guayava</i>	0	1	0
<i>Pterocarpus soyauxii</i>	0	1	3
<i>Pycnanthus angolensis</i>	3	8	11
<i>Rauvolfia vomitoria</i>	0	1	1
<i>Ricinodendron heudelotii</i>	2	14	11
<i>Schrebera golungensis</i>	0	10	8
<i>Senna mannii</i>	0	0	3
<i>Senna sp</i>	0	7	6
<i>Senna spectalis</i>	0	1	0
<i>Senna spetabilis</i>	0	0	5
<i>Sorindea multifoliolata</i>	0	1	0
<i>Sterculia bequaertii</i>	0	0	5

Synsepalum msolo	0	2	0
Synsepalum sp.	3	0	3
Tetrapleura tetraptera	1	7	5
Tetrorchidium didymostemon	0	0	23
Théobroma cacao	0	1	0
Treculia africana	0	2	2
Trema orientalis	2	2	4
Trichilia rubescens	0	1	6
Trilepisium madagascariense	1	12	10
Vernonia amygdalina	0	4	1
Vitex ferruginea	0	0	1
Xylopia aethiopica	0	0	2
Zanthoxylum lemairei	0	1	0
Zanthoxylum gillettii	0	8	13
ZZZ	6	59	54

Annexe 2. Abondance des familles dans les différents traitements

Familles	Traitements		
	A ciel ouvert	Sous ombrage	Témoin
Alangiaceae	9	38	31
Anacardiaceae	2	33	28
Annonaceae	0	2	0
Anonaceae	0	0	2
Apocynaceae	2	11	22
Asteraceae	0	4	1
Bignoniaceae	0	0	1
Boraginaceae	18	12	7
Burseraceae	0	7	7
Cannabaceae	7	21	20
Clusiaceae	0	11	4
Euphorbiaceae	10	59	87
Fabaceae	4	107	81
Flacourtiaceae	0	4	8
Irvingiaceae	0	3	0
Lamiaceae	0	0	1
Lauraceae	1	3	2
Lecythidaceae	0	5	6
Malvaceae	1	22	16
Meliaceae	4	17	32
Moraceae	9	62	72
Myristicaceae	3	8	11
Myrtaceae	0	1	0
Olacaceae	0	0	1
Oleaceae	0	10	8
Phyllanthaceae	0	17	24
Rhamnaceae	0	7	3
Rhizophoraceae	0	1	3
Rubiaceae	3	37	53
Rutaceae	0	9	13
Sapindaceae	0	4	9
Sapotaceae	3	5	3
Urticaceae	1	52	69
ZZ	6	59	54
Total général	83	631	679

Annexe 3. Biomasse et de stockage de carbone par parcelle et site selon les différents traitements

Site	Traitement	Parcelle	AGB	carbone	AGB t/ha	CarbonetC/Ha
Bahaha	Ombrage	PIII	53,1450673	26,5725337	212,580269	106,290135
Bahaha	Ombrage	PIV	60,2630846	30,1315423	241,052338	120,526169
Bahaha	Ouvert	PI	2,89846924	1,44923462	11,5938769	5,79693847
Bahaha	Ouvert	PII	3,21442406	1,60721203	12,8576962	6,42884812
Bahaha	Témoin	TI	82,7794125	41,3897063	331,11765	165,558825
Bahaha	Témoin	TII	86,5247049	43,2623524	346,09882	173,04941
Banana	Ombrage	PIII	66,9864883	33,4932442	267,945953	133,972977
Banana	Ombrage	PIV	57,8883482	28,9441741	231,553393	115,776696
Banana	Ouvert	PI	68,974912	34,487456	275,899648	137,949824
Banana	Ouvert	PII	7,988361	3,9941805	31,953444	15,976722
Banana	Témoin	TI	49,4908767	24,7454383	197,963507	98,9817534
Banana	Témoin	TII	59,5330146	29,7665073	238,132058	119,066029
Makumo	Ombrage	PI	44,1392813	22,0696406	176,557125	88,2785626
Makumo	Ombrage	PII	61,0296297	30,5148149	244,118519	122,059259
Makumo	Ombrage	PIII	45,1764587	22,5882294	180,705835	90,3529175
Makumo	Ombrage	PIV	57,5982223	28,7991111	230,392889	115,196445
Makumo	Témoin	TI	99,0313003	49,5156501	396,125201	198,062601
Makumo	Ombrage	PI	60,9843556	30,4921778	243,937422	121,968711
Makumo	Ombrage	PII	73,4742988	36,7371494	293,897195	146,948598
Makumo	Ombrage	PIII	86,3939158	43,1969579	345,575663	172,787832
Makumo	Ombrage	PIV	63,5633603	31,7816801	254,253441	127,126721
Makumo	Témoin	TI	95,8968296	47,9484148	383,587319	191,793659
Makumo	Témoin	TII	75,4776137	37,7388068	301,910455	150,955227

Annexe 4. Richesse spécifique, la Densité et la Surface terrière par parcelles

Site	Traitement	Parcelle	Effectif	Richessespécifique	Densité (m ² /ha)	Surface terrière/ha
Banana	Cielouvert	PII	13	7	52	12,9779214
Bahaha	Cielouvert	PI	28	10	112	1,87503844
Bahaha	Cielouvert	PII	20	10	80	1,74085054
Banana	Cielouvert	PI	22	12	88	16,97143
Bahaha	Ssombiage	PIV	36	13	144	20,6131015
Banana	Ssombiage	PIII	49	17	196	21,4638656
Banana	Ssombiage	PIV	39	18	156	19,444607
Makumo	Ssombiage	PII	42	18	168	20,5618724
Makumo	Ssombiage	PIV	51	21	204	21,4928792
Makumo	Ssombiage	PI	46	23	184	15,9464743
Makumo	Ssombiage	PIII	58	24	232	33,6599114
Makumo	Ssombiage	PIV	62	26	248	22,94934
Banana	Témoin	TI	100	27	400	22,8924557
Bahaha	Ssombiage	PIII	47	27	188	22,0513722
Makumo	Ssombiage	PIII	67	27	268	18,1965606
Makumo	Ssombiage	PI	70	29	280	21,9699143
Bahaha	Témoin	TII	75	31	300	32,2872729
Makumo	Ssombiage	PII	64	31	256	25,5468673
Makumo	Témoin	TII	113	32	452	32,0713885
Makumo	Témoin	TI	107	33	428	39,9634991
Bahaha	Témoin	TI	78	34	312	31,162817
Banana	Témoin	TII	112	36	448	27,9119655
Makumo	Témoin	TI	85	36	340	33,4232213

Annexe 5. Modèles de courbe indiquant la relation entre la hauteur totale et le diamètre à hauteur de poitrine

Modèle de courbe	Fonction	Coefficient de détermination
Exponentielle	$Y = 8,788e^{0,017x} e^{0,017x}$	$R^2 = 0,390$
Linéaire	$Y = 0,315x + 7,696$	$R^2 = 0,525$
Logarithmique	$Y = 10,92 \ln(x) \ln(x) - 18,09$	$R^2 = 0,564$
Polynomial	$Y = 0,002x^2 + 0,508x + 4,482$	$R^2 = 0,564$
Puissance	$Y = 1,784x^{0,651}$	$R^2 = 0,476$

Annexe 6. Diversité floristique et indice de diversité

Paramètres	Indicateur de mesure	Traitements		
		Ciel ouvert	Sous ombrage	Témoin
Composition floristique	Nombre d'espèces	26	75	74
	Nombre d'Individus	83	631	679
Indice de diversité	Indice Simpson	0,91	0,95	0,96
	Indice Shannon	2,82	3,56	3,65
	Indice Equitabilité	0,87	0,82	0,85
	Indice Fisher alpha	13,01	22,17	21,14