

**UNIVERSITE DE KISANGANI
FACULTE DES SCIENCES**

**Département d'Ecologie et Gestion
des Ressources Végétales**



**B.P. 2012
KISANGANI**

Estimation des stocks de Carbone dans les différents peuplements forestiers de Kisangani et ses environs
R.D. Congo.

Par

Isaac BOSUANDOLE BOLILA

TRAVAIL DE FIN D'ETUDE

Présenté en vue de l'obtention du grade de
Licencié en Sciences.

Option : Biologie

Orientation : Botanique

Promoteur : Prof. Dr. Faustin BOYEMBA B. (UNIKIS)

Encadreur : Ass. Janvier LISINGO. W. L. (UNIKIS)

Doctorant Pieter MOONEN (UCL)

Année Académique : 2012 – 2013

Remerciement

Cette année d'étude m'a été très riche en découverte de la forêt prestigieuse de la RD. Congo, pays au multiple facettes, étourdissant de vitalité et qui conserve encore bien des mystères et merveilles de la nature non découvertes.

Découverte des majestueuses montagnes de l'axe Ituri et enfin de 'personnalités qui ont marqué cette aventure et que je tiens à remercier ici.

Qu'il nous soit permis au moment où nous achevons ce travail couronnant la fin de nos études universitaires, d'exprimer notre profonde gratitude envers le Seigneur Jésus-Christ notre Dieu pour nous avoir fait grâce et surtout de nous avoir protégé tout au long du parcours plein d'épines et humiliations.

Notre profonde gratitude s'adresse au Professeur. Dr. Faustin BOYEMBA BOSELA, notre promoteur du travail, pour sa disponibilité, son inestimable aide scientifique, ses conseils, ses interventions ponctuelles et pertinentes sont à l'origine de la réalisation de ce travail.

Ass. Doctorant Janvier LISINGO W, pour leurs soutiens inconditionnels de toutes sortes, sans vos conseils et remarques pertinentes ce travail n'aurait jamais été rendu possible. Vous nous avez accompagnés avec patience dans nos premiers pas de recherche en botanique alors que nos connaissances étaient encore flottantes.

Nous remercions également le Doctorant Pieter MOONEN de l'Université Catholique de Louvain (Belgique), pour sa collaboration scientifique et technique spontanée et inconditionnel, nous disons encore merci.

Nos remerciements s'adressent au projet VLIR-DEFI financé par l'Union Européenne pour la disponibilisation des moyens matériels et financiers en vue de nos descentes sur terrain pour les récolter des données de cette étude. Pour le projet nous passons au responsable de notre volet (carbone) le Professeur Faustin BOYEMBA, pour nous avoir accepté sans condition ni peine d'être sélectionné dans l'équipe.

Que les autorités facultaires et tous les corps académique, scientifique, administratif, technique et ouvrier de la Faculté des Sciences trouvent ici l'expression de notre attachement pour l'étroite collaboration.

Qu'ils soient assurés de mes plus profonds respects et reconnaissances.

Ce travail n'a pu aboutir sans le concours de nombreuses personnes à qui j'aimerais témoigner ici ma profonde gratitude et reconnaissance, plus particulièrement à :

Anaclet LISIKO, pour sa collaboration avant, pendant et après les terrains. Sa présence était vraiment utile pour ce travail.

Aux collègues Botanistes qui nous ont accompagnés aux terrains en forêts dans des conditions difficiles et pénibles, que je pense à notre accident de moto (PK 147) vers la route Ituri ; dont nous passons particulièrement à Hyacinthe SOLOMO et Cyrille YUMA.

Disons aussi merci à nos braves techniciens du terrain dont : MORINO, Pierre BONI-BONI et PASTEUR, pour nous avoir accompagnés aux terrains.

Remercions également tous nos camarades et ami (e) s de l'auditoire dont leurs représentants : Junior LOKE, Bienvenu NDJOKU, Adeline NTAHOBAVUKA, Thom's KAVALI, ISETCHA, avec qui nous avons partagé la joie et les peines de la vie estudiantine, merci et à tout ceux qui ont de près ou de loin contribué à l'accomplissement de cette œuvre, nos sincères remerciements.

Mention spéciale à notre grande sœur Annie BOSUANDOLE LITUA, pour des sacrifices et soutien inconditionnelle : moral, matériel, alimentaire et surtout financier, merci Yaya.

Qu'elle soit assurée de mes plus profonds respects et reconnaissances.

Grand merci à nos frères et sœurs aîné (e) s dont je pense particulièrement à Jadot BAMUNGU, Marthe BOSUANDOLE, Papy BOSUANDOLE, Maxime BOSUANDOLE pour leurs soutiens.

Enfin, je tiens à remercier spécialement ma famille et surtout mes parents : Papa Léonard BOSUANDOLE BOLILA et Maman Antoinette KOMBA, de m'avoir laissé continuer mes études aussi longtemps sans avoir essayé de m'en dissuader ; leurs soutiens financiers et moral nous a été capitales ;

Qu'ils trouvent ici l'expression de ma plus profonde gratitude

Isaac BOSUANDOLE BOLILA

RESUME

Les estimations de la biomasse forestière ligneuses aériennes sont nécessaires pour suivre les variations des stocks de Carbone ainsi que pour d'autres fins.

Cette étude a été réalisée dans le district de la Tshopo autour de la ville de Kisangani, dans trois villages (Bafwabula, Yambela et Yaoseko).

Dans le présent travail, nous nous intéressons au carbone stocké dans la biomasse vivante des forêts naturelles. Ce stock de carbone important à l'échelle du globe est assez mal connu et peu d'étude dans notre région de Kisangani. L'étude de la biomasse permet de quantifier l'impact des activités humaines sur la forêt et d'essayer de mieux comprendre son fonctionnement écologique.

L'idée principale pour cette étude est d'estimer le stock de Carbone séquestré dans les différents systèmes d'utilisations de terre. 70 parcelles ont été installées dans les différents types de peuplements (Forêt primaire sur sol hydromorphe, forêt primaire sur terre ferme, forêt secondaire, plantation d'hévéa, jachère et champs).

3716 individus de plante ont été échantillonnés à partir d'un DHP allant de 5 à 175 cm ; auquel 1142 individus à Bafwabula, 1248 à Yambela et 1326 à Yaoseko.

Pour y arriver nous avons évalué la biomasse aérienne. C'est pourquoi Deux modèles d'équation allométrique ayant des variables : hauteur, DHP et densité de bois on fait l'objet de cette étude (le modèle de Chave & al. 2005 et celui de Fayolle & al. 2013).

L'estimation moyenne de la biomasse et de quantité de Carbone séquestré varie en fonction des types de peuplements.

Mots clés : Le stock de Carbone, équation allométrique, biomasse et la densité.

SUMMARY

Aerial forest woody biomass estimates are needed to monitor changes in carbon stocks as well as for other purposes.

This study was conducted in the district of Tshopo around the town of Kisangani, in three villages (Bafwabula, Yambela and Yaoseko).

In the present work, we look at the carbon stored in biomass living from natural forests. This stock of carbon important across the globe is poorly known and little study in our region of Kisangani. The study of biomass allows quantifying the impact of human activities on forest and trying to better understand its ecological functioning.

The main idea for this study is to estimate the stock of carbon sequestered in different uses of Earth systems. 70 plots were installed in different types of stands (primary forest on soil hydromorphe, primary forest on dry land, secondary forest, plantation rubberwood, fallow, and fields).

3716 plant individuals were sampled from a dbh ranging from 5 to 175 cm; to which 1142 Bafwabula individuals, 1248 to Yambela and 1326 at Yaoseko.

Getting there should evaluate the aboveground biomass; it is why two models of allometric equation with variables: height, dbh and density of wood is the object of this study (the model of Chave et al. 2005 and Faye & al. 2013).

Average estimation of biomass and sequestered carbon varies according to the types of stands.

Key words: carbon stock, allometric equation, biomass and density.

TABLE DES MATIERES

| | |
|--|----|
| REMERCIEMENTS..... | i |
| RESUME..... | ii |
| SUMMARY..... | v |
| TABLE DES MATIERES..... | vi |
| | |
| INTRODUCTION GENERALE | 1 |
| 0.1. Contexte de l'étude | 1 |
| 0.2. Généralité sur les forêts tropicales..... | 1 |
| 0.3. Problématique | 3 |
| 0.4. Hypothèses et Objectifs..... | 4 |
| 0.5. Structure du mémoire..... | 5 |
| 0.6. Rôle des forêts..... | 5 |
| | |
| CHAPITRE II. MATERIEL ET METHODE | 7 |
| 2.1. Milieu d'étude..... | 7 |
| 2.2. Matériel..... | 12 |
| 2.2.1. Matériel biologique..... | 12 |
| 2.2.2. Matériel non biologique | 12 |
| 2.3. Méthode | 13 |
| 2.3.1. Méthode de collecte des données | 13 |
| 2.3.2. Identification des arbres. | 13 |
| 2.3.3. Stratification des zones d'étude | 14 |
| 2.2.4. Analyse de la biodiversité | 14 |
| 2.2.4.1. Indices des attributs structuraux | 15 |
| a. La surface terrière | 15 |
| 2.2.4. Biomasse aérienne et équations allométriques. | 15 |
| 2.2.5. Quantification du stockage de carbone | 16 |
| 2.2.5. Analyse des données et tests statistiques | 17 |
| 1. Analyse des données | 17 |
| 2. Tests statistiques | 18 |
| CHAPITRE 3 – RESULTATS | 19 |
| 3.1. Diversité et composition floristique | 19 |
| 3.2. Caractéristiques structurales..... | 21 |
| 3.2.1. Densité et surface terrière | 21 |
| 3.2.2. Répartition des individus par classes de diamètre | 21 |

| | |
|--|----|
| 3.3. Caractérisation de la biomasse produite et carbone séquestré en fonction des sites | 22 |
| 3.3.1. Estimation de la Biomasse et du carbone d'après l'équation de Chave. | 23 |
| 3.3.2. Estimation de la Biomasse et du carbone d'après l'équation de Fayolle | 24 |
| 3.3. Estimation de quantité du Carbone en fonction des différents types forestiers inventoriés. | 24 |
| 3.4.1. Carbone selon l'équation de Chave (2005) | 25 |
| 3.4.2. Carbone selon l'équation de Fayolle (2013) | 26 |
| CHAPITRE 4. DISCUSSION | 27 |
| 4.1. Structure de peuplement | 27 |
| 4.1.1. La densité..... | 27 |
| 4.1.2. La surface terrière..... | 27 |
| 4.1.3. Distribution diamétrique..... | 28 |
| 4.2. La Biomasse totale..... | 28 |
| 4.3. Le stockage de Carbone..... | 29 |
| CONCLUSIONS ET SUGGESTIONS..... | 30 |
| 1. Conclusions..... | 30 |
| 2. Suggestions..... | 31 |
| REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES..... | 32 |

INTRODUCTION GENERALE

0.1 – Généralités sur les forêts tropicales

Les forêts tropicales couvrent globalement 1,9 milliards d'hectares, soit environ 48 % de la superficie totale des terres boisées (FAO, 2006a). On y dénombre en général plusieurs centaines d'espèces à l'hectare et le peuplement forestier proprement dit est composé d'un grand nombre d'espèces d'arbres (BOYLE & SAYER, 1995 ; BOYEMBA, 2011). Ces forêts occupent une place capitale dans la vie de l'homme en général, tant sur le plan local qu'international. Elles sont le plus souvent non seulement sollicitées pour les divers produits vitaux qu'elles renferment (aliments, médicaments, bois, énergie, etc.), mais aussi pour remplir des fonctions fondamentales, notamment la régulation des principaux facteurs climatiques (pluviométrie, humidité atmosphérique (LÉONARD & OSWOLD, 1996)), la protection des sols contre l'érosion, et le stockage de carbone permettant de lutter contre le renforcement de l'effet de serre (DOUCET & KOUADIO, 2007). Ces forêts peuvent donc séquestrer jusqu'à 2 à 5 tonnes de carbone par an (DORVIL, 2010).

En Afrique, les forêts les mieux connues actuellement sont les forêts tropicales humides de plaine du fait de leur extension et surtout de leur richesse en espèces commerciales (BOYEMBA, 2011). Elles couvrent environ 236 millions d'hectares (DOUCET & KOUADIO, 2007) dont la majeure partie est située en Afrique centrale (203 millions d'hectares). Depuis plusieurs dizaines d'années, ces forêts sont soumises à une déforestation intense due en grande partie à la pression des populations et à l'extension des terres agricoles. Le taux moyen annuel de déforestation a atteint 0,5 % durant la période 2000 – 2005 pour l'Afrique centrale et de l'Ouest avec des variations importantes selon les pays : 3,3 % au Nigeria ; 1,0 % au Cameroun et 0,2 % en RDC (FAO, 2009).

En République Démocratique du Congo (RDC), comme dans la majorité des pays africains, la croissance démographique est élevée ; 60,2 millions d'habitants en 2006 (INS, 2009 in BOYEMBA, 2011). A cette poussée démographique s'ajoute l'exode rural : la population rurale migre vers les villes dont les besoins en matières premières ne cessent d'augmenter. Les besoins en bois sont les plus importants notamment pour les constructions, le feu et la fabrication de charbon de bois. Le bois de chauffage constitue la principale source d'énergie pour la totalité des familles rurales et 91,5 % des familles urbaines en RDC (Ministère de l'Énergie, 2009 in BOYEMBA, 2011). Il représente environ 80 % de l'exploitation forestière

totale de bois, soit une consommation annuelle de 45 millions de m³ de bois comme source d'énergie domestique (MBALA, 2007).

Notons également l'impact de l'activité d'agriculture sur l'environnement en général. L'agriculture constitue donc la principale activité des populations congolaises. Elle est, en grande partie, du type traditionnel et repose partout en RDC sur l'agriculture itinérante sur brûlis (BOYEMBA, 2011). Les principales cultures sont vivrières : manioc (variétés douces et amères), céréales (notamment maïs et le riz), bananes, et légumineuses (soja, arachide, ...).

L'exploitation forestière de bois d'œuvre, qu'elle soit industrielle ou artisanale, constitue aussi une activité importante dans le pays et est considérée comme l'une des activités qui provoquent la déforestation et la dégradation des forêts tropicales.

Outre son impact sur la biodiversité, cette déforestation tropicale prend une part importante dans les émissions des gaz à effet de serre. Elle interviendrait pour plus de 12 % des émissions totales de CO₂ (VAN DER WERF *et al.*, 2009). Ce qui correspond à environ 1 milliard de tonnes de carbone par an (BOYEMBA, 2011). La dégradation de l'environnement en termes de gaz à effet de serre, l'émission du dioxyde de carbone, l'amincissement de la couche d'ozone, la dégradation des terres, la rareté de l'eau, la déforestation et d'autres calamités sont considérés comme une menace pour le bien être de la population (ANON, 2001).

Comme Wilson (1992), nous sommes d'avis que les forêts constituent les principaux réservoirs mondiaux de diversité génétique végétale et animale, leur destruction serait une perte inestimable pour la flore et la faune de la planète.

Passons rapidement en revue des différentes fonctions des forêts d'après l'A.T.I.B.T, (2007) (Association Technique Internationale des Bois Tropicaux). En accord avec l'A.T. I.B.T, les fonctions essentielles des forêts sont :

- **Fonctions écologiques**

Maintien de la biodiversité, patrimoine de la planète et de l'humanité ; source potentielle de molécules ; régulation climatique locale ; protection des sols contre l'érosion ; régulation des régimes hydriques ; régulation climatique globale, grâce au stockage du carbone.

- **Fonctions socio-économiques**

Production de bois d'œuvre à usage industriel et ensemble des retombées économiques en milieu rural ; autres produits à usage des populations locales, appelés produits autres que le bois d'œuvre : pour l'alimentation, la médecine, la construction, l'artisanat, le commerce local ; réserve de terres agricoles.

- **Fonctions socio-culturelles**

Cultures et lieu de culte des populations intimement liées au milieu forestier ; existence de sites sacrés, d'arbres ou espèces sacrées ; intérêt des opinions publiques internationales pour la forêt tropicale, début de développement de l'écotourisme

0.2 – Contexte de l'étude

Cette étude s'inscrit dans le contexte général de changement climatique et ses mesures d'atténuation notamment la REDD / REDD+. Ces mécanismes de Réduction des Emissions de gaz à effet de serre, liées à la déforestation et la dégradation des forêts, sont au centre des préoccupations de tous, tant sur le plan international que sur le plan national.

L'étude a été lancée dans le cadre du projet DEFI (Développement Economique des Forêts à travers une utilisation Informée) financé par le programme VLIR-UOS de la coopération belge. Ce projet qui est exécuté par l'Université de Kisangani en partenariat avec l'Université de Leuven (Belgique), développe plusieurs autres aspects notamment les aspects socio-économiques permettant de comprendre comment la REDD est perçue par les populations locale des environs de Kisangani, les aspects de SIG et télédétection pour le suivi temporel et spatial du couvert forestier, les aspects ethnobotaniques permettant de connaître les ressources utilisées par les populations locales et de comprendre la manière dont ces populations locales utilisent ces ressources végétales.

0.3 – Problématique de l'étude

La planification de la gestion des terres et des forêts doit être comprise comme une première étape dans un processus décisionnel transparent et démocratique plus long et doit être accompagnée de cadres/textes de politique/juridique qui définissent les droits de propriété et d'usage (RUSSELL *et al.*, 2011), incluant les Produits Forestiers Non-Ligneux (PFNLs). Les forêts de Kisangani et ses environs ont depuis longtemps connu plusieurs menaces de la part

des populations (agriculture itinérante sur brûlis, exploitation de bois de chauffe, ...) et des exploitants forestiers industriels et artisanaux (MATE, 2001).

Dans la région de Kisangani et ses environs, comme dans toute la RDC, la déforestation est stimulée principalement par la demande de terres pour l'agriculture et la demande pour le charbon de bois. Afin de diminuer les coûts des engagements des pays industrialisés, le protocole de Kyoto s'est doté d'un mécanisme de flexibilité appelé mécanisme de développement propre (MDP), permettant d'instaurer un marché mondial du carbone (CCNUCC, 2005).

Afin de protéger la biodiversité abondante des forêts tropicales et le carbone y stockée, l'UNFCCC négocie un mécanisme REDD+ (Réduction des émissions liées à la déforestation et la dégradation de la forêt) pour compenser les coûts en valeur de carbone exploité émis dans l'atmosphère et ouvrir des opportunités de la conservation des forêts. Un aspect important dans le processus est la création d'une bonne comptabilisation du carbone. Une amélioration de REDD est de faire une comptabilisation du carbone terrestre pour chaque occupation du sol au lieu d'un budget partiel uniquement pour les forêts. Ce budget complet inclut donc les zones (forêts, plantations, jachères, parcelles d'agroforesterie, ...) qui sont gérées par les communautés locales.

En plus, les autres fonctions des différents types d'utilisation des terres (conservation de la biodiversité par exemple) doivent être connus pour être capable d'analyser les échanges entre différentes services. Cette information est absente dans la région de Kisangani, République Démocratique du Congo, qui est récemment l'objet d'importants changements d'occupation du sol.

Dans cette approche, nous cherchons des méthodes fiables et rapides qui sont appropriés au niveau des communautés locales.

Le carbone est présent dans notre environnement sous diverses formes et à de nombreux endroits qui constituent autant des stocks de carbone (océans, biomasse, atmosphère, roches) ; l'augmentation annuelle nette de carbone dans l'atmosphère est de l'ordre de +3300 millions de tonne de carbone. Cette augmentation est essentiellement due au recours systématique aux combustibles fossiles (DFAYS E., 2000) (de l'ordre de 80 %) mais également à la destruction des forêts tropicales et subtropicales.

Cependant, très peu d'études ont été réalisées en forêt tropicale de région de Kisangani et ses environs pour mesurer sa potentialité dans le processus de séquestration du Carbone. En outre, UNFCCC (2008) ; suggère que des études approfondies seraient nécessaires dans les forêts tropicales humides car si la hausse de température de l'air se poursuivait au rythme actuel, d'ici la fin de l'année 2030, le niveau de la mer devrait s'élever de 20 cm et à la fin du siècle il augmenterait d'un mètre.

0.4 – Hypothèses et Objectifs

0.4.1 – Hypothèses

L'hypothèse centrale formulée dans le cadre de ce travail est la suivante : les activités exercées par les populations locales sur les forêts contribuent à la diminution du potentiel de séquestration ou des stocks de carbone forestiers. Afin de confirmer cette hypothèse centrale, les hypothèses spécifiques suivantes seront testées :

- La structure forestière est différente selon les types de peuplements dans notre zone d'étude ;
- La biomasse aérienne ligneuse est différente entre le type de formations forestières étudiés ;
- Le stock de carbone forestier est différent selon les types de peuplements (strates : forêt primaire, forêt secondaire, jachère, champs, plantation,..).

0.4.2 – Objectif général

L'objectif général de cette étude est d'obtenir un aperçu sur les stocks de carbone forestiers suivant les différentes formations forestières.

0.4.3 – Objectifs spécifiques

Les objectifs spécifiques sont :

- Caractériser et Comparer la structure (densité, structure totale et surface terrière) dans les différents types d'utilisation des terres dans les trois sites/villages étudiés ;
- Estimer la biomasse aérienne ligneuse produite dans les différents types de peuplements et
- Déduire les stocks de carbone séquestrés par les différents peuplements d'arbres étudiés.

0.5 - Structure du mémoire

Hormis l'introduction, notre travail se subdivise en quatre chapitres :

- Le chapitre deuxième va décrire le milieu d'étude, les matériels et méthodes utilisés dans ce modeste travail ;
- Le troisième chapitre va exposer sur des résultats obtenus dans le travail ;
- Le troisième quatrième chapitre va discuter les résultats obtenus, les compare entre eux et avec les données de la littérature et
- Une conclusion et suggestion mettra fin à ce travail.

CHAPITRE II – MILIEU D'ETUDE, MATERIEL ET METHODES

2.1 - Milieu ou site d'étude

2.1.1. Situation Géographique

La République Démocratique du Congo compte plus de 135 millions d'hectares de forêts denses et humides réparties dans les Provinces du Bas Congo, du Bandundu, de l'Equateur, du Katanga, dans les deux Kasai et la Province Orientale. Les forêts de la RDC présentent la diversité de formations végétales liées aux différentes zones climatiques qui traversent le pays (De Maret, 2000 in Ebuy, 2009).

La RDC est située de part et d'autre de l'Equateur, entre 5°20' de latitude Nord et 13°27' de latitude Sud et elle s'étend entre 4°12' et 31°00' de longitude Est. Sa superficie est de 2 345 000 km², occupant ainsi la onzième place au monde et la troisième en termes de surface en Afrique, après l'Algérie et le Soudan. La fraction du territoire national utilisée par l'homme n'est que de 4,5%, soit 105.525 km² et avec plus de 11000 espèces végétales recensées, dont un tiers serait endémique, elle constitue un véritable phénomène du genre, sans compter la grande diversité de mammifères, primates et oiseaux (Nshimba, 2008).

La présente étude a été menée dans la Province Orientale qui constitue l'une des 11 Provinces que compte la RDC dans sa structure administrative actuelle. Cette Province est située en plein cœur de la cuvette centrale dans la région Guinéo - Congolaise et elle s'étend du deuxième parallèle Sud au cinquième parallèle Nord et 22^e au 31^e méridien Est de Greenwich (NYAKABWA, 1982).

Cette Province est la deuxième en termes de superficie forestière après celle de l'Equateur, mais la plus vaste en termes de superficie totale. Elle est subdivisée en quatre districts : Tshopo (notre zone d'étude), Ituri, Bas-Uélé et Haut-Uélé.

Les travaux ont été menés dans le District de la Tshopo sur trois sites : trois villages ont été sélectionnés, sur les axes de Yangambi, d'Opala et d'Ituri.

- Territoire Isangi, dans le village Yaoseko situé à 32 km dans la direction Ouest de la ville de Kisangani ;
- Territoire Opala, village Yambela à 52 km au Sud-Ouest de Kisangani ;

- Territoire Bafwasende, village Bafwabula à 162 km au Nord-Est de la ville de Kisangani.

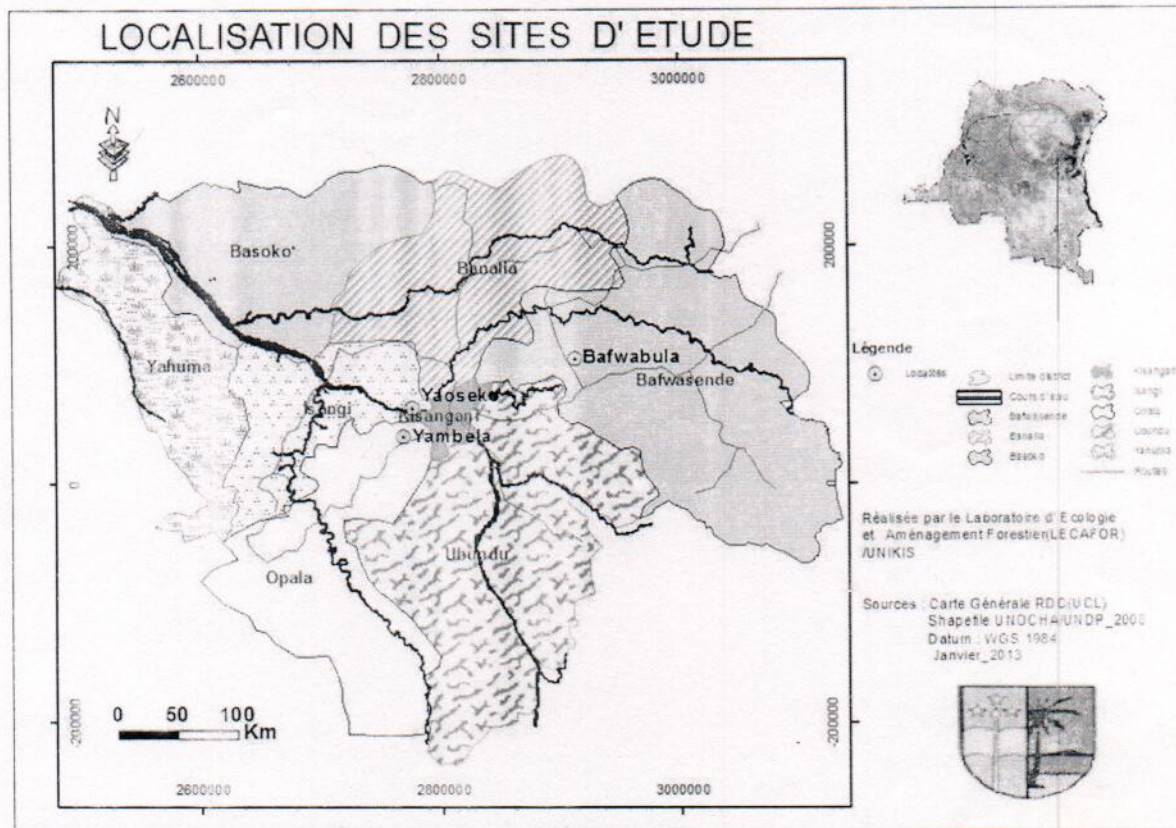


Figure 1. Carte de localisation du District administratif de la Tshopo et de la sous-région de Kisangani. En jaune, les trois villages sélectionnés. Source : Laboratoire d'Ecologie et Aménagement Forestier. (LECAFOR, 2013)

2.1.2. Zones climatiques et végétations apparentées

1. Contexte climatique

La RDC comprend plusieurs zones climatiques différentes. Contrairement à ce qui se passe dans les régions éloignées de l'Equateur où les variations de température distinguent les saisons, c'est avant tout la pluviométrie qui crée la différenciation saisonnière dans la plus grande partie du territoire national (Vandenput, 1981 ; Ngongo et al. 2009 in BOYEMBA, 2011).

Ainsi, le climat de Kisangani et ses environs se classe dans le type Af de Köppen défini par la température moyenne du mois le plus froid supérieur à 18°C et la hauteur des pluies du mois le plus sec supérieure à 60 mm. En outre, les caractéristiques climatiques de la région de

kisangani présentent des valeurs intermédiaires entre les données du centre de la cuvette centrale et celle des régions montagneuses de l'Est du pays.

Mais nous tenons à signaler que l'un des territoires qui a fait l'objet de notre étude (Bafwabula), qui jouit d'un climat de transition entre le climat équatorial continental et le climat tropical de montagne qui se justifie par sa localisation dans les hautes altitudes vers la région montagneuse de l'Ituri.

2. Formations végétales

La RDC comprend un peu plus d'un million de km² de forêts tropicales abritant de nombreuses espèces végétales et animales avec un taux d'endémisme très élevé. Parmi ces formations végétales, deux types principaux couvrent la région forestière de Kisangani : les forêts denses humides sur terre ferme et les forêts sur sols hydromorphes. A l'intérieur de ces forêts et suite aux activités humaines, on observe des formations secondaires ou en reconstitution et des complexes agricoles (BOYEMBA, 2011).

La forêt de district de la TSHOPO appartient dans le secteur forestier central dans l'ordre de *Gilbertiodendretalia dewevrei*, dans la classe de *Strombosio Parinarietea* (Lebrun et Gilbert, 1954 ; Ndjele, 1988).

Comme signale BOYEMBA (2011), que les forêts monodominantes à *Gilbertiodendron dewevrei* et à *Brachystesia laurentii*, qui sont les deux principales espèces sempervirentes dans la région de Kisangani.

On y reconnaît les différentes formations : les jachères formées par les champs abandonnés des villageois, les formations secondaires vieilles ainsi que les forêts primaires mixtes et monodominantes. On rencontre les formations végétales sur sol hydromorphe le long des cours d'eau ainsi que les végétations sur sol inondé.

Et quant à la forêt semi - décidue qui est une forêt mixte, constituée d'un mélange d'espèces ; au quel sa composition floristique est fort variables par une domination des espèces comme : *Scorodophloeus zenkeri*, *Cynometra hankei*, *Cynometra alexandri*, *Prioria balsamifera*, *Pericopsis elata* etc. avec un sous-bois dominé par *Scaphopetalum thonneri*.

Les parcelles sur sols hydromorphes, situées principalement le long du réseau hydrographique, résultent de la présence de sols mal drainés et/ou de fréquences inondations.

Où nous rencontrons les *Uapacca sp*, *Gilbertiodendron dewevrei*, *Mytragina sp* et plusieurs d'autres espèces.

A part les deux principaux types des forêts décrites ci-haut, les études avaient été menées sur les forêts denses secondaires âgées ou vieilles qui sont des formations à canopée assez fermée, présentant à première vue l'aspect des forêts climaciques, mais elles se distinguent des forêts primaires par leurs sous-bois plus touffus avec une forte présence de Marantaceae et Zingiberaceae.

Comme espèces ligneuses typiques des forêts secondaires qu'on a vue dans les strates supérieures et moyennes, on y retrouve des espèces telles que, *Ricinodendron heudelotii*, *Canarium schweinfurthii*, *Petersianthus macrocarpus*, *Hymenocardia ulmoides*, *Dichrostachys cinerea*, *Margaritaria discoidea*, *Harungana madagascariensis*, *Alchornea cordifolia*, *Pycnanthus angolensis*, *Uapaca guineensis*, *Dichostemma glaucescens*, *Tetrapleuratetraptera*, *Zanthoxylum inaequalis*, *Zanthoxylum gilletii*, *Musanga cecropioides*, *Synsepalum subcordatum*, *Trilinguisme madagascariensis*, *Ochthocosmus africanus*, *Margaritaria discoidea*, *Parkia bicolor*, *Myrianthus arboreus*, *Zanthoxylum macrophylla*, *Macaranga monandra*, ect.

3. Faune

La faune est diversifiée, on y rencontre une gamme diversifiée d'oiseaux, mammifères, serpents, insectes ; surtout dans la zone de direction Est de l'étude à BAFWABULA ; auquel on y reconnaît aussi les traces de l'okapi, chimpanzés etc. Cette diversité se diversifierait par son contact avec la réserve à faune à okapi ainsi que le parc de Maïko. Et quant au territoire d'Opala, suite a une forte activité agricole par des paysans (culture du riz, maïs, etc.) il ya moins de présence ou visibilité des traces fauniques sur nos passages.

4. Réseau hydrographique

Un réseau important de cours d'eau irrigue le district de la Tshopo.

En effet, située à la courbure du fleuve Congo, la ville de Kisangani et ses environs ont un réseau hydrographique dense, dominé par le fleuve Congo et son affluent principal, la Lindi.

Le fleuve Congo traverse cette ville et la sépare en deux parties, isolant ainsi la plus vaste Commune de Lubunga dans la direction du village YAMBELA des autres. Son affluent principal, la Lindi dans la direction du site de YAOSEKO, reçoit les eaux de la rivière Tshopo.

5. Sol

La RDC a une histoire géologique très ancienne, fort tourmentée et complexe, expliquant sa grande richesse minière. Située au centre de la cuvette congolaise, la zone d'étude est constituée de terrains de couverture, d'allure horizontale à subhorizontale, non métamorphiques.

Dans nos sites d'étude le sol est comme le sol de la cuvette centrale congolaise, sol argileux de couleur rouge, ocre et ferrallitique caractéristique de la forêt tropicale.

6. Actions anthropiques

En RDC, comme dans la majorité des pays africains, la croissance démographique est élevée.

Selon les données les plus récentes de la FAO (2009) et de l'INS (2009), la population congolaise est passée de 29 millions en 1980 à 60,2 millions en 2006, et devrait atteindre 108 millions d'ici 2025.

La région de Kisangani renferme une population d'environ 2.163.000 habitants, soit 30 % de la population totale de la province Orientale (INS, 2009 ; Boyemba, 2011).

A cette poussée démographique s'ajoute l'instabilité politique suite aux récents conflits armés, et le faible développement des activités industrielles dans le pays. Cet aspect a une importance capitale dans l'interprétation du paysage botanique.

L'agriculture constitue la principale activité des populations locales. Le danger imminent est que cette agriculture est traditionnelle du type itinérant sur brûlis ; de ce fait elle provoque le nomadisme cultural et le recul de la forêt. Les principales cultures pratiquées par les paysans dits de subsistance sont les cultures de maïs, riz, manioc, banane etc.

Les besoins en bois sont les plus importants notamment pour les constructions des maisons, la fabrication des pirogues et le charbon de bois. Le bois de chauffage constitue la principale source d'énergie pour la cuisine dans la quasi-totalité des familles rurales.

Les habitants autochtones y pénètrent la forêt pour ramasser les chenilles, les escargots et les champignons ; faire la cueillette et aussi la chasse de petits gibiers.

En effet, les activités du type moderne ou industriel (exploitation forestière) et du type artisanal sont aussi observées ou signalées dans notre site d'étude.

2.2 - Matériel

2.2.1. Matériel biologique

Nos recherches ayant été faites sur terrain, l'étude était menée sur le matériel biologique (les espèces ou les essences forestières), dont nous avons récolté des échantillons, spécialement les espèces qui étaient inconnues pour la collection d'herbier.

Ces derniers étaient identifiés et gardés à l'herbarium de la Faculté des Sciences, d'autres échantillons ont été identifiés en utilisant les ouvrages appropriés sur place, notamment le catalogue informatisé de **Lejoly, Ndjele et Geerinck (2010)** pour la détermination des espèces des plantes dont l'identification et orthographe des noms ont été difficile sur terrain.

2.2.2. Matériel non biologique

Pour arriver à récolter les données dans des bonnes conditions et atteindre nos objectifs, divers instruments ont été utilisés pour l'inventaire des taxons :

- Un GPS de marque GARMIN pour la prise des coordonnées géographiques ;
- Une boussole qui facilite l'orientation et la direction du layon, ces derniers étaient orientés suivant la direction nord magnétique;
- Un penta décimètre pour la délimitation du terrain, les mesures du layon et des aires d'inventaire ;
- Un dbh-mètre et un mètre ruban pour la prise de diamètre des arbres à la hauteur de la poitrine (dbh) ;
- Une bobine de fil nylon pour la délimitation des parcelles ;
- Une machette pour l'ouverture des layons et déblayage du layon de manière à ne pas perturber la structure de la végétation ou détruire certaines espèces ;
- Un sécateur pour sectionner les spécimens destinés à l'herbier ;
- Un clinomètre pour la détermination des hauteurs des arbres ;
- Un appareil photo numérique pour la prise d'image ;
- Les fiches de terrain, un cahier et un crayon pour l'enregistrement des données ;

- Les papiers journaux et une presse en bois utilisés pour le pressage et le séchage des herbiers ;
- Les boîtes à peinture et quelques pinceaux pour le marquage des arbres ;
- Des plaquettes métalliques en Aluminium pour graver les numéros à fixer sur les arbres mesurés.

2.3 - Méthodes

2.3.1 - Méthodes de collecte des données

La collecte des données est une démarche importante nécessitant la définition de sa méthodologie. Elle permet d'obtenir une banque des données fiables d'être vérifiées à long terme.

2.3.2 - Identification des arbres.

Les combinaisons des caractères végétatifs suivants, étaient utilisées et observées sur le terrain, pour arriver à identifier les arbres.

Il s'agit de :

- la forme générale du tronc à la base (cylindrique, avec contreforts ou échasses) ;
- texture de l'écorce (fibreuse, granuleuse) ;
- couleur de l'entaille (ocre, rouge, brune, jaune,...) ;
- le goût de l'écorce ;
- Odeur (ail, essence, térébenthine...) ;
- exsudation (latex jaune, orange, blanc, résine,...) ;
- type de feuilles et forme ;
- ramification de l'arbre, le fût et le port.

2.3.3 - Stratification des zones d'étude

Chaque zone d'étude (territoire villageois) a été divisée en strates selon une combinaison de plusieurs critères. Le schéma de stratification suit en grandes lignes les 'Normes de stratification forestière' (SPIAF, 2007). Les terrains ont été divisés en deux catégories principales : les terrains forestiers et les terrains non forestiers. Chaque catégorie est divisée en classes principales, selon les types d'utilisation de sol.

Quelques classes sont divisées en classes secondaires. Les forêts primaires sont stratifiées selon la catégorie de sol sur lequel s'est développée la forêt. Ainsi on distingue les forêts sur terre ferme et les forêts sur sol hydromorphe. Les jachères sont aussi prises en compte et les plantations selon la culture. Dans chaque strate retenue, on avait installé des placettes selon la procédure de 'random stratified sampling'.

Tableau 1. Catégories et différent type de peuplement étudiés.

| N° | Type forestier | Bafwabula | Yambela | Yaoseko | Total |
|----|------------------------------------|-----------|---------|---------|---------|
| 1 | Forêt Primaire sur Terre ferme | 0,5 ha | 1,5 ha | 0,75 ha | 2,75 ha |
| 2 | Forêt Primaire sur sol Hydromorphe | 2,25 ha | 3,25 ha | 3,25 ha | 8,75 ha |
| 3 | Forêt secondaire | 0,75 ha | - | 0,25 ha | 1 ha |
| 4 | Jachère | 0,13 ha | 0,52 ha | 0,39 ha | 1,04 ha |
| 5 | Plantation | 0,5 ha | - | - | 0,5 ha |
| 6 | champs | 1,08 ha | - | - | 1,08 ha |

2.3.4 - Analyse de la biodiversité

L'analyse de la structure des peuplements arborescents nous conduit à aborder les indices des attributs structuraux indépendants de la distance entre les individus, analysant la structure sans aucune référence spatiale. Ces indices rendent facile la compréhension et la comparaison des peuplements forestiers. Selon Goreaud(2000) ; et Ngo Bieng(2007); les indices des attributs structuraux sont des constructions mathématiques conçues pour quantifier les éléments de structure d'un peuplement forestier et exprimer sous forme d'un nombre ou d'une distribution.

2.3.4.1- Indices des attributs structuraux

a. La surface terrière

La surface terrière (ST) étant une valeur pratique qui donne des indications sur la quantité de matière ligneuse réellement disponible dans un peuplement (Boudru, 1989 in EBUY, 2009) a été prise en compte pour déterminer l'arbre modèle.

La surface terrière d'individu est la superficie occupée par le tronc pris au niveau de l'écorce à 1,30m du sol s'exprimant ainsi en m²/ha. Pour une espèce, il correspond à la somme des surfaces terrières de tous les individus pour cette espèce puis l'on ramènera les résultats à l'hectare. La surface terrière totale est la somme des surfaces terrières de tous individus présents sur la surface inventoriée.

Les calculs sont faits à partir de la formule suivante:

$$\text{Surface terrière (ST)} = G = \pi \times (\text{DHP}^2)/4 \text{ (Gounot, 1989)}$$

2.3.5 - Biomasse aérienne et équations allométriques.

Elle correspond à la masse de matière végétale ligneuse sèche par unité de surface. La biomasse aérienne totale en bois se répartit en biomasse aérienne du tronc et biomasse aérienne du houppier (branches). 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.

Cette méthode, mise au point par CHAVE et al (2005), permet de calculer la biomasse totale arbre par arbre à partir d'un modèle allométrique.

Ce modèle peut être employé pour des inventaires précis de type « placettes permanentes » mais aussi à partir de données brutes d'inventaires forestiers à la condition de corriger les données par classe de diamètre en faisant des hypothèses sur la distribution diamétrique continue du peuplement.

Dans le cas présent, nous cherchons précisément à estimer la biomasse épigée totale d'un arbre (AGB) à partir d'une ou deux données d'entrée : le diamètre D et la hauteur totale de l'arbre H. La revue la plus exhaustive à l'heure actuelle des modèles applicables aux forêts tropicales et des données disponibles pour paramétrer ces modèles a été réalisée par CHAVE et al. (2005).

Jérôme Chave suggère l'utilisation en forêt tropicale humide le modèle « moist forest stands», dans le cas où la hauteur totale des arbres est disponible:

$$(AGB)_{est} = \exp(-2,977 + \ln(\varphi D^2 H)) \equiv 0,0509 * D^2 * H$$

L'équation allométrique proposée par Fayolle et al. (2013) :

$$(AGB)_{est} = \varphi * \exp(-1,499 + 2,148 * \ln(D) + 0,207 * (\ln(D))^2 - 0,0281 * (\ln(D))^3)$$

La densité (φ) de bois est prédite à partir de l'espèce d'un arbre ; quand les arbres de l'inventaire ne sont pas identifiés ou quand l'espèce relevée n'a pas une densité connue, il faut une stratégie de remplacement de valeurs manquantes. Habituellement, cette stratégie est soit taxonomique (utilisation d'information taxinomique incomplète : genre, famille...) soit locale (densités de bois des arbres proches). (FLORES & COOMES, 2011 cités par QUENTIN, 2012).

2.3.6. Quantification du stockage de carbone

Pour quantifier le Carbone dans le cadre de ce travail 2 'réservoirs' de stockage de carbone sont retenus :

1. Carbone dans la biomasse aérienne

Le calcul du stock de carbone forestier se fait en multipliant la matière sèche de la biomasse aérienne par un facteur de conversion (CF) qui est égal à 0,5. (Timothy et Brown, 2005).

$$C = \text{Biomasse} \times 0,5 \text{ ou } C = \text{Biomasse}/2$$

- a. Dans la placette de 10 m x 10 m, on avait noté pour chaque arbre, arbuste et palmier avec DHP \geq 5 cm l'espèce et le DHP et l'hauteur ont été mesurés
- b. Dans la placette de 25 m x 25 m, on avait noté pour chaque arbre et palmier avec DHP \geq 10 cm l'espèce et le DHP et l'hauteur ont été prise en comptes.
- c. Dans la placette de 50 m x 50 m, on avait pris pour chaque arbre et palmier avec DHP \geq 30 cm l'espèce et le DHP et l'hauteur ont été mesurés

Donc pour obtenir le totale du stockage de carbone dans la biomasse aérienne (ton par ha) :

$$[4 \times \text{AGB} (50 \times 50 \text{m}, >30 \text{cm})$$

$$+16 \times \text{AGB} (25 \times 25 \text{m}, > 10 \text{cm et } < 30 \text{cm})$$

$$+100 \times \text{AGB} (10 \times 10 \text{m}, > 5 \text{cm et } < 10 \text{cm}) / 2$$

2. Carbone dans le bois mort

Le carbone dans le bois mort a été enregistré et calculé en utilisant les mêmes méthodes que pour le carbone dans la biomasse aérienne.

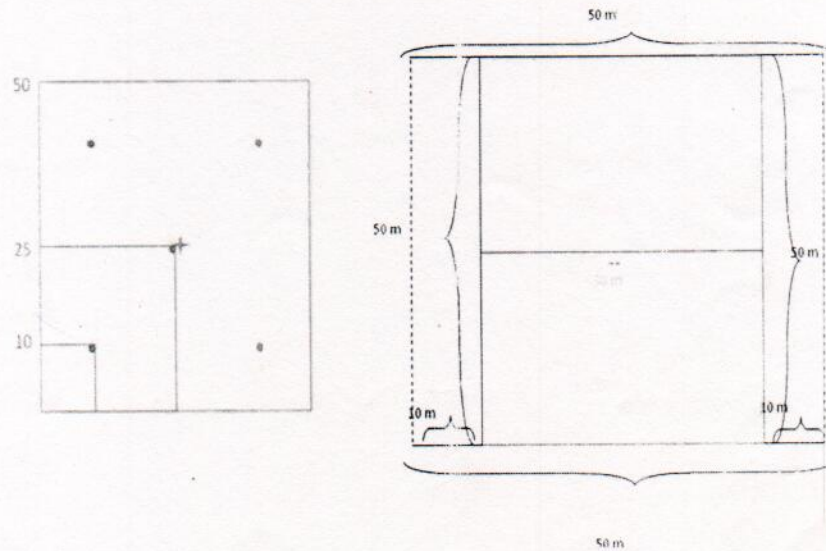


Fig. 1: Dessin des dispositifs installés.

2.3.7 - Analyse des données et tests statistiques

1. Analyse des données

Pour analyser les données recueillies sur le terrain, deux logiciels ont été utilisés : le logiciel « R » et le logiciel « Excel ».

Le logiciel « R » possède de nombreuses fonctions qui sont très utiles pour faire des analyses statistiques, non disponibles en Excel.

Ce tableur permet de saisir rapidement les données en tableaux, de les afficher en graphiques divers, et d'y appliquer des régressions.

La fonction R a été utilisée pour modéliser des régressions linéaires et des intervalles de confiance autour de ces régressions. Le logiciel « Excel » permet de faire des calculs simples.

2. Tests statistiques

Dans une étude comparative, il est important avant de prendre une position de recourir aux tests statistiques.

Les tests statistiques sont donc des outils d'aide à la décision. Cependant, ces tests ne proposent aucune interprétation des résultats. Ils laissent au chercheur les soins d'argumenter sa décision tout en rappelant les 2 risques d'erreur possibles :

- Si un risque d'erreur est $> 0,05$, on conclut que la différence entre 2 séries de mesure n'est pas significative.
- Si le test indique un risque d'erreur $< 0,05$, on conclut à une différence significative entre les 2 séries de mesure.

Dans le cadre de ce modeste travail, nous avons opté pour le test de Kruskal-Wallis qui est un test statistique non paramétrique (nos données n'étant pas de même grandeur).

CHAPITRE 3 – RESULTATS

3.1. Diversité et composition floristique

Au total, 223 morphoespèces ont été identifiées dans l'ensemble de six types d'occupation du sol dont 10 au niveau générique et 2 au niveau de famille. Les forêts primaires sur sol hydromorphe (FPTH) sont les plus riches en espèces avec 168 espèces, suivies des forêts primaires sur terre ferme (FPTF) avec 129 espèces ; les jachères viennent en troisième position avec 93 espèces, les forêts secondaires (FoS) en quatrième position avec 62 espèces et les plantations d'Hévéa et les Champs ferment la manche avec 10 espèces chacun (Tableau 3.1)

Tableau 3.1: Richesse spécifique dans les différents types d'occupation du sol.

| Richesse spécifique | FPTF | FPTH | FoS | Jachère | Hévéa | Champ |
|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| Totale | 129 | 168 | 62 | 93 | 10 | 10 |
| Moyenne (SE) | 29 (\pm 3.9) | 22 (\pm 7.5) | 21 (\pm 8.3) | 14 (\pm 7.3) | 5 (\pm 6.3) | 6 (\pm 1.4) |
| Max | 37 | 40 | 32 | 30 | 10 | 7 |
| Min | 24 | 9 | 13 | 4 | 1 | 5 |

Comparée par village (site), la richesse spécifique est plus élevée à Yaoseko (axe Isangi) avec 135 espèces suivi de Yambela (axe Opala) avec 133 et enfin Bafwabula (axe Ituri) avec 119 espèces. Cette différence peut être consécutive à l'effort d'échantillonnage très élevé au niveau de Yaoseko et Yambela. Cependant, l'indice de Fisher alpha est plutôt élevé à Yambela qu'à Yaoseko (Figure 3.1).

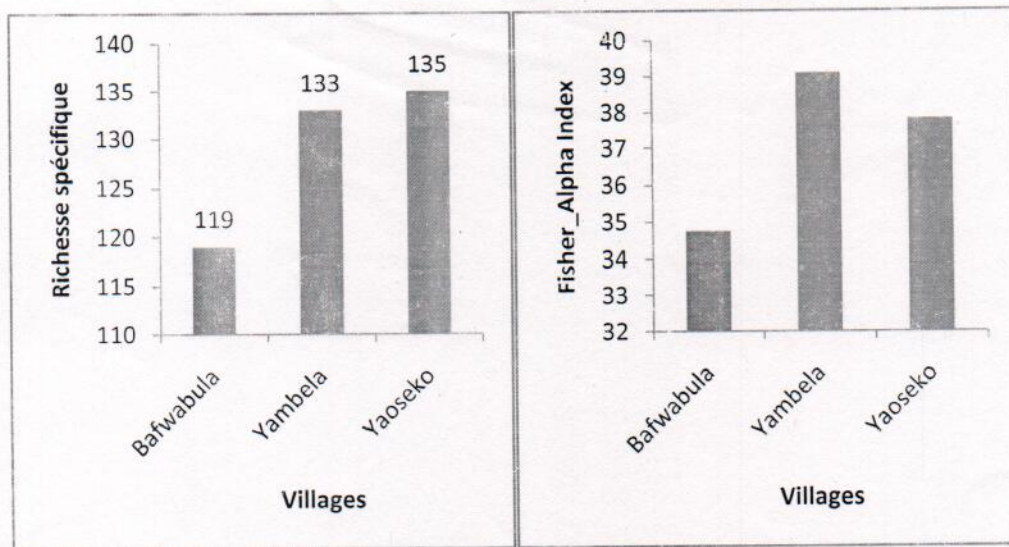


Figure 3.1 : Valeurs de la richesse spécifique et de l'indice de Fisher dans les trois villages

La composition floristique diffère considérablement entre les six types d'occupation du sol considérés. Ils ne partagent presque pas les mêmes espèces dans le top dix des espèces les plus abondantes. En forêt primaire sur terre ferme les espèces *Scorodophloeus zenkeri*, *Cola griseiflora* et *Anonidium mannii* sont les plus abondantes ; dans la forêt primaire sur sol hydromorphe ce sont *Gilbertiodendron dewevrei*, *Rinorea sp* et *Cleistanthus mildbraedii* qui abondent ; au niveau de la jachère ont trouve *Musanga cecropioides*, *Macaranga monandra* et *Tetrorchidium didymostemon* qui sont abondantes ; ont retrouve *Funtumia africana*, *Musanga cecropioides* et *Macaranga spinosa* très abondantes dans la forêt secondaire ; la plantation est dominée par *Hevea brasiliensis* et le champ est majoritairement occupé par *Petersianthus macrocarpus* (Tableau 3.2).

Tableau 3.2 : Top dix des espèces les plus abondantes dans les différents types de végétation

| Rang | FPTF | FPSH | Ja | FOS | Champ | Plantation |
|------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| 1 | <i>Scorodophloeus zenkeri</i> | <i>Gilbertiodendron dewevrei</i> | <i>Musanga cecropioides</i> | <i>Funtumia africana</i> | <i>Petersianthus macrocarpus</i> | <i>Hevea brasiliensis</i> |
| 2 | <i>Cola griseiflora</i> | <i>Rinorea sp</i> | <i>Macaranga monandra</i> | <i>Musanga cecropioides</i> | <i>Zanthoxylum lemairei</i> | <i>Macaranga monandra</i> |
| 3 | <i>Anonidium mannii</i> | <i>Cleistanthus mildbraedii</i> | <i>Tetrorchidium didymostemon</i> | <i>Macaranga spinosa</i> | <i>Alstonia boonei</i> | <i>Margaritaria discoidea</i> |
| 4 | <i>Petersianthus macrocarpus</i> | <i>Anonidium mannii</i> | <i>Macaranga saccifera</i> | <i>Pycnanthus angolensis</i> | <i>Antiaris toxicaria</i> | <i>Zanthoxylum lemairei</i> |
| 5 | <i>Brachystegia laurentii</i> | <i>Garcinia punctata</i> | <i>Pycnanthus angolensis</i> | <i>Maesopsis eminii</i> | <i>Musanga cecropioides</i> | <i>Ricinodendron heudelotii</i> |
| 6 | <i>Polyalthia suaveolens</i> | <i>Scorodophloeus zenkeri</i> | <i>Albizia gummifera</i> | <i>Trichilia rubescens</i> | <i>Pycnanthus angolensis</i> | <i>Alstonia boonei</i> |
| 7 | <i>Panda oleosa</i> | <i>Brachystegia laurentii</i> | <i>Morinda lucida</i> | <i>Petersianthus macrocarpus</i> | <i>Margaritaria discoidea</i> | <i>Staudtia gabonensis</i> |

| Rang | FPTF | FPSH | Ja | FOS | Champ | Plantation |
|------|--------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|------------------------------|
| 8 | <i>Rinorea sp</i> | <i>Anthonotha fragrans</i> | <i>Rauvolfia vomitoria</i> | <i>Zanthoxylum lemairi</i> | <i>Funtumia africana</i> | <i>Aidia micrantha</i> |
| 9 | <i>Garcinia punctata</i> | <i>Prioria oxyphylla</i> | <i>Macaranga spinosa</i> | <i>Ricinodendron heudelotii</i> | <i>Pterocarpus soyauxii</i> | <i>Klainedoxa gabonensis</i> |
| 10 | <i>Prioria oxyphylla</i> | <i>Strombosiopsis tetrandra</i> | <i>Margaritaria discoidea</i> | <i>Myrianthus arboreus</i> | <i>Trilepisium madagascariense</i> | <i>Trichilia welwitschii</i> |

3.2 - Caractéristiques structurales

3.2.1. Densité et surface terrière

Le tableau 3.2.1. Présente les valeurs de densité et de surface terrière (G) obtenues pour chaque type forestier étudié par village.

| Village | Strate | Densité (ind/ha) | G (m2/ha) |
|-----------|------------|------------------|-------------|
| Bafwabula | Champs | 32,7 (32,7) | 5,9 (5,9) |
| | Plantation | 1352 (852) | 60,5 (58,7) |
| | Jachère | 1216,5 (484,6) | 40,0 (40,0) |
| | FS | 778 (378,6) | 24,3 (22,5) |
| | FPSH | 1138,6 (427,5) | 38,5 (35,8) |
| | FPTF | 962 (512) | 29,6 (28,3) |
| Yambela | Jachère | 405,7 (228,8) | 10,0 (10,0) |
| | FPSH | 800,6 (477,5) | 36,3 (35,1) |
| | FPTF | 932,6 (449,3) | 33,3 (31,7) |
| Yaoseko | Jachère | 1017,9 (440,9) | 41,1 (41,1) |
| | FS | 784 (684) | 24,5 (23,7) |
| | FPSH | 1056,3 (440,9) | 32,6 (30,4) |
| | FPTF | 1196 (596) | 36,0 (33,8) |

Il ressort de ce tableau ci –haut, que en moyenne la densité et la surface terrière varie d'un village à un autre d'une part et du type d'utilisation des sols d'autre part.

3.2.2. Répartition des individus par classes de diamètre

Pour comparer les structures diamétriques de l'ensemble des peuplements, 11 classes de diamètre ont été constitués pour les trois villages (figure 3.2.2). Les peuplements de ces trois sites, présentent toutes des structures diamétriques typiques en cloche. Il existe une différence significative entre les structures diamétriques des peuplements de Bafwabula, de Yambela et

de Yaoseko ($\chi^2 = 47,9$; $dl = 10$; $p < 0,0001$). Les effectifs des classes 10-19 cm, 30-39 et 1-9 cm et plus sont plus élevés au niveau de l'ensemble des peuplements.

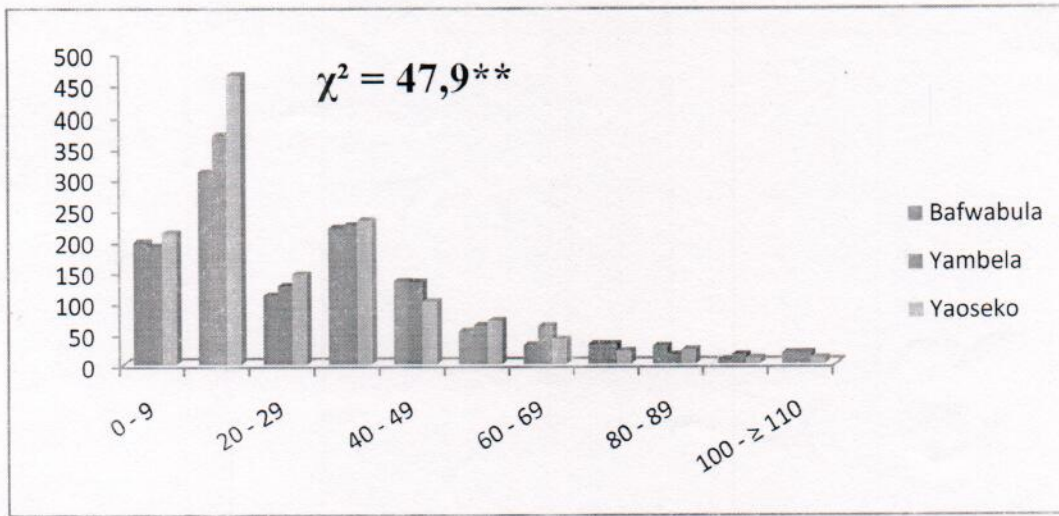


Figure 3.2.2. : Répartition des espèces en classes diamétriques dans le site d'étude.

3.3 - Caractérisation de la biomasse produite et carbone séquestré en fonction des sites

Plusieurs équations allométriques ont déjà été développées pour estimer la biomasse et le carbone dans les peuplements forestiers, notamment Ebuy(2009), Dorvil (2010), Nyembo (2012) et Isetcha (2013). Parmi ces modèles, nous avons choisi les équations de Chave & al. (2005) et de Fayolle & al. (2013) pour appliquer à notre étude. L'objectif étant de comparer les deux modèles adaptés aux forêts tropicales africaines.

3.3.1. Estimation de la Biomasse et du carbone d'après l'équation de Chave.

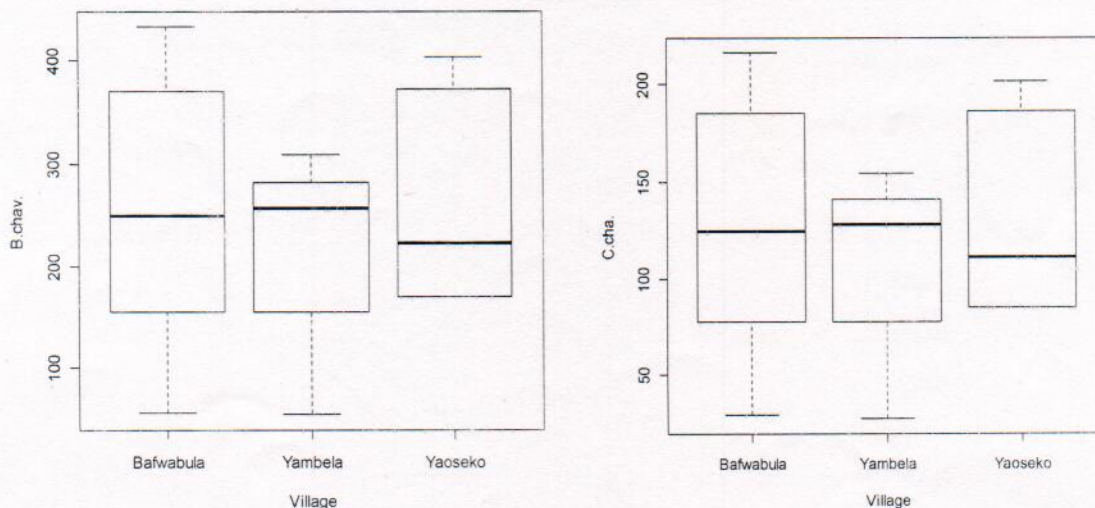


Figure 3.3.1. : Dispersion des valeurs de la production des biomasses aérienne et de séquestration de carbone dans trois sites d'études d'après le modèle de Chave.

Au total 3716 individus (pour l'ensemble des peuplements) ont été inventoriés: 1142 pour les peuplements de Bafwabula, 1248 pour les peuplements de Yambela et 1326 pour les peuplements de Yaoseko. Ils représentent respectivement une biomasse aérienne moyenne de 249,7 t/ha (ce qui équivaut à la quantité de carbone de 124,8 t/ha) ; 255,8 t/ha (équivaut à 127,9) et 222,9 t/ha (équivaut à 111,4 t/ha de carbone). Les différences de biomasse et de carbone ne sont pas significatives entre les peuplements de ces trois sites (Kruskal-wallis $\chi^2 = -0,028$; $dl = 2$; $p\text{-value} = 0,83 > 0,05$). La figure (3.3.1) montre la dispersion des valeurs de Biomasse (à gauche) et de carbone (à droite) pour chacun des sites étudiés.

3.3.2. Estimation de la Biomasse et du carbone d'après l'équation de Fayolle

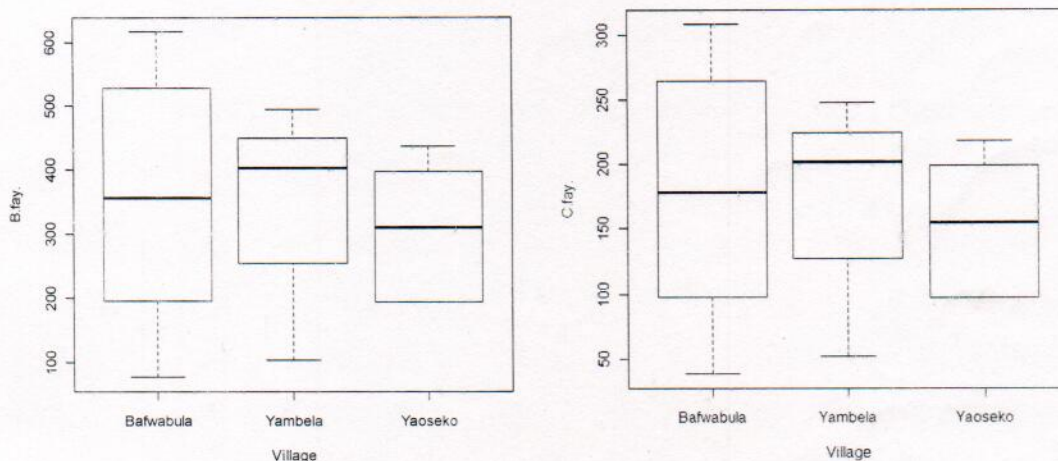


Figure 3.3.2 : Dispersion des valeurs de la production des biomasses aérienne et de séquestration de carbone dans trois sites d'études d'après le modèle de Chave.

En ce qui concerne l'équation de Fayolle, la biomasse aérienne moyenne de 356,4 t/ha (ce qui équivaut à la quantité de carbone de 178,22 t/ha) ; 403 t/ha (équivaut à 201,5t/ha) et 305,5 t/ha (équivaut à 154,8 t/ha de carbone). Les différences de biomasse et de carbone ne sont pas significatives entre les peuplements de ces trois sites (Kruskall-wallis $\chi^2 = -0,028$; $dl = 2$; $p\text{-value} = 0,81 > 0,05$). La figure montre la dispersion des valeurs de Biomasse (à gauche) et de carbone (à droite) pour chacun des sites étudiés.

3.4 - Estimation de quantité du Carbone en fonction des différents types forestier.

3.4.1. Carbone selon l'équation de Chave (2005)

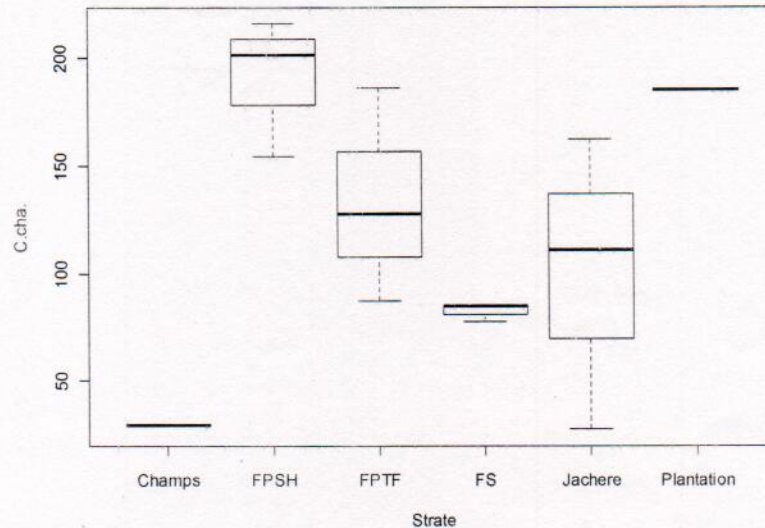


Figure 3.4.1 : Dispersion des valeurs de la production de Carbone selon Chave (2005) dans suivants les types de peuplements.

La différence de carbone séquestré est très significative entre les 5 types de peuplements de notre étude (Kruskall-wallis $\chi^2 = -3,388$; dl = 5, $p\text{-value} = 0,000^{***} < 0,05$). Les peuplements sur sol hydromorphe ont de valeurs de carbone très élevées (201,7 t/ha), suivi des plantations d'hévéa avec 185,1 t/ha et les peuplements primaires sur terre ferme avec 127,9 t/ha. Les champs, les forêts secondaires et les jachères viennent en dernières positions avec respectivement 29,5 ; 85 et 111,5 t/ha.

La figure (3.4.1) montre la dispersion des valeurs de carbone de chacun des peuplements étudiés.

3.4.2. Carbone selon l'équation de Fayolle (2013)

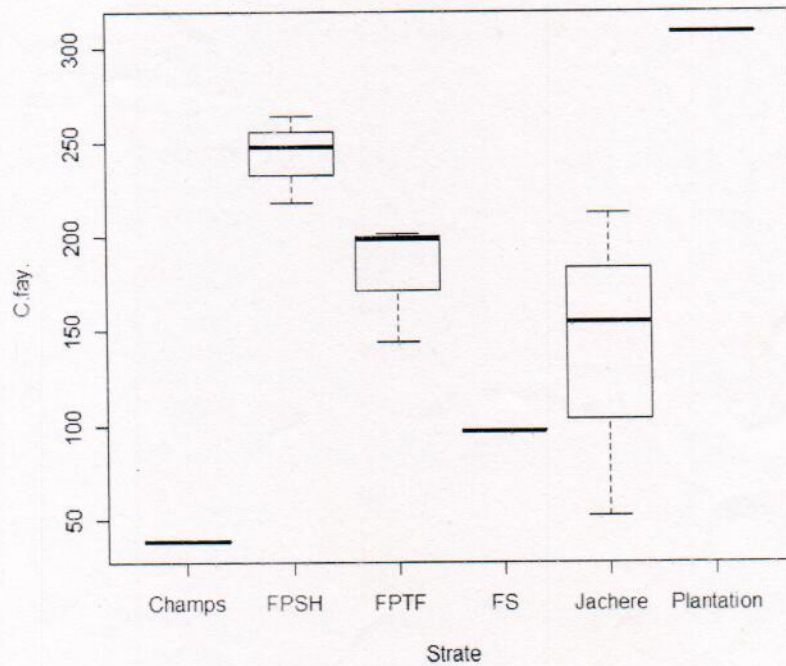


Figure 3.4.2 : Dispersion des valeurs de la production de Carbone selon Fayolle (2013) dans suivants les types de peuplements.

La différence de carbone séquestré est très significative entre les 5 types de peuplements de notre étude (Kruskall-wallis $\chi^2 = -3,388$; dl = 5, $p\text{-value} = 0,000 < 0,05$). Les peuplements de plantation d'hévéa ont de valeurs de carbone très élevées (308,2 t/ha), suivi par les forêts à sol hydromorphes avec 185,1 t/ha et les peuplements primaires sur terre ferme avec 198,9 t/ha. Les champs, les forêts secondaires et les jachères viennent en dernières positions avec respectivement 38,0 ; 97,0 et 154,8 t/ha.

La figure (3.4.2) montre la dispersion des valeurs de carbone de chacun des peuplements étudiés.

CHAPITRE 4 - DISCUSSION

4.1- Structure de peuplement

4.1.1. La densité

Les densités obtenues dans nos différents sites d'étude, variant de 32,7 pour les champs, 1352 pour les plantations ; 405,7 – 1215,5 pour les jachères ; 778,6 – 784 pour les forêts secondaires ; 800,6 – 1138,6 individus pour les forêts primaires sur sol hydromorphe et 932,6 – 1196 pour les forêts primaires sur terre ferme.

Avec une moyenne de 32,7 individus/ha pour les champs, 852 ind/ha pour les plantations d'hévéa ; 228,8 – 484,6 ind/ha pour les jachères ; 378,6 – 684 ind/ha pour les forêts secondaires ; 427 – 477,5 ind/ha pour les forêts primaires sur sol hydromorphe et enfin 449,3 – 596 pour les forêts primaires sur terre ferme.

Nous constatons que la densité des tiges diminue avec l'augmentation des classes de diamètre.

Nos résultats concordent avec les valeurs généralement trouvées dans les forêts tropicales d'Afrique centrale en générale et dans la région de Kisangani en particulière.

Par ailleurs pour une étude similaire réalisée en Guadeloupe (Dorvil, 2010), trouvé des valeurs est peu supérieure à nos résultats (717 – 1538 ind/ha avec une moyenne de 1174 ind/ha), qui s'explique parfois par la région de haute altitude de l'Amérique centrale.

4.1.2. La surface terrière

Dans la littérature nous avons constaté que la surface terrière de plusieurs parcelles de 1 ha dans les forêts tropicales humides de certains pays du monde est comprise entre 30,7 m²/ha et 45,75 m²/ha (DBH ≥ 10 cm).

Cependant, nos résultats montrent des valeurs de surface terrière nettement supérieures à celle observées dans beaucoup de forêt de Kisangani et ses environs. Pour l'ensemble de nos sites d'études, la surface terrière totale est de 5,9 m²/ha pour les champs, 60,5 m²/ha pour les plantations ; une variation de 10,0 – 41,1 m²/ha pour les jachères ; 24,3 – 24,5 m²/ha pour les forêts secondaires ; de 32,6 – 38,5 m²/ha dans les forêts primaires sur sol hydromorphe et de 29,6 – 33,3 m²/ha pour les forêts primaires sur terre ferme.

Et la valeur moyenne est de 5,9 m²/ha dans les champs, 58,7 m²/ha pour les plantations ; 10,0 – 41,1 m²/ha pour les jachères ; 22,5 – 23,7 m²/ha pour les forêts secondaires ; 30,4 – 35,8 m²/ha pour les forêts primaires sur sol hydromorphe et de 28,3 – 33,8 m²/ha pour les forêts primaires sur terre ferme.

4.1.3. Distribution diamétrique

L'étude de la classe de diamètre dans nos sites d'étude montre que les individus compris dans la 1^{ère}, 2^{ème} et 3^{ème} sont beaucoup plus importantes. Il convient de signaler que parmi les trois sites d'étude, à Yaoseko présente une abondance de tiges comprises entre 10 – 19 cm (2^{ème} classe), ce qui la différencie des autres parcelles. Cette abondance pourrait être expliquée clairement par la présence d'un gradient de conditions écologiques plus favorables pour ce site.

En conclusion, d'après nos observations, pour le 11 classe de diamètre, Yaoseko est en tête suivis de Yambela et enfin Bafwabula.

4.2. La Biomasse totale

Notre étude fournit l'estimation de la biomasse totale la plus exacte actuellement disponible dans les forêts situés dans la région de Kisangani et ses environs. Une conclusion générale est que l'estimation de la biomasse dans ces forêts est très satisfaisante s'établissant à peu près de 246,3 - 331,5 T/ha en moyenne pour nos différents sites d'études.

Cette biomasse est différente selon les types de peuplement où elle se trouve.

Il est à noter que cette estimation a été effectuée en utilisant des modèles allométriques améliorés (Chave et al. 2005 et celui de Fayolle et al. 2013) pour estimer la biomasse des arbres.

Une étude similaire a été menée par Dorvil (2010) à Guadeloupe, auquel il a trouvé dans la moyenne 350 t/ha, qui s'explique par des individus de grande classe d'hauteur dans la région.

Le calcul de la biomasse à travers un modèle contenant uniquement le DBH n'a pas été utilisé parce que les valeurs de ces équations ne précisent pas beaucoup d'amélioration par rapport à celles obtenues avec la hauteur, le diamètre et la densité des bois ; ont précisé Chave et al (2005). Par conséquent, le modèle de régression développé par ces derniers a été utilisé pour les calculs de la biomasse aérienne de cette étude.

4.3. Le stockage de Carbone

Au total le 123,2 - 165,8 t/ha ont été observé en moyenne pour nos trois sites d'études. Cette quantité de carbone varie de 29,5 – 201,7 T/ha (le modèle de Chave) suivant le type ou la nature de forêt étudiée et de 38,0 – 308,2 T/ha (le modèle de Fayolle).

Pour cette étude le choix du modèle le plus satisfaisant pour bien estimé la quantité de Carbone devrait être selon « le modèle de Fayolle et al. (2013) » appliqué en forêt tropicale humide de l'Afrique centrale, incluant le diamètre et la densité de bois.

En bref, notre étude a montré que la teneur en Carbone aérienne des arbres dans les trois sites d'étude varie en fonction de type forestier.

CONCLUSIONS ET SUGGESTIONS

1. Conclusions

Dans cette étude, nous avons indiqué une estimation précise de la biomasse aérienne et le stockage de Carbone pour les trois sites en combinant les paramètres suivants : la mesure de la hauteur, du DBH et la densité spécifique du bois.

En tenant compte des objectifs spécifiques fixés, celui de calculer la quantité de carbone séquestré et de déterminer les facteurs principaux contribuant à la variation des stocks de carbone dans les différents types de peuplements forestiers.

Deux modèles d'équations ont été sélectionnées : le modèle Pantropicale développé par Chave et al. (2005), qui paraissait être le plus approprié pour ce travail. et de Fayolle et al. (2013).

Toute fois, les chercheurs Burnham et Anderson (2002) ont précisé qu'aucune procédure statistique ne permet de décider sans ambiguïté quel modèle est le meilleur.

En comparant les valeurs de la surface terrière (variant de 5,9 – 58,7 m²/ha) et de la densité (variant de 32,7 – 684 ind/ha) de nos trois sites d'étude avec des données de la littérature : 35.4 m²/ha pour la surface terrière et de 476 arbres/ha pour la densité d'après Culmsee et al. (2010).

En ce qui concerne la biomasse épigée, les estimations effectuées par Ebuy(2009), Dorvil(2010) sont quasiment similaires à celles que nous avons effectuées. Cependant, nous devrions avoir une meilleure estimation de la biomasse si des mesures ont été également effectuées sur les autres structures forestières (épiphytes, lianes, fougères, palmiers) et la biomasse foliaire, qui sont par ailleurs non négligeables dans les forêts tropicales, particulièrement celle de kisangani et ses environs.

2. Suggestions

Tenant compte de l'intérêt de cette étude, certaines suggestions ont été retenues :

- Certaines parcelles dans les différents sites mériteraient d'être retracées afin d'éviter d'énormes marges d'erreurs sur les mesures des individus d'arbres.
- L'estimation de la biomasse épigée devrait être effectuée sur les feuilles, les épiphytes, les fougères, les palmiers et les lianes. L'estimation de la biomasse et stockage de

carbone racinaire et celle de la litière devraient être également effectuées dans d'autres études ultérieures.

- Pour sauver la ville de Kisangani et ses environs du réchauffement planétaire et des changements climatiques, la gestion durable de ces forêts avec des objectifs favorisant la séquestration du carbone devrait être envisagée.

Vu le caractère imparfait de tout travail humain, nous n'avons pas la prétention d'avoir épuisé ce thème si complexe et délicat à la fois de notre travail : « de l'estimation de Stock de carbone dans les différents peuplements forestiers de Kisangani et ses environs ». Cependant, nous voudrions solliciter la bienveillance de ceux qui pourraient trouver un quelconque intérêt dans ce travail pour des recherches et études ultérieures de pouvoir nous compléter.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Adeline Fayolle, Jean-Louis Doucet, Jean-François Gillet, Bourland. N, Philippe Lejeune., 2013** : Tree allometry in Central Africa: Testing the validity of pantropical multi-species allometric equations for estimating biomass and carbon stocks
- **A.T.I.B.T., 2007.** – Etude sur le plan pratique d'aménagement des forêts naturelles de Productions tropicales Africaines, Paris Application au cas de l'Afrique centrale Volet1. 14 – 16 p.
- **ALAMGL.M. et AL-AMIN.M., 2008.** Allometric models to estimate biomass organic carbone stock in forest vegetation. *Journal of Forestry Research* 19, pp: 101 – 106.
- **BOYEMBA.B. 2011,** Ecologie de *Pericopsis elata* (Harms) Van Meeuwen (Fabaceae), arbre de la forêt tropicale Africaine à répartition agrégée. Thèse inédite, ULB.1050 Bruxelles. 199 pages.
- **CCNUCC (Convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques) 2005.** *Préserver le climat.* Guide de la Convention sur les changements climatiques et du *Climate Dynamics*. 16(6): 427-450.
- **CCNUCC, 2008.** Rapport de conférence des parties prenantes lors de la session de Bali du 3 au 15 Décembre 2007.2^{ème} Parties. Bonn, Germany.
- **Chave, J., C. Andalo, S. Brown, M. A. Cairns, J. Q. Chambers, D. Eamus, H. Fölster, Fromard F., Higuchi N., Kira T., Lescure J.-P, Nelson B. W., Ogawa H., Puig H., Riéra B., and Yamakura T.. 2005.** Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia* (200) 145: pp 87-99
- **COMIFAC (Commission interministérielle des Forêts d'Afrique Centrale) 2012.** Les forêts du Bassin du Congo – Etat des Forêts 2010. 274 p
- **DORVIL.W. (2010).**, Evaluation de la biomasse et stocks de carbone sur des placettes forestières en forêts tropicales humides de Guadeloupe. Université des Antilles et de la Guyane. DEA. 45 pages.

- **DEFAYS E. 2000:** Forêts / produits forestiers: un puits de carbone p 29
- **Doucet J.-L. & Kouadio Y.L., 2007.** Le moabi, une espèce « phare » de l'exploitation forestière en Afrique centrale. *Parcs et Réserves*, volume 62 n°2 : 25-31.
- **FAO 2005.** *Situation des forêts du monde 2005*. FAO, Rome, Italie.
- **FAO, 2006a.** Évaluation des ressources forestières mondiales 2005 – Progrès vers la gestion forestière durable. Étude FAO forêts no 147. Rome (disponible à : <http://www.fao.org/docrep/009/a0400f/a0400f00.htm>).
- **FAO, 2009.** Situation des forêts du monde. FAO, Rome, 152 p. <http://www.fao.org>.
- **Goreaud, F., 2000:** Apports de l'Analyse de la structure spatiale en forêt tempérée à l'étude et la modélisation des peuplements complexe. Thèse de doctorat. Engret. Laboratoire des recherches en Sciences Forestières, Centre de Nancy, 360p.
- **GOUNOT, M., 1989.** Méthodes d'étude quantitative de la végétation. Masson et Cie, pp25.
- **INS, 2009.** Bulletin des statistiques générales. 2ème trimestre 2009.
- **Léonard E. & Oswald M., 1996.** Une agriculture forestière sans forêt. Changements agroclimatiques et innovations paysannes en Côte d'Ivoire. *Natures – Sciences Sociétés*, 1996, 4(3).
- **Mate, M., 2001.** -- Croissance, phytomasse et minéralomasse des haies des légumineuses améliorantes en cultures en allées à Kisangani (République Démocratique du Congo). Thèse inédite, Fac. Sc., ULB, 235 p.
- **Mbala S.M., 2007.** République Démocratique du Congo. Intégrer les questions de genre dans le secteur forestier en Afrique. Rome, FAO : 65.
- **Ndjele, M.B. 1988.** -- Les éléments phytogéographiques endémiques dans la flore vasculaire du Zaïre. Thèse de doct. ULB. Labo. Bot. Syst. & Phyt. 528 p.

- **NGO BIENG. M.A. 2007.** Construction de modèles de structure spatiale permanente de simuler des peuplements virtuels réalistes. Thèse de doctorat inédite, ENREF, Centre de Nancy. 191p.
- **Nshimba, S-M. 2008.** Etude floristique, écologique et phytosociologique des forêts de l'île Mbiyé à Kisangani, R. D. Congo. Thèse, Université Libre de Bruxelles, 272 p.
- **NYAKABWA M., 1982 :** – Phytocénose de l'écosystème urbain de Kisangani, RD Congo, Thèse Inédite ; 1ère partie, 418p.

- **LEJOLY.J. ; M-B NDJELE. & D.GEERINCK. 2010 :** Catalogue – Flore des plantes vasculaires des districts de Kisangani et de la Tshopo, 4^{ème} édition revue et augmentée, incluant les clés et la distribution pour 70 familles, publiée dans Taxonomania 30 : 1 – 308. (Bruxelles) – Mai 2010(R.D Congo).

- **Quentin, M. (2012) :** Estimation de biomasse en forêt tropicale humide (Guyane Française). Thèse inédite. Fac. Sciences exactes et Naturelles. UAG. 184 pages.

- **SPIAF (2007) :** Normes de stratification forestière: Guide opérationnel. Ministère de l'environnement, conservation de la nature, eaux et forêts.

- **Timothy, P. & Brown S., 2005.** Guide de mesure et de suivi du carbone dans les Forêts et Prairies Herbeuses. Winrock International. Ecosystem Services Unit 1621 N. Kent St, Suite 1200 Arlington, VA 22209, 39 p.

- **VANDEWEGHE, J.P. 2004.** – Forêts d'Afrique Centrale. La nature et l'homme. Éd. Lannoo SA. Tielt - Belgique. 367 pages.

- **Wilson J.B. & Agnew A.D.Q. (1992).** Positive-feedback switches in plant communities. *Advances in Ecological Research*, 23: 263-336.