

UNIVERSITE DE KISANGANI



B.P 2012 KISANGANI

Faculté de Gestion des Ressources Naturelles Renouvelables (F.G.R.N.R)

Département des Eaux et Forêts

Etude de la dynamique de carbone organique du sol et biomasse aérienne des forêts monodominantes à *Gilbertiodendron dewevrei* (DE Wild.) J.LEONARD dans la réserve forestière de Yoko territoire d'Ubundu (province de la Tshopo, RD Congo)

Par

Elvire SAFI MUGHENI

Travail de Fin d'Etude

Présenté et défendu en vue de l'obtention du
diplôme de Grade d'Ingénieur

Option: Eaux et Forêts

Directeur: Pr Hippolyte NSHIMBA

Encadreur : C.T. Bonaventure IBANDA



Année Académique 2015-2016

16
22-GRNR.

Dédicace

A mes parents Prosper KAGHENI et Germaine MBAKANIAKI pour leur amour inestimable et tant de sacrifice consentis depuis ma naissance jusqu'à ce jour.

A toi qui sera le nôtre.

A mes frères et sœurs dans la famille KAGHENI et dans la grande famille catholique pour leur soutien et encouragements.

A mes grands-parents, oncles, tantes, cousins, cousines, neveux, nièces pour leurs affections à mon égard.

Elvire Safi Mugheni

Remerciements

La route du succès n'est pas toujours plate, moins encore droite, si bien qu'il faut sans doute un courage exceptionnel sans lequel, le risque d'un abandon est inévitable. Mais, à cœur vaillant, rien d'impossible, dit-on ! La réalisation d'un travail de cette ampleur étant par essence une œuvre collective, bien de personnes ont contribué à sa réussite car aucun travail ne peut s'accomplir dans la solitude.

Tout d'abord, à l'Eternel Dieu Tout Puissant Maître de temps et des circonstances et qui nous donne encore la force de tenir cette plume avec l'encre du sang si précieux de son Fils Jésus-Christ pour Sa gloire. Nous savons que les imperfections que ce travail comporte sont inhérentes à nos faiblesses et limitations mais nous savons que sa muse inspiratrice a guidé notre esprit. Merci Seigneur de nous avoir doté des facultés mentales et intellectuelles et qui a pourvu à tous nos besoins et nous a accompagné jusqu'à la destination.

Nos remerciements les plus mérités vont tout droit au professeur Hippolyte Nshimba Seya Wa Malale, qui en dépit de ses lourdes charges et grandes responsabilités, a bien voulu assurer avec enthousiasme le suivi et l'encadrement du présent travail. Nous avons découvert en lui les qualités d'un bon maître, lucide, patient et organisé.

Un merci s'adresse à Monsieur le Ct Bonaventure Ibanda, encadreur du dit travail de nous avoir accepté sans condition. Son accueil, sa simplicité et son amabilité nous ont facilité la tâche.

Nos sentiments de profonde gratitude s'adressent à nos chers parents Prosper KAGHENI et Germaine MBAKANIAKI, nos Frères et Sœurs (Jospin Mbakaniaki, Fiston Amzati, Trésor Ibenga, Vincent de Paul Lwanzo, Blanchard Baraka, Rosie kabwaro ainsi que son époux Uzima ni mali, Angel Bora, Blandine Furaha, Mirabelle Nyumavitwa, Balbine, Miriel, Symphorant, Odette Patiyo) trouvent ici l'expression de nos sentiments.

Nous attestons également une pieuse mémoire à tous nos compagnons, amis et connaissance Judith Kahindo, Julie Shaula, Amisi Kapongo, Fiston Masudi, Ir. Fabrice Mathala, Ir. Paulin Onoya, Ir. Jonas Uvon, Florence Wachan, Adel Vanasi, Trésor koko, Didier kitembe, Amsini Jeanpy, Christian Mwanza, Myriam Losa, Yves Moango, Rachel Zawadi, Grénat Betuma, etc. ... pour leur sympathie, leur soutien exceptionnel et inconditionnel à notre égard. Nous vous devons beaucoup!

Enfin, que toute personne qui, non citée sur cette page, a contribué à la réalisation de ce travail trouve ici l'expression de nos sincères remerciements.

Elvire Safi Mugheni

Résumé

Le bloc forestier du Bassin du Congo, avec 1,9 million de km² et une grande richesse biologique, joue un rôle prépondérant dans la conservation de la biodiversité et la mitigation des changements climatiques. La gestion durable et rationnelle de ressources forestières se heurte cependant en partie à la faible connaissance de sa structure, sa composition, sa capacité à stocker le C et du fonctionnement de ses différentes composantes. C'est dans ce cadre qu'il a été initié cette recherche enfin d'étudier la dynamique de carbone organique du sol et biomasse aérienne des forêts monodominantes à *Gilbertiodendron dewevrei* (De Wild) J.Léonard dans la réserve forestière de Yoko (bloc nord).

Les observations ont porté sur les paramètres structuraux dont la surface terrière, la biomasse et stock de carbone aérien et les paramètres du sol dont la densité apparente, la teneur et le stock de carbone organique du sol et trois niveaux de profondeur du sol ont été pris en compte : la profondeur de 0-10cm, de 10-20 et de 20-30cm.

Trois peuplements de *G. dewevrei* d'un hectare chacun ont été considérés et subdivisés en quatre parcelles de 50m × 50 m. Des inventaires des tiges de diamètre à la hauteur de poitrine (dhp) ≥ 10 cm ont été réalisés dans ces peuplements.

Les résultats suivants ont été obtenus :

- Les peuplements étudiés recèlent 109 tiges de *G. dewevrei* dans l'ensemble avec une moyenne de 36 tiges/ha. La surface terrière moyenne est de 8,38m²/ha.
- La biomasse et le stock de carbone aérien obtenu sont respectivement en moyenne de 74,95 et 37,44t/ha. Ces valeurs ne sont pas statistiquement différentes ;
- Le stock de carbone organique du sol a varié de 20,34 à 25,94t/ha. Il est en moyenne de 22,22t/ha, Il ne varie pas significativement entre les peuplements étudiés. En outre, en fonction de la profondeur, ce stock ne sont pas significativement différents ;
- Il n'existe pas de relation entre la biomasse, le stock de carbone aérien et le stock de carbone du sol. Il en est de même du DHP et de la surface terrière.

Mots clés : *G. dewevrei*, la dynamique de carbone, biomasse aérienne, forêts monodominantes, Yoko.

Summary

The forest block in the Congo Basin, with 1.9 million square kilometers and a biologically rich plays a major role in the conservation of biodiversity and mitigation of climate change. However, the sustainable and rational management faces in part to the low knowledge of its structure, its composition, its ability to store the C and operation of its various components. It is in this framework that was initiated this research finally to study the dynamics of organic carbon of the soil and ground biomass of forests monodominant *Gilbertiodendron dewevrei* (De Wild) J.Léonard in Yoko Forest Reserve (north block).

The comments focused on the structural parameters including basal area, biomass and ground carbon stock and soil parameters including bulk density, content and organic carbon stock of the ground and three levels deep soil were taken into account: the depth of 0-10cm, 10-20 and 20-30cm.

Three stands of *G. dewevrei* one hectare each were considered and divided into four plots of 50 m × 50 m. Inventories of diameter rods at breast height (dbh) ≥ 10 cm has been made in these stands.

The following results were obtained:

- The Stands studied contain 109 stems *G. dewevrei* overall with an average of 36 stems / ha. The average basal area is 8,38 m² / ha.
- Biomass and the resulting air carbon stock are on average respectively 74.95 and 37,44t / ha. These values are not significantly different;
- Organic carbon stock in the soil ranged from 20,34à 25, 94T / ha. He is averaging 22,22t / ha, it does not vary significantly between the studies populations. In addition, depending on the depth, this stock is not significantly different;
- There is no relationship between biomass, ground carbon stock and soil carbon stock. It is the same DBH and basal area.

Keywords: *G. dewevrei*, carbon dynamics, aboveground biomass, monodominant forests, Yoko.

Liste des tableaux

Tableau 1 : Coordonnées géographiques de la zone d'étude	19
Tableau 2 : Résumé de l'Analyse de la variance de comparaison des moyennes de surface terrière entre les peuplements.....	29
Tableau 3 : Test post-hoc de Tukey de comparaison multiple des moyennes des surfaces terrières entre les peuplements.....	29
Tableau 4 : Stock de carbone aérien et biomasse aérienne des peuplements étudiés	31
Tableau 5 : Résumé de l'Analyse de la variance de comparaison des moyennes de biomasse entre les peuplements.....	32
Tableau 6 : Test post-hoc de Tukey de comparaison multiple des moyennes des biomasses aériennes entre les peuplements	33
Tableau 7 : Densité apparente, teneur et stock en carbone organique du sol (COS).....	34
Tableau 8 : Résumé de l'Analyse de la variance de comparaison des moyennes de la densité apparente entre les peuplements	34
Tableau 9 : Test post-hoc de Tukey de comparaison multiple des moyennes des densités apparente entre les peuplements	35
Tableau 10 : Résumé de l'Analyse de la variance de comparaison des moyennes de teneur en carbone du sol entre les peuplements.....	35
Tableau 11 : Résumé de l'Analyse de la variance de comparaison des moyennes de Stock de carbone du sol entre les peuplements.....	35
Tableau 12 : Stock de COS par rapport à la profondeur du sol.....	35
Tableau 13 : Résumé de l'Analyse de la variance de comparaison des moyennes de Stock de C par profondeur	36
Tableau 14 : Coefficients de corrélation entre les paramètres.....	37
Tableau 15 : Valeurs de probabilité des coefficients de corrélation	37
Tableau 16 : Comparaison des résultats.....	38

Liste des figures

Figure 1 : Carte de location de la Réserve forestière de Yoko (cellule d'Aménagement CFT/Kisangani in Masiala, 2009)	14
Figure 2 : Illustration de l'espèce en étude, <i>G. dewevrei</i>	10
Figure 3 : illustre l'image du prélèvement du sol moyennant un cylindre	23
Figure 4 : Pesée et Séchage de l'échantillon.....	23
Figure 5 : Calcination et retrait de l'échant du four à moufle	25
Figure 6 : Refroidissement des échantillons et pesée de l'échantillon après calcination	26
Figure 7 : Densité (gauche) et surface terrière (droite) de 3 peuplements à <i>G. dewevrei</i> inventoriés..	29
Figure 8 : Répartition de surface terrière en classes de diamètre.....	30
Figure 9 : Structure diamétrique de <i>G.dewevrei</i>	30
Figure 10 : Distribution des valeurs de la biomasse par peuplements.....	32
Figure 11 : Répartition de la biomasse par classes de diamètre des individus inventoriés	33
Figure 12 : Dispersion des valeurs de biomasse (t/ha) des espèces pour les trois peuplements à <i>G. dewivrei</i>	36

Liste des Abréviations

AGB : Biomasse aérienne

ANOVA : Analyse de la variance

CO : Carbone Organique

CO₂ : Gaz carbonique

COS : Carbone Organique du Sol

DA : Densité apparente

D : Diamètre

DHP : Diamètre à hauteur de poitrine

FAO : Fond des nations unies pour l'alimentation

g : Gramme

GES : Gaz à Effet de Serre

Gt : Giga tonne

ha : Hectare

Kg : Kilogramme

m : Mètre

m s : Masse sèche

mf : Masse fraîche

RDC : République Démocratique du Congo

ST : Surface terrière

Table des matières

Sommaire

<i>Dédicace</i>	Erreur ! Signet non défini.
Remerciements.....	ii
Résumé.....	iii
Summary	iv
Table des matières.....	vi
0. Introduction.....	1
0.1. Problématique	1
0.2. Hypothèses	2
0.3. Objectif général	3
0.4. Objectifs spécifiques	3
0.5. Intérêt	3
0.6. Subdivision	3
Chapitre 1: Généralités sur la biomasse aérienne, le carbone et la monodominance.....	4
1.1 La Biomasse	4
1.1.1. Différentes méthodes d'estimation de la biomasse	5
1.2 Le carbone	5
1.2.1. La séquestration de carbone par l'arbre et la forêt.....	6
1.2.2. Quelques définitions	7
1.3. Bref aperçu sur les forêts monodominantes	8
1.3.1. Types de forêts monodominantes :	8
1.3.2. Forêts monodominantes à Gilbertiodendron dewevrei	9
Chapitre 2: Milieu, Matériel et Méthode	14
2.1. Milieu	14
2.1.1. Situation géographique	14
2.1.2. Climat.....	15
2.1.3. Le sol.....	15
2.1.4. Hydrographie	16
2.1.5. Végétation	16

2.1.6. Faune.....	17
2.1.7. Actions anthropiques.....	17
2.2. Matériels	18
2.2.1. Matériels non biologique	18
2.2.2 Matériel biologique	18
2.3. Méthodologie	19
2.3.1. Récolte des données.....	19
2.3.2. Dispositif d'échantillonnage.....	19
2.3.3. Protocole de collecte de données	20
2.3.4. Analyses statistiques	27
Chapitre 3: Présentation des résultats	28
3.1. Densité et surface terrière	28
3.2.Structure diamétrique	30
3.3.Biomasse aérienne et Carbone aérien	31
3.3.1.Stock de carbone et biomasse aérienne.....	31
3.3.2 Répartition de la biomasse par classes de diamètre	33
3.3.3. Densité apparente, stock et teneur en Carbone organique du sol.....	34
3.4. Relation entre les paramètres	37
Chapitre 4: Discussion	38
4.1. Densité et surface terrière	38
4.2. Estimation du stockage de carbone dans les peuplements	39
4.2.1. Biomasse totale et carbone aérien.....	39
4.2.2. Evaluation du stock de COS	40
4.3. Relation entre les paramètres	41
Conclusion et suggestions.....	42
Références bibliographiques	43

0. Introduction

0.1. Problématique

Les forêts tropicales qui couvrent près de deux milliards d'hectares de la superficie du globe dont 20% se trouvent dans le bassin du Congo offrent potentiellement d'extraordinaires possibilités de contribuer à l'atténuation de changement climatique et à la prise des mesures d'adaptation (Ebuy, 2009).

Les forêts contiennent environ 80% des stocks globaux de carbone ligneux aérien et 40% du carbone total (sol, feuille, racines) et jouent un rôle important dans le cycle du carbone global ; elles sont aussi un puits de carbone important. En Afrique, on estime que les forêts denses humides fixent environ 0,63 Mg/ha/an mais la déforestation tropicale mondiale contribue environ à un cinquième du total des émissions annuelles des gaz à effet de serre d'origine anthropique dans l'atmosphère (Houghton, 2005).

Les évaluations du stock mondial de carbone montrent l'importance stratégique de préserver le fonctionnement des puits de carbone : l'accumulation de carbone dans les sols « absorbe » 1/4 de nos émissions de CO₂. Bien qu'instable, le stockage dans les sols représente un tonnage plus fort que celui de l'atmosphère et de l'ensemble de la végétation réunis. Un puits de carbone peut se transformer en source, sous l'influence de phénomènes climatiques, anthropiques ou naturels. La matière organique est l'élément clé du cycle du carbone dans le sol et toute action visant à stabiliser ou accroître la teneur de la matière organique des sols sera favorable au stockage de carbone avec, de plus, des effets bénéfiques sur la fertilité, la rétention en eau et la préservation de la biodiversité (Alterre, 2008).

La RDC possède environ 145 millions d'hectares de forêts naturelles, soit environs 10% de l'ensemble de forêts tropicales du monde et plus de 47% de celles de l'Afrique. Ces forêts jouent un rôle essentiel dans la régulation globale du climat au niveau de la planète. Elles ont également une importance socio-économique manifeste pour les populations autochtones qui y vivent et en dépendent grandement pour leur survie (Tropenbos, 2012).

Cependant, les populations généralement pauvres vivent dans et autour de forêts sans contrainte de ne surexploiter pour subvenir à leur multiples besoins par l'agriculture sur brûlis, l'exploitation des bois d'énergie, la récolte des produits forestiers non ligneux, etc. (Muanza, 2012). Faire le bilan des émissions nettes de GES au niveau régional, c'est en

estimer les « sorties » ou Émissions par grand système et les « entrées » ou stockage dans les milieux naturels ou artificiels (Muanza , 2012).

Les connaissances sur les mécanismes naturels de stockage de C sont encore insuffisantes. Cependant, les estimations faites par l'INRA indiquent qu'elles ne sont pas négligeables : des pratiques favorables contribueraient à limiter de 1 à 2 % les émissions de GES. En dehors des milieux marins, les milieux agricole et forestier sont les principaux secteurs pouvant stocker naturellement du carbone, dans les végétaux et dans les sols (Alterre, 2008).

Une forêt bien gérée contribuerait plus efficacement au stockage du carbone que les forêts laissées dans leur état naturel. Les plus jeunes arbres, en croissance vigoureuse absorbent plus de CO₂ que les arbres murs qui mourront ensuite par putréfaction, et renverront leurs stock de CO₂ dans l'atmosphère. Cependant, tant que le CO₂ reste stocké dans le bois toute augmentation du volume global du « stock bois » réduira le CO₂ dans l'atmosphère (Albert, 2011).

Il existe plusieurs compartiments naturels où sont stockés le carbone dans la nature, à savoir ; la végétation, le sol et l'atmosphère. Plusieurs études se sont focalisées sur l'évaluation de stock de biomasse et carbone aérien des divers peuplements forestiers et très peu d'études se sont intéressées à évaluer le stock de carbone organique du sol. Pour ce faire, la présente recherche s'intéresse aussi bien à l'étude de la dynamique de carbone organique du sol et de biomasse arienne des forêts monodominantes à *Gilbertiondendron dewevrei* (De Wild.) J. Léonard dans la réserve forestière de Yoko. Ainsi, pour bien mener nos investigations, nous nous sommes posé les questions de savoir :

- Quel est le stock de carbone organique du sol (COS), de la biomasse et du carbone aérien dans les peuplements à *G. dewevrei* ?
- Comment varie le stock du carbone organique du sol en fonction de la profondeur du sol dans les 30 premiers cm ?
- Existe-t-il une relation entre le stock du carbone organique du sol, la biomasse aérienne, le stock de carbone aérien et différents paramètres dendrométriques ?

0.2. Hypothèses

- Le stock de carbone organique du sol, de biomasse et de carbone aérien varient faiblement dans les peuplements à *G. dewevrei* en étude ;

- La profondeur du sol n'influence pas le stock de carbone organique du sol dans les 30 premiers centimètres ;
- Il existe une relation entre le stock de carbone organique du sol, la biomasse aérienne, le stock de carbone aérien et les paramètres dendrométriques.

0.3. Objectif général

L'objectif principal que se fixe ce travail est de parvenir à quantifier le stock de carbone organique du sol sur les trois différentes profondeurs dans les trois peuplements étudiés.

0.4. Objectifs spécifiques

Les objectifs spécifiques suivants ont été poursuivis :

- Estimer la biomasse et le carbone aérien ainsi que le stock de carbone organique du sol dans les peuplements monodominants à *G.dewevrei* ;
- Déterminer la dynamique du stock de carbone du sol en fonction de la profondeur du sol sous la canopée de *G.dewevrei* ;
- Ressortir la relation qui peut exister entre le stock de carbone organique du sol, la biomasse aérienne, le stock de carbone aérien et d'autres paramètres dendrométriques tels que la surface terrière et le DHP.

0.5. Intérêt

Cette étude qui se focalise sur des peuplements à *G. dewevrei* a un intérêt scientifique car elle contribue à la connaissance sur le stockage de COS qui constitue un réservoir important dans le cycle du carbone et se propose d'établir des éventuelles relations entre le stock de carbone aérien, le stock de COS et quelques paramètres dendrométriques.

0.6. Subdivision

Le présent travail comprend, à part une partie introductive, quatre chapitres :

- ✓ Le premier étale les généralités ;
- ✓ Le deuxième décrit le milieu, les matériels et les méthodes employées
- ✓ Le troisième présente les résultats obtenus
- ✓ Le quatrième discute ces résultats ;

Enfin, une conclusion et quelques recommandations mettront fin à cette étude.

Chapitre 1: Généralités

1.1 La Biomasse

La biomasse est généralement définie comme étant « la masse de matière vivante produite par une population, un peuplement, une communauté ou une biocénose, rapportée à l'unité de surface et exprimée en matière sèche » à un moment donné, exprimée en kg/ha (Brown 1997 ; Delpech *et al.* 1985 in Njoukam 1995).

Cette masse peut être convertie en masse de carbone pur. Il est généralement acquis, d'après la composition chimique du bois, que la masse d'atomes de carbone est la moitié de la biomasse. Cette relation varie légèrement selon les essences de bois ou selon l'environnement. Cette relation est basée sur des données très limitées et devrait être plus étudiée de manière à améliorer la qualité des conversions de biomasses en masses de carbone (Lamlom & Savidge, 2003; Martin & Thomas, 2011).

La biomasse épigée est quant à elle la masse de la partie ligneuse (tronc, écorce, branches, brindilles, feuilles, etc.) des arbres, vivants ou morts, des arbustes et des buissons, à l'exclusion de la souche et des racines (Guitet 2007). D'après la FAO (1990) in Gédéon 2014, c'est la quantité totale de matière organique aérienne présente dans les arbres exprimée, soit en tonnes par hectare (t/ha) dans le cas d'une densité de la biomasse, soit tout simplement en tonne pour l'estimation totale de la biomasse à un niveau régional ou national.

Dans bien des cas, l'estimation de la biomasse est basée sur le diamètre à hauteur de la poitrine d'homme. Selon les études de Brown (1997) et pour la plupart des forêts ou formations végétales, le diamètre minimum à partir duquel les arbres sont pris en compte dans l'estimation de la biomasse est fixé à 10 cm. Cependant la prise de hauteurs des arbres reste facultative (Brown *op.cit.*).

L'estimation de la biomasse au-dessus du sol est un aspect essentiel pour les études des stocks de carbone. Lors de cette estimation, l'utilisation d'un modèle d'équation pour chaque espèce semblerait préférable parce que les arbres de différentes espèces sont différents en termes d'architecture et la densité du bois (Kurniatum *et al.* 2001).

La notion de biomasse, en se référant à la quantité de carbone emmagasinée dans le bois, est importante pour les études prospectives sur le cycle et la séquestration du carbone à l'échelle des forêts. Ce qui aurait une incidence sur les changements climatiques (FAO, 2000 in Nyembo 2012).

1.1.1. Différentes méthodes d'estimation de la biomasse

Selon Chave (2006), deux méthodes d'estimation de la biomasse ont été retenues:

- a. Estimation à partir du volume de bois fort sur écorce (calibrage du paramètre de Brown (1997))

Cette méthode permet une conversion du volume commercial sur écorce classiquement calculé par les forestiers, en biomasse épigée totale des arbres (bois et feuilles). Elle est appliquée aux inventaires forestiers réalisés par classes de diamètre incluant toutes essences et utilisant un diamètre de pré-comptage de 10 cm. Elle se base sur la conversion du volume bois fort inventorié sur écorce (VOB) en biomasse totale (AGB), par application de la densité anhydre du bois (WD ou WSD) et d'un coefficient d'expansion (BEF) représentant le rapport entre biomasse totale et biomasse commerciale. Cette formule peut s'appliquer à d'autres types d'inventaires ayant un diamètre de pré-comptage supérieur (jusqu'à 30 cm) moyennant l'application d'un facteur correctif (VEF : Volume Expansion Factor) permettant d'extrapoler le volume des classes de diamètre manquantes.

On utilise également dans les calculs intermédiaires le terme BV (Biomass of inventoried volum en T), correspondant à la biomasse des troncs.

- b. Estimation à partir des tables d'inventaires et des modèles allométriques

On appelle table d'inventaire, la matrice classiquement utilisée en foresterie qui présente le résultat de l'inventaire en nombre de tiges par essence et par catégorie de diamètre. 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 donnée d'entrée : le diamètre Dhp.

1.2 Le carbone

Le carbone est l'un des éléments chimiques les plus abondants sur terre et il est présent dans tous les êtres vivants. Il est également une composante naturelle de l'atmosphère terrestre. Indiqué par le symbole C le carbone se trouve en grande quantité dans les feuilles, les branches, les tiges et les racines des arbres. En plus d'être composé de 50% d'eau, la biomasse d'un arbre vivant contient environ 25% de carbone. Les 25% restants sont

constitués de diverses quantités d'autres éléments dont l'azote (N), le phosphore (P), le potassium (K), le calcium (Ca), le magnésium (Mg) et d'autres oligo-éléments (Wayne, 2011)

Au cours de ces dernières années on a montré l'importance du carbone organique stocké dans le sol et on s'est attaché à mesurer ses fluctuations sous différents modes d'occupation du sol pour essayer de mieux comprendre leurs effets sur la composition de l'atmosphère et sur les changements de l'environnement global (Post *et al.* 1982)

Au cours de la conférence de Kyoto en 1997, les États signataires du traité se sont engagés d'une part à réduire leurs émissions de CO₂ de 5% et d'autre part, à quantifier de manière exhaustive les stocks et les flux de carbone pour accroître leur connaissance sur le bilan de carbone dans tous les écosystèmes. Malheureusement, plus récemment, le sommet mondial de la Haye en 2000 a démontré les insuffisances des études actuelles sur la dynamique du carbone dans les écosystèmes cultivés et naturels.

En regard d'une controverse sur la capacité des forêts tropicales à séquestrer le carbone, les hypothèses émises par certains chercheurs estiment que les forêts matures sont censées montrer un équilibre neutre de fixation du carbone par la photosynthèse et la libération de CO₂ par la respiration (Gédéon 2014) ;

Selon d'autres études, les forêts anciennes sont généralement les puits de carbone avec une productivité primaire nette positive (Ciais *et al.*, 1995)

1.2.1. La séquestration de carbone par l'arbre et la forêt

Les forêts sont des réservoirs importants de carbone, par leur biomasse et nécromasse *via* le sol. Ce puits de carbone est cependant faible dans certaines forêts, et il n'existe que si elles grandissent ou si leur sol s'enrichit durablement en carbone.

Le bois est composé à 50 % de carbone. Pour produire un mètre cube de bois, un arbre transforme une tonne de gaz carbonique (un gaz à effet de serre dont on cherche à limiter la concentration dans l'atmosphère) et participe ainsi à l'atténuation du changement climatique. Le type de forêt a une importance dans la séquestration de carbone. Les forêts tropicales ont d'abord été jugées neutres à l'égard du carbone, mais une étude récente a montré qu'elles étaient globalement aussi des puits de carbone (Chave *et al.* 2008 cité par Nyembo 2012).

Une méthode plus accessible pour obtenir une estimation de la biomasse d'un arbre, consiste à utiliser la relation entre le diamètre des arbres et leur biomasse. C'est à ce niveau

qu'interviennent les équations allométriques. L'allométrie désigne la relation statistique qui existe entre deux 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)

1.2.2. Quelques définitions

Plusieurs termes sont utilisés pour designer l'entrée et la sortie de carbone organique du sol notamment ; stockage, séquestration, puits de carbone et sources de carbone.

On s'entend à utiliser les mots :

- a) Stockage ou séquestration lorsqu'on fait référence à des réservoirs et des mécanismes naturels. On parle plus précisément de séquestration quand il s'agit d'augmenter le stockage.
- b) Puits de carbone ; c'est le lieu de capture et du stockage de carbone. Il peut s'agir des roches, des océans, des plantes ou des arbres et à durée plus ou moins longue avant le recyclage (quelques années). Pour les prairies, cette durée est de quelques décennies à quelques siècles et plusieurs centaines de millions d'années pour la séquestration par l'humus du sol ou une forêt et par les roches calcaires avant le stockage par désagrégation et érosion.
- c) Source de carbone, c'est le lieu d'émission ou de libération du carbone. Ce terme est utilisé pour mettre en évidence la réversibilité du stockage et montrer qu'un puits de carbone peut se transformer en source de carbone sous certaines conditions naturelles (minéralisation de la matière organique, décomposition des composés organiques) et/ou anthropique (incendie de forêt, déforestation, retournement de prairie).

Ce sont des puits et sources qui sont étudiées dans le cadre du bilan de gaz à effet de serre pour tenter de limiter les émissions (Bourgogne, 2008).

Puits lithosphérique ou édaphique est constitué de l'ensemble de carbones stockés dans la lithosphère. Alors que la lithosphère désigne l'ensemble terre et roche des sols et sous-sols,

où on restreint souvent la notion de puits lithosphériques à celle qui interagit avec l'atmosphère et les végétaux, c'est-à-dire la partie superficielle des sols (Bourgogne op.cit).

1.3. Bref aperçu sur les forêts monodominantes

Est considérée comme forêt monodominante, toute forêt dans la quelle, une seule espèce détient au moins 50 % des effectifs de grands arbres de la canopée ou de la surface terrière (Sabongo 2005).

Elles sont classées en deux catégories sur base de la persistance de l'espèce dominante au-delà d'une génération sous une canopée non perturbée (Connell et Lowman 1989 ; Torti *et al.*, 2001). Cette classification tient compte de : (1) l'abondance des juvéniles (plantules et jeunes arbres à dhp < 10 cm), (2) du besoin pour la germination et survie de ses juvéniles et (3) l'existence de la perturbation du site (Connell et Lowman 1989 cité par Sabongo op.cit).

1.3.1. Types de forêts monodominantes :

a. Forêts monodominantes persistantes

Ce sont des forêts dont les juvéniles de l'espèce dominante sont présents et prolifèrent sous la canopée non perturbée ou tolèrent l'ombre créée par les individus matures (Davis et Richards 1934; Rankin 1978; Connell et Lowman 1989). L'espèce dominante est capable de continuer sa dominance aussi longtemps que les îlots s'ouvrent à la lumière, et cela de manière progressive (Connell et Lowman op.cit).

Celles-ci sont divisées en 3 catégories, celles se développant sur le sol pauvre en nutriments, la monodominance classique et la monodominance tolérante à l'eau. Toutes ces forêts sont réparties aussi bien en Afrique, en Amérique et en Asie (Connell et Lowman 1989; Hart 1990; Torti *et al.* 2001). Parmi les espèces africaines qui forment la monodominance, nous pouvons citer : *Brachystegia laurentii* (Germain et Evrard 1956), *Cynometra alexandri*(Eggeling 1947), *Gilbertiodendron dewevrei* (Louis 1947; Gérard 1960; Hart 1985; Kouob 2009) et *Tetraberlinia tubmaniana* (Voorhoeve 1979); en Amérique : *Mora excelsa* (Davis et Richards 1934; Marshall 1934; Beard 1946; Rankin 1978) et *Mora gonggrijpii* (Davis et Richards 1934) ; et en Asie : *Dryobalanops aromatica*, (Whitmore 1984; Traissac 2003), *Shorea curtisii* (Grubb *et al.*, 1994) et *Spirotropis longifolia* (Fonty 2011).

Pour maintenir la monodominance de type I dans la forêt, l'espèce dominante doit remplir les caractéristiques suivantes :

- (1) ses juvéniles doivent nécessairement être capables de s'établir et survivre sous la canopée non perturbée ou sur les petites ouvertures provoquées par les chablis;
- (2) elle doit mieux résister que toutes les autres espèces aux conditions difficiles du milieu et aux ennemis naturels (pathogènes, parasites, sols pauvres, etc.);
- (3) elle doit être la meilleure compétitrice dans l'exploitation des ressources telles que la lumière, l'eau ou les éléments nutritifs du sol;
- (4) elle doit être la meilleure compétitrice à établir des relations indirectes avec d'autres microorganismes du sol.

b. Forêts monodominantes non persistantes

Considérée de type II, elle regroupe toute forêt monodominante dont les juvéniles de l'espèce dominante sont absentes dans les endroits non perturbés mais présentes dans les endroits perturbés, et dont le maintien nécessite un fort niveau d'éclairement. Cette dominance ne dépasse pas une génération (Connell et Lowman 1989). Elle se développe par les espèces telles que *Backhousia bancroftii* (Connell et Lowman 1989), *Maesopsis eminii* (Eggeling 1947), *Musanga cecropioides* (Ross 1947) et *Shorea albida* (Anderson 1961).

1.3.2. Forêts monodominantes à *Gilbertiodendron dewevrei*

De toutes les forêts monodominantes sur sol ferme bien drainé, la forêt monodominante à *G.*

Dewevrei est la plus importante en ce qui concerne l'étendue qu'elle occupe. Cette forêt a déjà fait l'objet de certaines études écologiques tant au niveau de la République Démocratique du Congo que d'autres régions en Afrique (Gérard 1960; Hart 1985; Sonké 1998, Harris 2002).

Selon Hart (1990) cité par Sabongo2005, la forêt à *G. dewevrei* peut s'étendre de quelques hectares à plusieurs milliers d'hectares.

Parmi les forêts monodominantes Africaines, les forêts à *G. dewevrei* forment des peuplements vastes et dans certains cas pratiquement formés d'arbres d'une seule espèce et quasi purs qui couvrent des milliers de kilomètres carrés tout au long de la périphérie de lacuvette du Congo (Gérard 1960; Hart 1985; Hart et al., 1989; Vande weghe 2004). Elles sont réparties en petits îlots ou plaques fragmentés de manière intermittente aux forêts mixtes dans différents endroits de son aire d'extension, ayant des conditions édaphiques variables (terre ferme, plateau et pente) et situées à des altitudes et latitudes également variables (Aubréville1957; Gérard 1960; Evrard 1968; Hart 1985). Cependant, *G. dewevrei* est loin de

former des peuplements denses et étendus dans toute son aire de distribution, ceux-ci ne sont connus, à ce jour, que dans la partie nord et nord orientale du bassin du Congo, c'est-à-dire approximativement dans la zone des forêts denses de l'Ubangi, de l'Uélé, dans la partie orientale de la ville de Kisangani et en Ituri (Gérard 1960; Hart 1985).

Plusieurs observations faites sur les forêts monodominantes indiquent que *G. dewevrei* régénère de façon très prolifique sous sa propre canopée, et que les autres espèces de l'étage supérieur sont peu représentées à l'état adulte dans les étendues dominées par *G. dewevrei*, conduisant ainsi à une faible diversité floristique de la canopée (Makana *et al.*, 2004). Par ailleurs, cette espèce présente d'importantes populations des juvéniles dans tous les stades de croissance, renforçant ainsi son caractère dominant avec le temps (Hart 1985; 1990; Makana 1999). Lebrun et Gilbert (1954), White (1986) et Schmitz (1988) se basant sur la physionomie de la forêt à *G. dewevrei* la classent du point de vue phytosociologique dans les forêts humides sempervirentes ; dans l'association à *Gilbertiodendretum dewevrei* (Louis 1947), Alliance des *Gilbertiodendrion* (Devred 1958), Ordre des *Gilbertiodendretalia dewevrei* (Lebrun et Gilbert 1954) et dans la classe des *Strombosio-Parinarietea* (Lebrun et Gilbert 1954 cités par Sabongo 2005).

1.4. Généralités sur l'espèce étudiée : *Gilbertiodendron dewevrei*



Figure1 : Illustration de l'espèce en étude, *G. dewevrei*

a. Description

Arbre atteignant 40 m de haut, sans contreforts. Feuilles alternes, composées paripennées, 4-10-foliolées, courtement pétiolées ; stipules lancéolées, de 5-8 cm de long, accompagnées de 2 oreillettes suborbiculaires ; folioles coriaces, opposées, pétiolulées, obovales-oblongues à oblongues, atteignant (30-50) cm de long et 3,5-18 cm de large, penninerves, à nervures latérales nombreuses. Inflorescences en panicules. Fleurs zygomorphes, 5-mères, rouge pourpre, pédicellées ; pétales 5, le médian beaucoup plus grand que les autres ; étamines 3, accompagnées de 6 staminodes. Gousses grandes, déhiscentes, ligneuses, comprimées, obovales-oblongues, de 15-30 cm de long, tomentelleuses, à 1 côte longitudinale submarginale.

Habitat : Forêts ripicoles.

Distribution : Espèce bas-guinéo-congolaise (LEJOLY et *al.*, 2010)

b. Dénomination

Anciennement connu sous le nom de *Paramacrolobium dewevrei*, cette espèce appartient à la famille de *Fabaceae*, au genre *Gilbertiodendron*. C'est une essence de terre ferme mais aussi ripicole ou de forêt marécageuse à tempérament grégaire pouvant former des peuplements presque purs.

L'aire de distribution de *Gilbertiodendron dewevrei* s'étend du Libéria à l'Angola et au Congo. En République Démocratique du Congo, on trouve *Gilbertiodendron dewevrei* dans toute l'étendue de la cuvette centrale et son pourtour.

Étant donné ses qualités esthétiques, le *Gilbertiodendron dewevrei* offre le bois de constructions fortes, de charpentes extérieures, platelage, menuiseries, bâtiments et parquets (Lokombe, 2004).

c. Écologie

Gilbertiodendron dewevrei se reproduit en dessous de 1000 m d'altitude, dans des zones où les précipitations annuelles moyennes de 1600 à 1900 mm et une saison sèche d'environ 2 mois. Il pousse dans les dépressions humides grégaires, vallées alluviales et le long des rivières, mais aussi souvent dans des régions montagneuses (plateaux, sommets des collines).

Sur le sol profond, bien drainé et sablonneux, il forme une racine pivotante profonde. Sur les sols pierreux, formation des racines du robinet est difficile, et la formation de racines latérales devient importante. Le *Gilbertiodendron dewevrei* peut former de vastes peuplements

presque purs, couvrant parfois plus de 10.000 ha. Dans ces forêts monodominantes, *G. dewevrei* constitue 75 à 88% de la superficie de base. Les stands plus grands se trouvent dans la partie nord et nord-est du bassin du Congo, en RD Congo, où ces forêts sont considérées comme le climax. En République démocratique du Congo ces peuplements sont généralement constitués de 3 couches: une couche supérieure d'arbre continu d'environ 35 m de haut, composée presque uniformément de *G. dewevrei*, avec dans certains endroits de la couronne des autres grandes essences héliophiles (par exemple : *Anthonothea fragrans* (Baker f SD).

Une couche de milieu pas très dense composé principalement de jeunes *Gilbertiodendron dewevrei* mélangé avec plusieurs semi-héliophytes rares (par exemple *Diogoa zenkeri*) et arbustes (par exemple : *Alchornea floribunda*) et une plante herbacée discontinue couche des Marantacées et Commelinacées (Likunde, 1987).

Dans certaines régions, la forêt monodominante à *Gilbertiodendron* semble gagner du terrain dans les forêts hétérogènes.

Ailleurs, par exemple au Cameroun, il semble régresser, peu à peu envahi par des espèces de la forêt semi-décidue qui l'entoure, que ce soit sous l'influence d'une nappe phréatique basse ou à la suite d'activités humaines. Les forêts monodominantes à *Gilbertiodendron dewevrei* sont très sensibles au défrichement de la forêt pour la culture itinérante, parce que cela permet la pénétration des essences secondaires et de feuillus dans la forêt. Si le déboisement est trop important et fréquent, les forêts monodominantes peuvent être transformées en forêt semi-décidue ou savanes dégradées après seulement 4 à 6 ans de culture. Près des limites nord et sud de son aire de répartition, *Gilbertiodendron dewevrei* ne se forme pas aussi vaste que dans le bassin nord du Congo, mais il persiste le long des rivières, il se trouve dans la forêt hétérogène, ce n'est jamais que des arbres isolés, mais toujours en groupe (Likunde, 1987).

d. La récolte

Le diamètre minimum du fût pour l'abattage au Cameroun et en RD Congo est de 60 cm, 70 cm au Gabon et dans la République centrafricaine 90 cm. Pour faire les bandeaux pour la réalisation des paniers, les pygmées Mbuti personnes en RD Congo font les bandes d'écorce de 2 m de long et 5-10 cm de large à partir de jeunes arbres avec un diamètre de fût de 15-20 cm, en enlevant l'écorce externe. La récolte des bandes d'écorce de jeunes plants peut conduire à la pourriture du cœur des arbres. (Burkill, 1995 cités par Gédéon 2014).

e. Usages

Compte tenu de son abondance exceptionnelle dans certaines régions, le limbali pourra dans l'avenir offrir des possibilités d'approvisionnement régulier et donner lieu à des courants d'exportation importants. Ses bonnes résistances mécaniques et sa durabilité naturelle lui assurât une large gamme d'utilisations : constructions diverses (maisons, navales), menuiseries diverses (Kahindo, 2010).

2.2.1.2. Le sol

Malgré un manque de connaissances sur le cycle du carbone dans les sols souligné par les chercheurs, il est de plus en plus reconnu que la gestion des sols et de leur couverture forestière joue un rôle dans l'atténuation (ou l'amplification) du changement climatique et dans l'adaptation à ce phénomène.

a. Définition

Le sol est une formation de surface à propriété essentiellement dynamique souvent différencié en couches distinctes, généralement meubles résultant de la transformation d'une roche-mère sous l'influence de divers processus physique, chimique et biologique. La profondeur peut varier de son développement à plusieurs mètres, Sa formation et son développement sont largement influencés par le climat, la roche-mère, le temps, la topographie, et la végétation. La présence de vers de terre, de termites, de fourmis et de rongeurs, l'activité microbienne et les différentes interventions de l'homme influent également sur son développement (Ngongo et *al.*, SD).

Le sol remplit 2 grandes fonctions :

- Il est le support des végétaux
- Il est leur source d'éléments nutritifs (Ngongo et *al.*, op.cit)

Le sol représente le réservoir de C le plus important de la biosphère. Le stock du sol est un bilan entre apports, pertes et fraction stable du C du sol. Les apports sont soit directs (exsudats racinaires), soit indirects : constitués de l'ensemble des débris organiques généralement d'origine végétale qui sont intégrés à plus ou moins long terme dans les sols. L'activité de trituration de la mésofaune et le rôle de la microfaune transforment ce substrat en humus. Les pertes se font par respiration (dioxyde de carbone : CO₂) des racines vivantes (respiration autotrophe), ou par des émissions dérivées de la dégradation de la MO (respiration hétérotrophe). D'autres pertes peuvent avoir lieu par drainage et érosion et peuvent représenter des valeurs importantes à long terme (Diaz et al. 2007; FAO, 2002).

Chapitre 2: Milieu, Matériel et Méthode

2.1. Milieu

2.1.1. Situation géographique

Notre étude s'est déroulée dans la réserve forestière de la Yoko, située à l'Ouest de Kisangani, dans la Collectivité de Bakumu Mangongo, Territoire d'Ubundu, en Province de la Tshopo au Nord-est de la République Démocratique du Congo.

Régie par l'ordonnance-loi n°52/104 du 23 Février 1950 du ministère de l'environnement et tourisme, elle est actuellement gérée par la Coordination Provinciale de l'Environnement et développement durable (Archive du Ministère de l'environnement).

La dite réserve s'étend entre les points kilométriques 21 et 38, sa station se trouve au point kilométrique 32 avec comme coordonnées géographiques 00°29' 10,2" latitude Nord, 25° 28' 90,6" longitude Est et une altitude moyenne de 436 m. Elle prend le nom de la rivière Yoko qui la subdivise en deux parties dont le bloc Nord avec 3370 hectares et le bloc Sud avec 3605 hectares, soit une superficie globale de 6975 hectares (Amani, 2011).

La ville de Kisangani coiffe la réserve au Nord et la forêt perturbée au Sud, à l'Est par la rivière Biaro qui forme une demi-boucle, à l'Ouest par la voie ferrée et la route reliant Kisangani à la cité d'Ubundu (Lomba et Ndjele, 1998).

La figure ci-dessous présente la carte géographique de la Réserve forestière de Yoko :

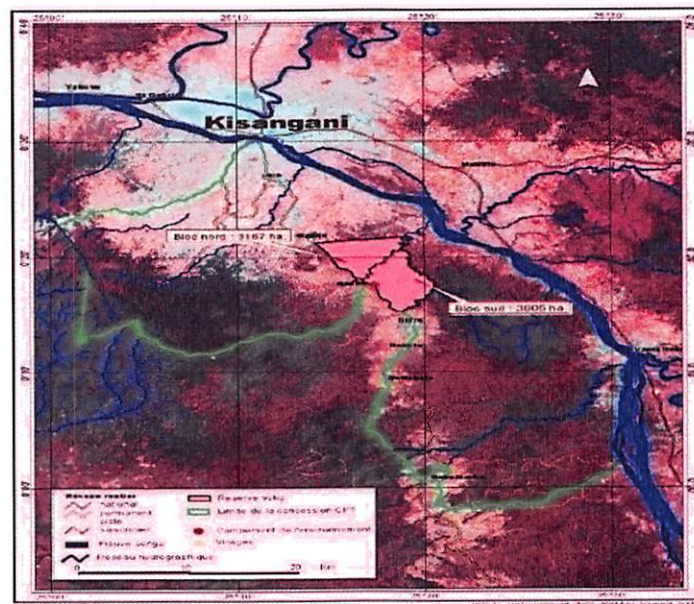


Figure2 : Carte de location de la Réserve forestière de Yoko (cellule d'Aménagement CFT/Kisangani in Masiala, 2009)

2.1.2. Climat

La réserve forestière de la Yoko étant située proche de la ville de Kisangani, nous lui attribuons les caractéristiques climatiques de cette dernière. Néanmoins, de par sa couverture végétale, elle jouirait d'un microclimat particulier.

Située à proximité de l'équateur, la ville de Kisangani, et par extension la réserve forestière de Yoko, jouit d'un climat du type Af selon la classification de Koppen (Lomba 2007).

Ce climat est caractérisé par :

- ✓ Des précipitations ayant une moyenne annuelle élevée (1728,4 mm), mais inégalement réparties au cours de l'année (minimum : 1417,5 mm et maximum : 1915,4 mm) et interrompues par deux petites saisons subsèches caractérisées par un fléchissement des précipitations respectivement en décembre-janvier-février et juin - juillet-août (Nshimba, 2008);
- ✓ La moyenne des précipitations du mois le plus sec oscille autour de 60 mm (Lomba, 2007) ;
- ✓ L'humidité relative moyenne annuelle est également haute, soit 82 % ;
- ✓ L'insolation mensuelle en dixième d'heures à Kisangani, varie de 31,5 % à 57% (Nshimba, op.cit) ;
- ✓ Les températures moyennes oscillent entre 23,5 °c et 25,3 °c, soit une amplitude thermique annuelle faible de 1,8 °c et la moyenne des températures du mois le plus froid est supérieure à 18 °c. (Lomba, op.cit). On observe à Kisangani une mégathermie quasi constante : les températures sont assez élevées et leurs variations peu perceptibles, voire négligeables (Nshimba, op.cit).

2.1.3. Le sol

A l'instar de la grande majorité des sols tropicaux, les sols de Yoko appartiennent à l'ordre des oxisols selon «soil taxonomy» et au grand groupe de ferralsol selon la classification des sols par la FAO.

Le pH moyen avoisine 4 et le sol possède une faible teneur en humus à cause de la minéralisation rapide de matières organiques (Mambani, 2010).

Du point de vue minéralogie de la fraction argileuse, il est constitué de Kaolinite associé à la Zoetithite, pas de gibbsite. Ce sol fait partie de la classe de hydro-ferralsol de profil (Sys, 1960; Baert *et al.* 2009 in Gbelu, 2011).

La végétation reflète un certain nombre de caractéristiques du sol.

En faisant l'analyse de la carte de sols établit par Sys (1960), les sols de la Yoko sont ferralitiques des plateaux du type Yangambi, ils se caractérisent par la présence ou non d'un horizon B (d'environ 30 cm d'épaisseur), une texture argileuse (environ 20 %), des limites diffuses, une faible C.E.C (moins de 16 méq/100 g d'argile); une composition d'au moins 90 % de la kaolinite, des traces (moins 1 %) de minéraux altérables comme feldspaths au micas, moins de 5 % de pierres (Calebent, 1995 in Kombele, 2004).

2.1.4. Hydrographie

La réserve de la Yoko a un réseau hydrographique très dense. La rivière Yoko sépare deux grands blocs, Nord et Sud et d'autres rivières comme Basumbu et Biaro baignant la réserve.

La rivière Yoko avec ses plus de 20 affluents, qui constituent une ramification importante d'un réseau de cours d'eau qui drainent plusieurs points de la réserve.

Toutes ces rivières sont caractérisées par un régime torrentiel. Elles ont un débit moins important et varient selon les périodes: de crues par exemple sont remarquées pendant la saison pluvieuse et les étiages sont très prononcés en période sèche (Gédéon, 2014).

2.1.5. Végétation

La diversité de la végétation en RDC est due à la grande diversité des facteurs écologiques et paléographiques notamment les facteurs édaphiques (relief, nature des sols, hydrographie); les facteurs climatiques (température, précipitation, humidité atmosphérique) et l'ancienneté de terrains.

Selon la classification de conseil scientifique pour l'Afrique au Sud du Sahara réuni à Yangambi en 1956; les principales formations végétales de la RD. Congo sont les suivantes:

- ✓ Forêts ombrophiles guinéo congolaises de basse altitude, riches en légumineuse, mieux développées dans la cuvette et son pourtour; Forêts de montagne localisées dans les hautes terres du Kivu;
- ✓ Forêts de transition se situant entre 110 et 1700 m d'altitude, confinées entre cuvette et les montagnes;
- ✓ Forêts édaphiques liées aux sols hydrographes ou aux substrats saumâtres, très localisées; qui se subdivisent en forêt inondable, forêts ripicoles, forêts vallicoïles; forêts marécageuses et les mangroves (Bola, 2013).

La partie sud de la réserve appartient au type des forêts mésophiles sempervirentes à *Scorodophloeus zenkeri*, à l'alliance *Oxystigmo-scorodophloeion*, à l'ordre des *Piptadenio-celtidetalia* et à la classe des *Strombosio-parinarietea* (Lebrun & Gilbert, 1954).

2.1.6. Faune

La réserve de la Yoko a une faune fortement dégradée, néanmoins on y trouve quelques traces de la faune aviaire diversifiée allant de colibris aux pintades communs (*Nimudamilea gris*), de la tortue luth (*Desmiachelys cosiacca*), ainsi que quelques petits mammifères (Mbura, 2009).

2.1.7. Actions anthropiques

La Réserve Forestière de Yoko n'échappe pas aux activités de la population. Pour faire face à la situation de la pauvreté à laquelle est plongée la population, pour sa survie la population s'adonne à des pratiques traditionnelles caractérisées par une agriculture itinérante sur brûlis, de faibles superficies et de bas rendements. Parmi les cultures réalisées, nous pouvons citer : le manioc, la banane plantain, le paddy, le maïs, le haricot, le palmier à huile et l'hévéa. Ces activités constituent un danger permanent pour la conservation de la forêt de cette réserve (Lomba & Ndjele, 1998 cités par Sabongo 2015).

Hormis l'agriculture, d'autres activités effectuées par la population dans la réserve nuisent de manière directe à la préservation et l'équilibre écologique de celle-ci entre autres : la production de charbon de bois qui se fait par l'abattage des arbres, la coupe des arbres pour la construction des maisons, l'exploitation des rotins qui servent à la fabrication des escabeaux ou tabourets traditionnels. Le ramassage des chenilles de Juillet Août crée un envahissement permanent de la réserve par la population et conduit de ce fait à la perturbation de son sous-bois forestier partout où les arbres porteurs des chenilles sont signalés, pour certaines personnes elle est l'occasion d'abattre les arbres hébergeant les chenilles. (Kahindo 2011)

Aux activités évoquées ci-haut, il faut ajouter que la réserve subit encore les pratiques telles que la pêche traditionnelle, la cueillette et la chasse (Kahindo op.cit).

2.2. Matériels

2.2.1. Matériels non biologique

Les matériels non biologiques qui ont servi à récolter les données de ce travail réunissent notamment:

- Boîtes de peinture pour la numérotation et le marquage des arbres;
- Mètre ruban pour mesurer le Dhp des arbres;
- GPS pour la prise des coordonnées géographiques;
- Carnet, stylo, crayon, pour la prise des notes des observations sur terrain et au laboratoire ; markers pour numéroter les sachets de collecte des échantillons du sol ;
- Boussole pour l'orientation de la direction du layon ;
- La tarière pour le prélèvement des échantillons du sol
- Étuve pour sécher les échantillons;
- Balance de précision pour la pesée des échantillons;
- Gants pour éviter de contaminer les échantillons lors des travaux pédologiques ;
- Le mortier pédologique pour broyer le substrat ;
- Le pilon pour piler le substrat ;
- Ordinateur pour les traitements des données;
- Creusets pour placer les échantillons de sol à calciner ;
- Calcinateur ou four à Moufle pour la calcination d'échantillons du sol ;
- Pince pour retirer les échantillons du calcinateur ;
- Alcool et ouate pour nettoyer les plateaux métalliques sur les quelles les échantillons de sols sont déposés ;
- Le dessiccateur pour le refroidissement des échantillons.

2.2.2 Matériel biologique

Le matériel biologique utilisé dans le cadre de cette recherche est constituer de l'espèce de *G. dewevrei* et le substrat sol.

2.3. Méthodologie

2.3.1. Récolte des données

La zone d'étude dans la quelle s'est réalisée la récolte de nos données est la réserve forestière de Yoko dans le bloc nord. Trois peuplements différents constitué chacun d'un hectare ont été inventoriés. (Kahindo 2010). Les coordonnées géographiques de la zone étudiée sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Coordonnées géographiques de la zone d'étude

Parcelles	Longitude	Latitude	Altitude	Superficie (ha)
1	00°17'8"	025°17'58.9"	455	0,25
2	00°17'38.4"	025°17'59.8"	455	0,25
3	00°17'39.2"	025°18'00.2"	423	0,25
4	00°17'38.6"	025°17'58.2"	451	0,25
5	00°17'04.8"	025°18'32.8"	448	0,25
6	00°17'02.5"	025°18'32.8"	444	0,25
7	00°17'02.0"	025°18'32.3"	447	0,25
8	00°17'03.8"	025°18'31.2"	440	0,25
9	00°17'04.6"	025°18'32.7"	438	0,25
10	00°17'03.4"	025°18'34.8"	443	0,25
11	00°17'04.6"	025°18'24.5"	434	0,25
12	00°17'02.0"	025°18'35.3"	478	0,25
Total				3

2.3.2. Dispositif d'échantillonnage

Dans chaque peuplement, quatre parcelles contiguës ayant chacune une superficie de 0,25ha ou 2500m² soit 50mx50m, ont fait l'objet des inventaires.

Dans chaque parcelle, tous les individus de *G. dewevrei* de diamètre à hauteur de poitrine (DHP) ≥ 10 cm ont été inventoriés et mesurés et des prélèvements des échantillons du sol ont été réalisés sous la canopée des pieds de *G. dewevrei* dans les quatre directions géographiques. Ces prélèvements ont été réalisés aux pieds des individus de *G. dewevrei* dans chaque parcelle de 50mx50m, ce qui constitue l'unité de sondage pédologique.

2.3.3. Protocole de collecte de données

2.3.3.1. Paramètres dendrométriques

a. Le Diamètre à Hauteur de Poitrine (DHP)

Chaque individu de *G. dewevrei* de dimension indiquée (supérieure ou égale à 10 cm) est dégagé de tout encombrement autour de son tronc. A l'aide d'un bâton de 1,30 m, on détermine le niveau de prise de mesure de dhp par un trait de peinture dans le respect des normes de mesure de dhp (WWF et FRM, 2005). Sur ce trait, le dhp est mesuré au mètre ruban à 1,30 m au-dessus du sol et la valeur de cette mesure est notée dans la fiche de comptage. A l'aide de la peinture, chaque individu a été marqué (sur son tronc) avec un numéro unique et ce dernier est noté dans la fiche correspondante.

De ce paramètre, trois autres paramètres à savoir la surface terrière, la biomasse aérienne et le stock de carbone ont été calculées pour les trois peuplements d'étude. Cette comparaison entre les trois peuplements d'études nous permettra de mieux comprendre l'évolution de ces paramètres.

b. Surface terrière

La surface terrière est la surface occupée par le tronc à hauteur de la poitrine ou à 1,30 m au-dessus du sol. Elle correspond à la somme des surfaces terrières de tous les individus de *G. dewevrei* et les résultats ont été ramenés à l'hectare (Bondinga, 2014).

$ST = \pi \times D^2 / 4$ où ST est la surface terrière d'un individu et D est son diamètre à hauteur de poitrine.

c. Densité

Elle correspond au nombre d'individus pour une surface donnée. Sa mesure ne présente donc pas de difficulté particulière. Il faut, cependant, se fixer un diamètre minimal de pré comptage (généralement de 10 cm pour les études écologiques sur les parcelles comme c'est le cas pour notre étude). Il faut surtout s'assurer que l'échantillonnage soit suffisant, c'est-à-dire que la surface considérée soit assez grande pour que la densité moyenne soit stabilisée (Pascal, 2003 cité par Bondinga, 2014).

d. Biomasse aérienne

Les techniques biométriques (ou allométriques) permettent d'estimer la biomasse des arbres à partir de leur circonférence ou de leur diamètre à 1,30 m. Il existe en effet des relations allométriques qui relient la circonférence des arbres à leur biomasse aérienne ou totale (notamment établies par Chave et *al.*, en 2005). La circonférence (ou le

diamètre) est la seule variable mesurable de l'arbre qui prédit aussi bien la biomasse contenue dans l'arbre (Alangir et Al-Amin, 2008).

L'évaluation de la biomasse forestière basée sur l'utilisation de ces relations allométriques comportera quatre étapes:

- (1) sur le terrain, les mesures des variables d'entrée telles que le diamètre
- (2) le choix d'une forme fonctionnelle appropriée au modèle,
- (3) le choix des valeurs appropriées pour tous les paramètres réglables dans l'équation, et
- (4) le calcul de la biomasse aérienne de chaque arbre, puis la sommation pour obtenir l'estimation globale de la biomasse aérienne du peuplement (AGB).

La biomasse peut être estimée soit par la méthode directe soit par la méthode indirecte en s'appuyant sur les avantages que présente chacune de deux méthodes (Brown 1997 ; Araujo étal. 1999).

Pour cette étude, le calcul de la biomasse aérienne repose sur la méthode non destructive. Cette méthode consiste à chercher une équation de biomasse appropriée et à estimer pour chaque arbre la biomasse en se servant de l'équation choisie, faire le total de la biomasse des arbres dans chaque placette puis multiplier par les facteurs d'expansion (10000m² par superficie) pour obtenir le nombre total de tonne de biomasse à l'hectare et afin divisé la biomasse obtenue par cent pour obtenir le carbone stocké (Albert, 2011). Ainsi, il a été utilisé l'équation allométrique de Chave et *al.*, (2005) ci-dessous :

$$(AGB)_{est} = \rho * \exp (-0,667 + 1,784 * \ln(D) + 0,207 * (\ln(D))^2 - 0,0281 * (\ln(D))^3)$$

(Chave & *al.*, 2005)

AGB est la biomasse aérienne d'un arbre, ρ la densité de bois de l'espèce et D le diamètre.

Les valeurs de ρ utilisées pour cette étude ont été obtenues dans Global Wood density data base, où les valeurs de ρ sont déterminées au niveau de l'espèce ou genre, ou au niveau de la famille.

e. Stock de carbone aérien

Le stock de carbone est calculé en divisant la biomasse de moitié.

Carbone = $\frac{\text{Biomasse}}{2}$ ou en multipliant la biomasse par un facteur de conversion(CF) de 0,5.



2.3.3.2. Paramètres du sol

2.3.3.2.1. Prélèvement des échantillons de sol

Pour notre étude, le prélèvement des échantillons s'est déroulé en deux étapes suivantes :

✓ Les échantillons du sol prélevé à l'aide d'une tarière

Les échantillons ont été prélevés à l'aide d'une tarière manuelle par tranche de 10 cm jusqu'à 30cm de profondeur du sol pour évaluer la dynamique de carbone du sol en fonction de la profondeur sur ces trente premiers centimètres du sol. Dans chaque parcelle (unité de sondage) de superficie de 50 m x50 m (2500 m²).

Ces échantillons de sol, pris à trois niveaux de profondeurs et à quatre direction sous la canopée (N, S, E, O) ont permis de doser la teneur en C organique du sol.

Au total, 12 échantillons ont été prélevés par unité de sondage, ce qui correspond à un total de 48 échantillons par peuplements et 144 échantillons pour l'ensemble des trois peuplements étudiés.

Tous ces échantillons ont été conditionnés / séchés à l'air libre au laboratoire de pédologie de la Faculté de Gestion des Ressources Naturelles Renouvelables. Ils ont ensuite été broyés et tamisé pour servir ultérieurement au dosage de la teneur en Carbone organique du sol.

✓ Les échantillons du sol prélevé à l'aide d'un cylindre de Kopecky

Des échantillons de sol ont été prélevés à l'aide d'un cylindre de Kopecky pour déterminer la densité apparente. Pour chaque unité de sondage, ces échantillons ont été collectés dans les quatre directions géographiques sous les cimes des mêmes individus de *G. dewevrei* où les sols ont été prélevés à l'aide de la tarière .Le groupe de figure3 nous illustre le prélèvement du sol à l'aide d'un cylindre de Kopecky



Figure 1 : illustre l'image du prélèvement du sol moyennant un cylindre

Ces échantillons ont été pesés à l'aide d'une balance de précision puis placés dans une étuve à une température de 105°C. Ils ont ensuite été retirés de l'étuve et mis dans le dessiccateur pendant deux heures pour un refroidissement avant d'être à nouveau peser .Le poids sec obtenu a permis de déterminer la biomasse sèche et déduire la teneur en carbone organique du sol puis le stock de carbone organique du sol.

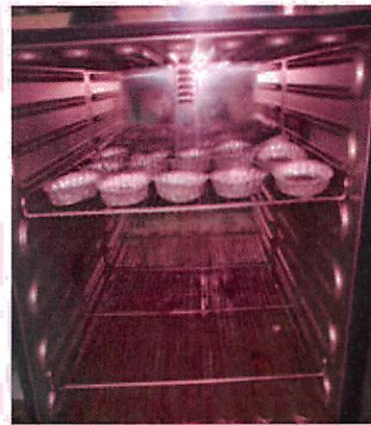


Figure 2 : Pesée et Séchage de l'échantillon

La densité apparente du sol est indispensable pour convertir les concentrations en stocks de carbone . Cette densité est déterminée par la formule suivante:

$D_a = \frac{m_s}{V_T} \text{ en } (\frac{g}{cm^3})$ où D_a : densité apparente et m_s : masse du sol séché (en g) et V_T : volume total (cm^3) = volume du vide + volume du cylindre.

Le volume du vide est obtenu par la relation suivante :

$V_v = m_f - m_s$ où m_f : masse du sol frais et m_s : masse du sol séché (en g).

2.3.3.2.2. Détermination du stock de Carbone Méthode de perte au feu (selon ALLEN, 1974)

Pour déterminer le teneur puis le stock de carbone organique, nous avons utilisés la méthode de perte au feu.

A. Principe

La mesure de la perte au feu (PAF) donne une indication sur le taux de matière organique et la teneur en carbone organique (Corg) du sol. L'échantillon de sol est brûlé à haute température (450°C) : le matériel organique est détruit et dégagé sous forme de gaz carbonique (CO₂) et de vapeur d'eau. Après combustion, il ne reste que la fraction minérale du sol dans le récipient.

B. La méthode

a. Matériel :

Nous avons utilisés quelques matériels dont :

- ✓ **Creusets en porcelaine** qu'il faudra marquer au crayon sur la partie rugueuse sous le creuset. Il est donc inutile de noter des numéros au feutre sur la paroi lisse du creuset car ceux-ci disparaissent en cours de "cuisson".
- ✓ **Balance analytique**, précision 0.0001 g.
- ✓ **Dessiccateur**.
- ✓ **Étuve à 105 °C**.
- ✓ **Four à mouffles** pouvant atteindre une température adéquate.

b. Mode opératoire :

▪ Échantillon de départ

Par gain de temps il est préférable de couplé d'emblée l'analyse de la perte au feu et celle du taux d'humidité/teneur en eau en pesant les échantillons de sol séché à l'air ou de sol frais directement dans les creusets en porcelaine.

Le sol est séché à l'étuve en 105°C.

La prise d'essai est de **10 g pour le sol**. Dans tous les cas, ne pas dépasser les $\frac{3}{4}$ de la contenance du creuset.

▪ Procédure

- Prendre un creuset en porcelaine préalablement séché à l'étuve puis refroidi en dessiccateur et pesé.
- Noter sa masse "C", en g.

- Peser une prise d'essai de sol (si la teneur en eau a été directement faite dans des creusets, sauter cette étape).
- Noter la masse "A" exacte de l'échantillon,
- Utiliser l'échantillon ayant déjà passé à 105°C, refroidi en dessiccateur et pesé.
- Pour les sols très organiques, l'expérience commence à four froid. Cette condition est moins importante pour les autres types de sols. Nous recommandons d'ailleurs de toujours effectuer la perte au feu dans le four déjà à la température désirée afin de permettre d'effectuer les analyses en série tout en garantissant des conditions comparables de calcination.
- Dès que le four a atteint 450°C, brûler l'échantillon durant 2 heures.
- Pour des échantillons très organiques et peu argileux, on peut porter le temps de calcination à 4heures. De même, si le départ de l'expérience se fait à four froid, on comptera 4 heures plutôt que 2 afin de garantir la calcination de toutes les matières organiques contenues dans l'échantillon.
- Placer les échantillons en dessiccateur dès que possible
- Après refroidissement en dessiccateur, peser à nouveau le creuset et les cendres. Noter sa masse "B".

Pour cette étude, nous avons procédé à la pesée de 20g d'échantillon de sol que l'on place dans l'étuve pour sécher pendant une heure puis on prend 10g de chacun de ces échantillons que l'on place ensuite dans des creusets pour la calcination.

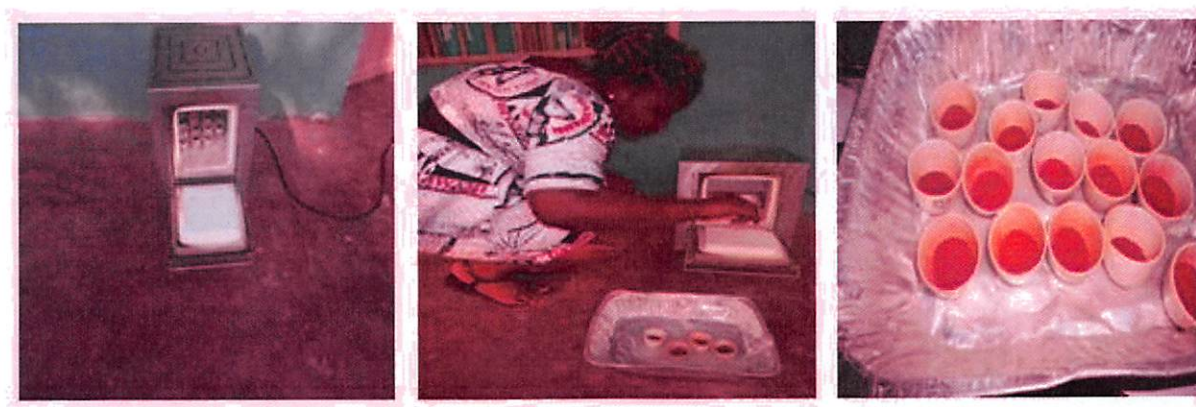


Figure 3 : Calcination et retrait de l'échant du four à moufle

Après cette opération vient celle du refroidissement dans le dessiccateur pendant 2heures et de la pesée de l'échantillon pour avoir la masse sèche.



Figure 4 : Refroidissement des échantillons et pesée de l'échantillon après calcination

2.3.3.2.2. Calculs

A. Détermination de la matière organique

Pour déterminer la teneur en Matière organique (MO), la formule suivante a été utilisée :

$$\text{Perte au feu (\% de poids sec) PAF} = \frac{(A-B) \times 100}{A} = \text{MO}$$

Avec :

A = Masse de l'échantillon à 105°C, en grammes sans le creuset

B = Masse des cendres, en grammes sans le creuset

B. Détermination de la teneur en Carbone organique du sol

La teneur en Carbone organique du sol (COS) a été obtenue par la formule suivante :

$$\text{La teneur en Carbone organique du sol COS} = \text{MO} / 1,724 = \text{MO} \times 0,58 (\text{Allen 1974})$$

C. Détermination du stock de carbone organique du sol

Le Stock de carbone du sol s'obtient par la formule suivante (t/ha)=

$$\text{Stock de carbone du sol (t/ha)} = \frac{Da \times \%COS \times S \times p}{100}$$

Avec :

Da : densité apparente en tonnes/m³ ;

%COS : teneur en carbone organique du sol ;

S : surface en m² ;

p : profondeur en

2.3.4. Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées en se servant du logiciel R version 2.10.0 (R Development CoreTeam, 2009). Les analyses réalisées sont les suivantes :

a. Test de comparaison des moyennes

L'analyse de la variance, qui est un test paramétrique, a été employée pour comparer les moyennes, notamment des surfaces terrières, de biomasse et carbone aérien, de densité apparente du sol, de teneur et stock de carbone organique du sol entre les trois peuplements forestiers en étude. Lorsque l'analyse de la variance s'était avérée significative, le test post-hoc de comparaison multiple de Tukey a été utilisé pour déceler ces différences.

b. Signification d'un test

Pour décider de la signification d'un test, nous nous sommes référés à la valeur de la statistique (p-value) fournit par le logiciel R à l'issue de chaque analyse :

- si $p\text{-value} \geq 5 \%$: différence non significative ;
- si $p\text{-value} < 5 \%$, $< 1 \%$ et $< 0,1 \%$: respectivement différence significative, très significative et hautement significative (Ibanda, 2012)

Chapitre 3: Présentation des résultats

A l'issue des inventaires et de mesurage de l'espèce ciblée, nous traitons dans ce chapitre des résultats obtenus. Dans un premier temps, nous abordons les aspects généraux de la densité et surface terrière. Ensuite, nous aborderons l'aspect de la biomasse aérienne et stock de COS au cours duquel nous présentons la dynamique de Carbone aérien et COS par rapport à la profondeur dans les trois peuplements. Enfin, nous résumons la relation existant entre le carbone organique du sol, le carbone aérien et les autres paramètres.

3.1. Densité et surface terrière

Les résultats de la densité et de la surface terrière des individus inventoriés sont repris dans le groupe de figures 7 et les tableaux 2 et 3. La figure à gauche donne des informations sur la répartition de la surface terrière par classe de diamètre.

Au total, 109 arbres ont été mesurés et étiquetés dans l'ensemble des parcelles étudiées (3ha) (figure 7 à gauche). Ils sont répartis comme suit : 29 individus dans le peuplement 1, 40 dans le peuplement 2 et le peuplement 3.

La surface terrière varie de 5,66 (peuplement 3) à 11,93 m²/ha (peuplement 2) pour une moyenne de 8,38 m²/ha. Cette différence de surface terrière est significative au regard des résultats de l'analyse de la variance consignés dans le tableau 2 et du test post-hoc de Tukey repris dans le tableau 3 qui indique que le peuplement 2 diffère significativement du peuplement 3 (p-value = 0,04 < 5%).

En considérant les classes de diamètre, la figure 8 montre que les accroissements en surface terrière augmentent sensiblement à partir des classes 10-11, suivies des classes 8-9, puis les classes 3-5-6 ; enfin, viennent les autres classes.

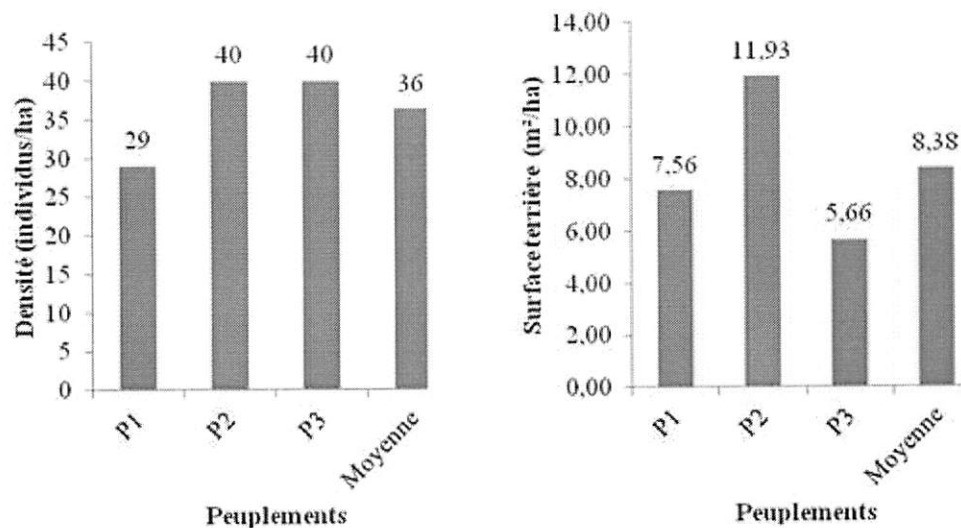


Figure 5 : Densité (gauche) et surface terrière (droite) de 3 peuplements à *G. dewevrei* inventoriés.

Tableau 2 : Résumé de l'Analyse de la variance de comparaison des moyennes de surface terrière entre les peuplements

	Degré de liberté	Somme de carrés	Carré moyen	F calculé	p-value
Peuplements	2	0,53	0,26	3,22	0,04 *
Résiduels	106	8,67	0,08		

Tableau 3 : Test post-hoc de Tukey de comparaison multiple des moyennes des surfaces terrières entre les peuplements

Peuplements	Paramètres du test			p-value
	Diff (moyenne)	Lwr (minimum)	Upr (maximum)	
P2-P1	0,04	-0,13	0,20	0,85
P3-P1	-0,12	-0,28	0,05	0,21
P3-P2	-0,16	-0,31	0,00	0,04

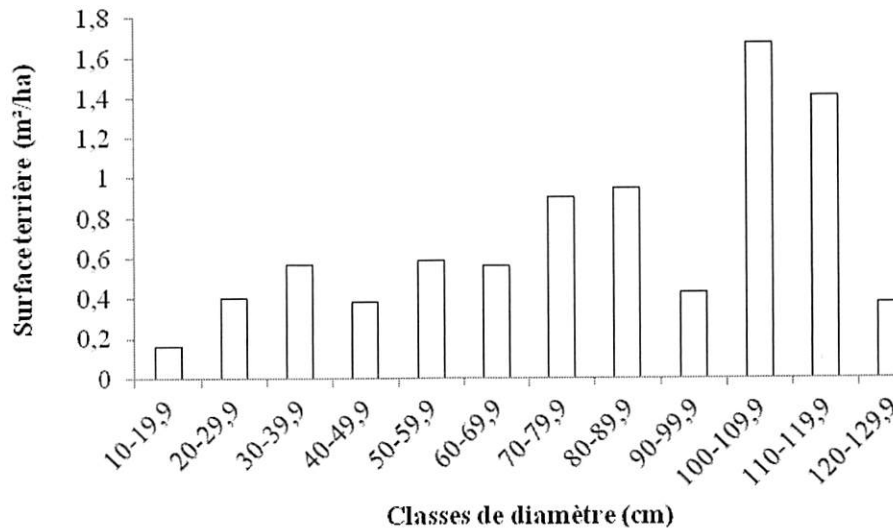


Figure 6 : Répartition de surface terrière en classes de diamètre

3.2. Structure diamétrique

La figure 9 présente la structure diamétrique de trois peuplements étudiés. D'une manière générale, le nombre d'individus diminue très rapidement avec l'augmentation de classes de diamètre. Ces forêts monodominantes à *G. dewevrei* présentent des distributions diamétriques typiques de forêts tropicales non perturbées, avec une structure en décroissance exponentielle ou *J* inversé. Il se remarque que les trois premières classes représentent plus de la moitié des individus inventoriés dans l'ensemble. En effet, la classe 1 renferme 24 individus, suivie de la classe 2 avec 23 individus et de la classe 3 avec 18 individus ; ce qui représente un effectif total de 65 individus sur 109 (soit 59,63%).

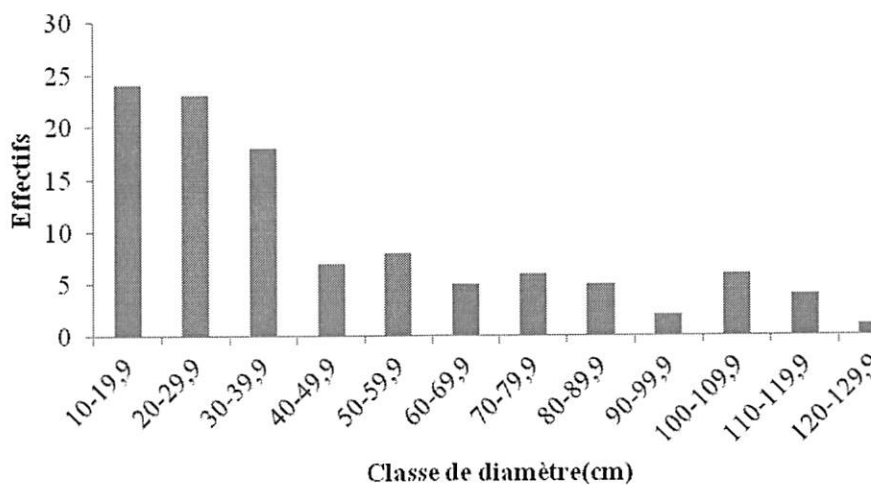


Figure 7 : Structure diamétrique de *G. dewevrei*

3.3. Biomasse aérienne et Carbone aérien

Cette section présente les résultats obtenus sur la biomasse aérienne et le stock de carbone aérien.

3.3.1. Stock de carbone et biomasse aérienne

Le tableau 4 reprend les résultats relatifs au stock de carbone et biomasse aérienne des trois peuplements étudiés.

Tableau 4 : Stock de carbone aérien et biomasse aérienne des peuplements étudiés

	Biomasse aérienne(t/ha)	Carbone aérien(t/ha)
Peuplement 1	67,71 ± 2,63	33,86 ± 1,32
Peuplement 2	107,31 ± 2,81	53,56 ± 1,49
Peuplement 3	49,83 ± 2,09	24,92 ± 1,05
Moyenne	74,95±1,32	37,44 ± 2,65

Le tableau 4 ci-dessus montre la variation du stock et de la biomasse sous différents peuplements. Il ressort de cette étude que la biomasse moyenne enregistrée est de 74,95 t/ha variant entre 49,83 t/ha (peuplement 3) et 107,31 t/ha (peuplement 2). Consécutivement, le stock de carbone moyen de chacun des peuplements est la moitié de la biomasse obtenue.

La figure 10 présente la distribution des valeurs de biomasse par peuplement. L'analyse de la variance réalisée indique qu'il existe des différences significatives de biomasse entre ces peuplements (tableau 5), notamment entre le peuplement 2 et le peuplement 3 tel que l'indique les résultats du test post-hoc de Tukey (p-value = 0,04) (tableau 6).

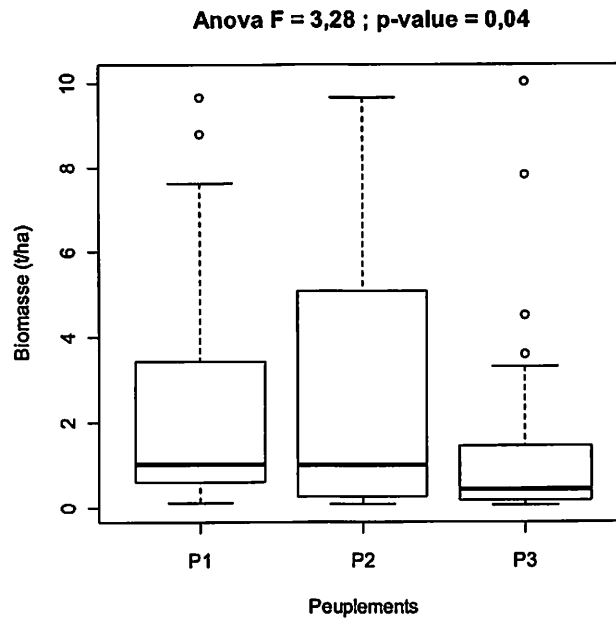


Figure 8 : Distribution des valeurs de la biomasse par peuplements

La boîte représente l'intervalle dans lequel sont regroupés 50 % des biomasses et la barre épaisse à l'intérieur de la boîte indique la biomasse moyenne ; la barre basse indique la biomasse minimale et la barre haute la biomasse maximale.

Tableau 5 : Résumé de l'Analyse de la variance de comparaison des moyennes de biomasse entre les peuplements

	Degré de liberté	Somme de carrés	Carré moyen	F calculé	p-value
Peuplements	2	44,22	22,10	3,28	0,04
Résiduels	106	714,26	6,73		

Tableau 6 : Test post-hoc de Tukey de comparaison multiple des moyennes des biomasses aériennes entre les peuplements

Peuplements	Paramètres du test			p-value
	Diff (moyenne)	Lwr (minimum)	Upr (maximum)	
P2-P1	0,34	-1,15	1,85	0,84
P3-P1	-1,08	-2,59	0,41	0,20
P3-P2	-1,43	-2,81	-0,05	0,03

3.3.2 Répartition de la biomasse par classes de diamètre

La figure 11 présente les résultats de la répartition de la biomasse par classe de diamètre.

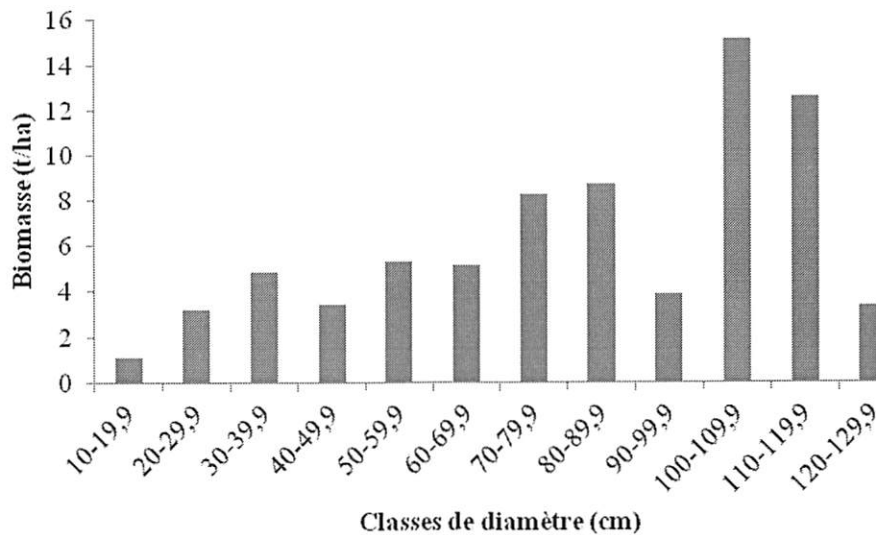


Figure 9 : Répartition de la biomasse par classes de diamètre des individus inventoriés

La figure 15 repartie la biomasse par classe de diamètre et montre que les classes 10 et 11 contiennent la biomasse la plus élevée contrairement à la classe 1 où la biomasse est la plus faible. On peut également observer, en se référant à la figure 13 relative à la densité que les classes diamétriques avec les plus d'individus par conséquent de faible diamètre (à l'occurrence les classes 1, 2 et 3) renferment une faible biomasse comparativement aux classes où les individus sont moins nombreux et de gros diamètre.

3.3.3. Densité apparente, stock et teneur en Carbone organique du sol

Ce point reprend les résultats en rapport avec la densité apparente, le stock et la teneur en Carbone organique du sol. Il reprend également les résultats des analyses de la variance et des tests post-hoc de Tukey pour comparer les moyennes des paramètres analysés par peuplement.

Tableau 7 : Densité apparente, teneur et stock en carbone organique du sol (COS)

	Densité apparente (t/m ³)	Teneur en COS(g)	Stock de COS (t/ha)
Peuplement 1	0,98 ± 0,11	2,63 ± 2,29	25,94 ± 23,78
Peuplement 2	0,88 ± 0,16	2,32 ± 0,77	20,34 ± 7,66
Peuplement 3	0,81 ± 0,12	2,51 ± 0,97	20,37 ± 9,19
Moyenne	0,89 ± 0,15	2,49 ± 1,50	22,22 ± 15,49

Les résultats consignés dans le tableau 7 montrent les valeurs moyennes de densité apparente, de teneur et de stock de COS qui sont respectivement de 0,89 t/m³, 2,49 g et 22,22 t/ha. Le peuplement 1 présente la plus grande moyenne pour ces trois paramètres que les deux derniers peuplements. L'analyse de la variance indique qu'il existe des différences significatives de moyennes de densité apparente entre les peuplements étudiés (tableau 8). Le test post-hoc de Tukey (tableau 9) montre que les densités apparentes moyennes de ces trois peuplements sont significativement différentes. Par contre, les moyennes de teneur en COS et de stock en COS ne montrent pas de différence significative comme l'indique les résultats de l'analyse consignés respectivement dans les tableaux 10 et 11.

Tableau 8 : Résumé de l'Analyse de la variance de comparaison des moyennes de la densité apparente entre les peuplements

	Degré de liberté	Somme de carrés	Carré moyen	F calculé	p-value
Peuplements	2	0,71	0,35	20,98	1,05e-08 ***
Résiduels	141	2,39	0,01		

Le tableau 8 de l'analyse post-Anova montre qu'il n'y a pas une différence significative entre la teneur en Carbone du sol et les peuplements avec une P-value de 1,05 supérieure à 0,05.

Tableau 9 : Test post-hoc de Tukey de comparaison multiple des moyennes des densités apparente entre les peuplements

Peuplements	Paramètres du test			p-value
	Diff (moyenne)	Lwr (minimum)	Upr (maximum)	
P2-P1	- 0,10	- 0,16	- 0,03	0,0007
P3-P1	- 0,17	- 0,23	- 0,10	0,00
P3-P2	- 0,07	- 0,13	- 0,007	0,02

Tableau 10 : Résumé de l'Analyse de la variance de comparaison des moyennes de teneur en carbone du sol entre les peuplements

	Degré de liberté	Somme de carrés	Carré moyen	F calculé	p-value
Peuplements	2	2,41	1,20	0,53	0,58
Résiduels	141	317,81	2,25		

Tableau 11 : Résumé de l'Analyse de la variance de comparaison des moyennes de Stock de carbone du sol entre les peuplements

	Degré de liberté	Somme de carrés	Carré moyen	F calculé	p-value
Peuplements	2	997	498,67	2,1105	0,125
Résiduels	141	33316	236,28		

3.3.4. Evaluation du stock de COS par rapport à la profondeur

L'évaluation du stock de COS est reprise dans le tableau 11 alors que la figure 16 présente la dispersion des valeurs de stock de COS en fonction de la profondeur.

Tableau 12 : Stock de COS par rapport à la profondeur du sol

Peuplements	Stock de COS (t/ha)		
	Profondeur 10	Profondeur 20	Profondeur 30
Peuplement 1	32,92 ± 34,04	21,25 ± 4,73	23,65 ± 22,58
Peuplement 2	22,65 ± 8,34	18,42 ± 5,82	19,96 ± 8,41
Peuplement 3	22,24 ± 12,55	20,42 ± 6,87	18,46 ± 7,23
Moyenne	25,94 ± 21,26	20,03 ± 5,87	20,69 ± 14,38

Le tableau 11 montre que la profondeur de 10-20 cm du sol, stocke de COS (25,94 t/ha) par rapport à la profondeur de 10-20 cm et de 20-30 cm. Ces moyennes ne sont pas significativement différentes au regard des résultats de l'analyse de la variance dont le résumé est consigné dans le tableau 12.

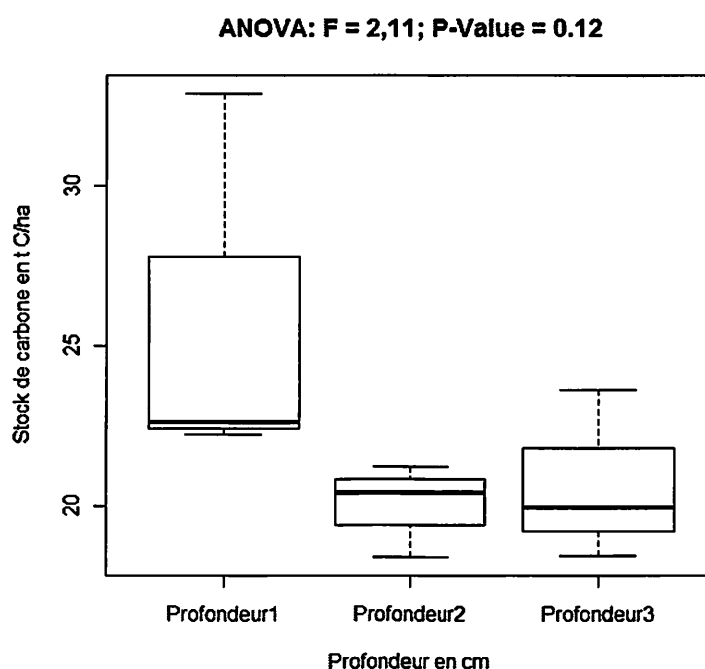


Figure 10 : Dispersion des valeurs de biomasse (t/ha) des espèces pour les trois peuplements à *G. dewivreii*.

Figure 12 : La boîte à moustache montre qu'il y a une forte hétérogénéité en stock de Carbone sur la profondeur allant de 0-10 cm sur les différents peuplements (le max se trouvant dans la profondeur 1, le min dans la profondeur 3 et la médiane dans la profondeur 2. Figure 16. Dispersion des valeurs de biomasse (t/ha) des espèces pour les trois peuplements à *G. dewivreii*.

Tableau 13 : Résumé de l'Analyse de la variance de comparaison des moyennes de Stock de C par profondeur

	Degré de liberté	Somme de carrés	Carré moyen	F calculée	P-value
Profondeur	2	1005	502,52	2,12	0,12
Résiduels	141	33308	236,28		

3.4. Relation entre les paramètres

Dans ce point, il est question de ressortir la relation qui existe entre la biomasse, le stock de carbone et certains paramètres dendrométriques.

Le tableau 14 et 15, présentent respectivement les coefficients de corrélation et les valeurs de leur probabilité (p-value) indiquant la signification de ces coefficients. Il ressort du tableau 13 que la relation entre la biomasse aérienne, le carbone aérien et le stock ainsi que la teneur en COS est faible, proche de zéro. En outre, le tableau 15 qui reprend les résultats du test de corrélation entre ces paramètres indique que ces relations ne sont statistiquement significatives. Il en est de même de la relation entre le DHP, la ST et les paramètres susmentionnés.

Tableau 14 : Coefficients de corrélation entre les paramètres

	Biomasse aérienne	Carbone aérien	Densité apparente	DHP	ST	Stock COS	Teneur COS
Biomasse aérienne	1						
Carbone aérien	1	1					
Densité apparente	-0,18	-0,18	1				
DHP	0,92	0,92	0,1	1			
ST	1	1	-0,19	0,92	1		
Stock COS	-0,03	-0,03	0,45	0,21	-0,03	1	
Teneur COS	0,06	0,06	-0,01	0,2	0,07	0,88	1

Tableau 15 : Valeurs de probabilité des coefficients de corrélation

	Biomasse aérienne	Carbone aérien	Densité apparente	DHP	ST	Stock COS	Teneur COS
Biomasse aérienne	-						
Carbone aérien	0	-					
Densité apparente	0,57	0,57	-				
DHP	0	0	0,75	-			
ST	0	0	0,56	0	-		
Stock COS	0,92	0,92	0,14	0,51	0,92	-	
Teneur COS	0,85	0,85	0,99	0,54	0,83	0,0001	-

Chapitre 4: Discussion des Résultats

Au cours de cette étude, nous avons travaillé dans trois peuplements subdivisés en douze parcelles de 50 m × 50 m pour une superficie totale de trois hectares où tous les individus de *G. dewevrei* ont été inventoriés et mesurés. En plus, la densité apparente et la teneur en carbone organique du sol ont été dosées au laboratoire.

4.1. Densité et surface terrière

La densité et la surface terrière sont deux attributs structurels qui renseignent sur la couverture de la forêt et son état (Bogaert et Mahamane, 2005 in Imani et *al.*, 2016). La densité obtenue dans le site de Yoko pour notre étude a été de 109 individus pour trois peuplements (trois hectares) dont 29 individus pour le peuplement 1 ; 40 pour les peuplements 2 et 3 avec respectivement pour ces trois peuplements 7,56 ; 11,93 ; 5,66 m²/ha. La moyenne de densité et surface terrière des peuplements à *G. dewevrei* est de 36 tiges/ha et une surface terrière moyenne est de 8,38 m²/ha.

La comparaison de nos résultats avec ceux trouvés dans les forêts monodominantes à *Gilbertiodendron dewevrei* d'ailleurs illustre ce qui suit (tableau 16).

Tableau 16 : Comparaison des résultats

Auteurs	Site	Superficie inventoriée (ha)	Densité (tiges/ha)
Masiala (2009)	Yoko	3	18
Wasingya (2013)	Uma(TF)	3	84
Wasingya (2013)	Uma(SH)	3	98
Sabongo (2015)	Lenda	2	124
Sabongo (2015)	Masako	2	41
Sabongo (2015)	Yoko	2	60
Présente étude	Yoko	3	36

Les densités moyennes dans notre site sont différentes de celles observées à Uma par Wasingya, (2013) et par d'autres chercheurs tels que ; Masiala (2009) et Sabongo (2015). Lorsqu'on considère les inventaires de toutes les tiges, dans les forêts tropicales, les densités des arbres d'au moins 10 cm de dhp varient entre 300 et 700 arbres/ha (Richards, 1996 in Masiala, 2009). Cette moyenne correspond à plus environ 400 arbres/ha pour les arbres compris entre 10 cm et 30 cm et environ 100 arbres pour les arbres d'au moins 30 cm de dhp (Senterre, 2005).

Les valeurs obtenues dans ce travail et dans les travaux de nos prédécesseurs ne présentent pas de différence significative même si la méthodologie n'a pas été la même. La faible densité dans les forêts à *G.dewevrei* est essentiellement due à la forme imposante des individus de cette espèce atteignant de gros diamètres, et aussi à sa large couronne qui ne permet pas aux autres espèces de s'installer et émerger, et enfin, aux petites classes de diamètres qui confirment les résultats obtenus à Uma et à Yoko (Masiala, 2009, Wasingya, 2013 et Sabongo, 2015).

Les surfaces terrières obtenues par notre étude étaient de 5,66 à 11,93 m²/ha, avec une moyenne de 8,38 m²/ha dans les peuplements mododominants à *Gilbertiodendron dewevrei*. Les résultats de surface terrière des individus de *G. dewevrei* obtenus par Sabongo varient entre 22,5 m²/ha (Yoko) à 32,30 m²/ha (Lenda). En rapport avec les classes diamétriques, on remarque que, ce n'est pas forcément la forêt qui a plus d'individus qui peut avoir une grande valeur de la surface terrière. Cela s'explique par le fait que les forêts à forte densité ont souvent les individus à petit diamètre par rapport aux forêts à petite densité où les individus ont de l'espace pour grossir et atteindre de gros diamètres. Dans une forêt à forte densité, la compétition est plus intense que dans une forêt à faible densité. Cette hypothèse est confirmée par Lokombe (2004) qui dit que dans une forêt à forte densité, les arbres sont en grande compétition à la recherche de la lumière, ce qui fait que, les plus forts atteignent la canopée, mais avec une grosseur relativement faible.

4.2. Estimation du stockage de carbone dans les peuplements

4.2.1. Biomasse totale et carbone aérien

Plusieurs études ayant été menées en forêt tropicale ont tenté à prédire la biomasse des arbres en fonction du diamètre à hauteur de la poitrine et parfois, la hauteur totale des arbres.

Elles ont montré que la biomasse varie selon les types de forêts et dans une même forêt, d'une espèce à l'autre.

Certains auteurs estiment que la biomasse peut être calculée en fonction de diamètre uniquement (la hauteur est facultative) (Kurniatum et al., 2001, Keller et al., 2001 in Kahindo 2009).

D'autres ont démontré que la biomasse estimée (Best) équivaut au produit du facteur d'expansion de la biomasse (BEF), de la densité (ρ en g/cm³), du diamètre au carré (D^2 en cm) et la hauteur totale des arbres (H en m) par exemple : $Best \equiv 0,0694 \times \rho D^2 H$ (Dawkins

1961), Best = 0, 0430 ($\rho D^2 H$) 0,950 (Later, Ogawa et al., 1965), Best \equiv 0, 0509 x $\rho D^2 H$ (Chave et al., 2005).

Dans le cadre de cette étude, la biomasse était estimée en partant du dhp des arbres par la relation ci-après :

$$(AGB)_{est} = \varphi * \exp (-0,667 + 1,784 * \ln(D) + 0,207 * (\ln(D))^2 - 0,0281 * (\ln(D))^3)$$

(Chave & al. 2005)

Les valeurs de biomasse et carbone aérien obtenus en tonne par hectare dans cette étude sont de $67,71 \pm 2,63$; $107,31 \pm 2,81$; $49,83 \pm 2,09$ et de $33,86 \pm 1,32$; $53,56 \pm 1,49$; $24,92 \pm 1,05$ dans la forêt monodominante à *Gilbertiodedron dewevrei*. Ces résultats paraissent faibles comparativement aux différentes études menées sur l'évaluation de la biomasse dans la région du Bassin du Congo comme les travaux récents dans la forêt de l'Ituri par Ndamiyehe en 2015 qui trouve 492,54 t/ha dans la forêt monodominante à *Gilbertiodedron dewevrei*. Kearsley (2015) par contre, a trouvé une valeur de biomasse de 162 ± 20 T/ha sur une forêt mature dans la région de Yangambi. Ces différences peuvent être attribuées aux différents facteurs dont notamment ; les techniques d'échantillonnage, la région dans laquelle l'étude a été menée.

Lewis et al., en 2009 a montré que la moyenne de biomasse trouvée dans la partie de la forêt de l'Afrique tropicale de l'Est et celle trouvée dans la partie de l'Afrique tropicale de l'Ouest étaient différentes entre-elles, mais aussi différente par rapport à la partie du Bassin du Congo ; cela en utilisant les même techniques d'évaluation. Il faut aussi noter la différence liée à la forme de la structure diamétrique. Dans notre site d'étude, plus de soixante pourcent des individus étaient incluses dans les classes (1, 2,3), renfermant respectivement 24, 23 et 18 individus ; ce qui représente un effectif total de 65 individus sur 109 (soit 59,63%).

4.2.2. Evaluation du stock de COS

Le stock moyen de COS de notre étude est $22,22 \pm 15,49$ t/ha. Nasi et al., (2008) ont trouvé une moyenne de stock de carbone organique du sol de 38 t C/ha ; ce qui est proche des résultats obtenus par notre étude.

En moyenne, par rapport à la profondeur, il ressort de notre étude que le stock de COS est plus élevé dans les 10 premiers cm du sol, mais ce stock ne varie pas significativement avec la profondeur du sol dans les 30 premiers cm du sol. Il est admis que la profondeur d'échantillonnage est cruciale pour la détermination des teneurs/stock de COS, car selon le type de sol rencontré, la quantité de carbone stocké en profondeur peut varier

considérablement. La teneur en matière organique du sol décroît avec la profondeur, on considère généralement que l'ensemble de la matière organique du sol se trouve dans le premier mètre du sol (Locatelli, 1999) et 68% de la matière organique se trouve dans les 25 premiers centimètres et 91% dans les 50 premiers centimètres. Les hypothèses une et deux sont confirmées selon que le stockage de carbone n'est pas fonction de la profondeur et du peuplement

4.3. Relation entre les paramètres

Il ressort de notre étude que la relation entre la biomasse, le stock de carbone et certains paramètres dendrométriques est quasiment nulle, l'évolution du stock de C du sol ne s'expliquant surement pas avec la progression de la biomasse. Nous constatons que les différentes corrélations sont faibles. On peut donc penser qu'à part la biomasse aérienne, il y a d'autres facteurs qui peuvent influencer le stockage de Carbone dans le sol. Pour Balaguer (2015), le stockage ou non de carbone dans un sol résulte en fait du bilan de deux dynamiques opposées de la matière organique à savoir ; l'humification (qui tend à stocker du carbone) et la minéralisation (qui tend à en déstocker). Ces résultats de stock de COS obtenus peuvent être expliqués par plusieurs facteurs comme l'indique Lagacé (2009), qui explique que les facteurs qui contribuent davantage à l'accumulation de carbone dans les sols sont principalement l'épaisseur de l'humus, la position du site par rapport à la pente et le dépôt. La troisième hypothèse par contre n'est pas confirmée. En effet, il n'existe pas de relation entre le stock de carbone organique du sol, la biomasse aérienne, le stock de carbone aérien et les paramètres dendrométriques.

Conclusion et suggestions

Dans le bassin du Congo, les forêts monodominantes à *G. dewevrei* occupent une place de choix, elles sont les plus répandues et les plus caractéristiques des forêts monodominantes des forêts tropicales humides sempervirentes africaines. Et de ce fait, elles ont suscité une curiosité assez prononcée parmi les écologistes et chercheurs forestiers. C'est dans ce cadre que plusieurs recherches ont été menées pour comprendre l'écologie et les mécanismes conduisant à l'installation de *G. dewevrei* et aussi à l'exclusion des autres espèces dans ces forêts. Il était nécessaire que l'étude de la dynamique de carbone organique du sol et biomasse arienne des forêts monodominantes à *Gilbertiodendron dewevrei* (De Wild.) J. Léonard dans la réserve forestière de Yoko (bloc nord) soit menée.

L'objectif général était de comprendre la relation qui existe entre le stock de carbone du sol, la biomasse aérienne, le stock de carbone aérien et les autres paramètres dendrométriques dans des peuplements monodominants à *Gilbertiodendron dewevrei*

Les résultats obtenus indiquent que :

- Un total de 109 tiges de dhp ≥ 10 cm ont été inventoriées sur trois hectares soit, une densité moyenne de 36 tiges/ha et une surface terrière moyenne est de 16,76 m²/ha.
- La distribution diamétrique dans les trois peuplements est typique des forêts naturelles, une structure en J inversé.
- Les estimations du stockage de carbone ne sont pas différentes selon les peuplements et les profondeurs comme le montre les résultats de l'analyse de la variance. D'autres facteurs sont à prendre en compte dans la dynamique du COS.

Notre étude est la première à étudier la dynamique de carbone organique du sol et biomasse aérienne des forêts monodominantes à *Gilbertiodendron dewevrei* (De Wild.) J. Léonard dans la réserve forestière de Yoko (bloc nord). Elle n'est pas un produit fini, mais plutôt le cheminement d'une recherche qui devrait s'élargir aussi bien sur le point de constituer les nouveaux réservoirs de carbone pour optimiser la séquestration du dit carbone et étendre nos explorations dans d'autres compartiments où se développent ces forêts. Il est évident que plusieurs paramètres qui devraient être abordés afin d'élucider davantage la potentialité qu'ont ces forêts n'ont pas été étudiés.

Nous suggérons que cette étude soit poursuivie dans les recherches ultérieures notamment ; en prenant en compte plusieurs autres paramètres du sol comme la texture, la topographie d'une part et des analyses du sol à des profondeurs plus élevée afin de mieux cerner la dynamique du COS.

Références bibliographiques

- Alamgir, M., Al-Amin, M., 2008. Allometric models to estimate biomass organic carbon stock in forest vegetation. *Journal of Forestry Research* (2008) 19(2):101–106
- Albert A. 2011 : Estimation du stockage de carbone et du volume dans les plantations expérimentales de l'INERA/Yangambi cas de *Symphonia globulifera* L.f et *Mammea africana*. *Mémoire inédit de DES, FSA, p12*
- Allen, 1974 : Manuel de laboratoire _LSV v1.0_09-2007. P4-9
- Alterre B. 2008 : Stockage naturel du carbone : état des lieux des connaissances et estimations régionales. p8
- Amani D.2011 : Détermination de la biomasse retournant au sol par les retombées aériennes et la litière du sol dans la forêt mixte de la Yoko.
- Aubreville A.1949 : Climats, forêts et désertification de l'Afrique Tropicale (Société d'Édition Géographique Maritime et Coloniale).150p.
- Aubreville A.1957 : Echos du Congo Belge. Bois et Forêts des Tropiques n°51 :28-33
- Anderson, J. A. R. 1961: The destruction of *Shorea albida* forest by an unidentified insect. *Emp. For. Rev.* 40: 19-29.
- Balaguer, F., 2015. Carbone organique des sols et pratiques agricoles
- Bola M. ,2013 : Cours de Phytogéographie et Phytosociologie
- Bonginda K. 2014 : Diversité floristique et biomasse aérienne de la forêt de Yasikia (opale, RD. Congo).
- Bourgogne A, 2008: Stockage naturel du carbone: état de lieux de connaissance et estimations régionales. Rapport technique, France .P16
- Brown, B., 1997: Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests
- Chave, J., C. Andalo, S. Brown, M. A. Cairns, J.Q. Chambers, D. Eamus, H. Folster, F. Fromard, N. Higuchi, T. Kira, J.-P. Lescure, B.W. Nelson, H.Ogowa, H. Puig, B. Riéra, T.Yamakura, 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forest. *Oecologia*, Volume 145, pp. 87-99.
- Chave et al., 2006: Regional and phylogenetic variation of wood density across 2456

- Connell, J.H. et Lowman, M.D. 1989: Low- diversity tropical rain forests: Some mechanisms for their existence. *The American Naturalist*, vol.134, N° 1. pp. 88-119.
- Ebuy A. 2009 : Estimation du stockage de carbone dans les plantations de l'INERA à Yangambi (RD Congo), cas d'*Austranella congolensis*, *Gilbertiodendron dewevrei* et *Drypetes macrophylla*. Mémoire DEA, Université de Kisangani. 1 p;
- Davis, T.A.W and P.W.Richards.1934: The vegetation of Moraballi Creek, British Guiana: an ecological Study of a limited area of tropical rain forest part 11.*J.Ecol.*22:106-155
- Eggeling, W.S.1947: Observations on the ecology of the Budongo rain forest, Uganda.*J.Ecol.*34:20-87
- Emilien 2005 : Estimation carbone sol Bénin.
- FAO, 1990. Conservation des ressources génétiques dans l'aménagement des forêts tropicales. Principes et concepts. Rome, Italie, Étude forêts, 107, 101p
- FAO, 2000.Directives pour les évaluations dans les pays tropicaux : Archives documentaires de la FAO, Département de la forêt.85p.
- Fonty, E. 2011 : Etude de l'écologie du *Spirotropis longifolia* DC Baill (Leguminosae – Papilionoideae) Espèce monodominante dans les forêts de Guyane Française. Thèse de doctorat, Université Montpellier II. 208 p.
- Bachelier G: Contribution à l'étude de la minéralisation du carbone des sols
- Gbelu, K., 2011 caractérisations spatiales et temporelles de la respiration du sol en forêt mixte dans la réserve forestière de la YOKO/P.O en RD. Congo.
- Gédéon D. 2014 : la contribution de quelques essences forestières notamment *Gilbertidendron dewevrei*, *Julbernadiaseretii*, *Scorodophloeus zenkeri* et *Priora oxyphylla* sur la biomasse et/ou le stock de carbone qui retourne au sol via les retombées aériennes. (p7- 9)
- Gérard, P. 1960. Étude de la forêt dense à *Gilbertiodendron dewevrei* dans la région de l'Uélé. Publ INEAC, série scient.87. 2009 ; p9
- Germain, R. et Evard, C.1956 : Etude Ecologique et phytosociologique de la forêt en *Brachystegia laurentii*. INEAC (Inst.Nat.Etude Agron. Congo Belge) Sér.Sci67.Brussels.105p.

- Guitet S., 2007. Principales définitions utilisées dans le modèle de l'offre mondiale
- Harris, D.J.2002.: The vascular Plants of the Dzanga-sanga Reserve.Scripta Botanica Belgica.23.274pp
- Hart, T.B.1990: Monospecific dominance in Tropical rain forest. Trends in Ecology and Evolution5:6 -11
- Houghton R 2005: monodominant *Dicymbecorymbosa* (Caesalpinaceae)in Guyana *NewPhytologist*167:543-556p
- Ibanda N.2012 : Etude écologique des forêts semi-caducifoliées à *Gilletiodendron kisanuense*(Vermoesen ex De Wild.) J. Léonard dans la Réserve forestière de Yoko (Ubundu, R.D. Congo). Mémoire inédit de D.E.S, Faculté des sciences, P 15
- Imani M. : Variabilité Structurale Des Peuplements D'arbres En Forêt De Montagne Du Parc National De Kahuzi-Biega Et Ses Environs, RD. Congo. 24p.
- Kahindo M. 2009 : Elaboration des tarifs de cubage et de biomasse pour *Gilbertiodendron dewevrei*(De Wild.) J. Léonard, *Guarea thompsonii* Sprague&Hutch. Et *Scorodophloeus zenkeri*Harms dans la réserve forestière de Yoko (Ubundu,Province Orientale, RDC) 13p
- Kearsley, E. (2015). Carbon storage and functional diversity of tropical rainforest in the Congo Basin. Ph.D. dissertation, Ghent University, Ghent, p. 200
- Kouab.Bégné, S.2009:Organisation de la diversité végétale dans les forêts matures de terre ferme du sud-est Cameroun. Thèse de doctorat. Ecole facultaire du bio ingénieur. Ulb.157p.
- Kahindo, M. 2011 : Potentiel en Produits Forestiers Autres que le Bois d'œuvre dans les formations forestières de la région de Kisangani. Cas des rotins *Eremospathahaullevilleana* De Wild. et *Laccospermasecundi florum*(P. Beauv.) Kuntze de la Réserve Forestière de Yoko (Province Orientale, RD Congo). Thèse de doctorat, Faculté des Sciences, Université de Kisangani. 248 p.

- Kettering et al, 2001, Reduce uncertainty in the use of allometric biomass equation for predicting an above ground tree biomass in mixed secondary forest Ecology and Management, 146, p.p. 199-209.
- Kombebe, M., 2004: Diagnostic de la fertilité des sols dans la cuvette centrale congolaise cas des séries de Yangambi et Yakonde, thèse inédit ; Faculté Universitaire des sciences agronomiques de Gembloux.
- Kouob, S., 2009. Organisation de la diversité végétale dans les forêts matures de terre ferme du sud-est Cameroun. ULB. Faculté des Sciences, École Inter facultaire de Bio ingénieurs, Service d'Écologie du Paysage et Systèmes de Production Végétale. 212 p.rch in Agroforestry.Bogor, Indonesia, 23p
- Kurniatum,H,Sitompul,S.M.,Meine,V.N.,Palm,C.2001.Methods for sampling carbon stocks above and below ground. International center for Research in Agroforestry.Bogor, Indonesia, 23p
- Lebrun, J. & Gilbert, G. 1954. Une classification écologique des forêts du Congo belge, INEAC., Sér. sci. n° 63. 89 p;
- Lewis, S.L., Lopez-Gonzalez, G., Sonké, B., Affum-Baffoe, K., Baker, T.R., Ojo, L.O., Phillips, O.L., Reitsma, J.M., White, L., Comiskey, J.A., Djuikouo, M.-N.K., Ewango, C.E.N., Feldpausch, T.R., Hamilton, A.C., Gloor, M., Hart, T., Hladik, A., Lloyd, J., Lovett, J.C., Makana, J.-R., Malhi, Y., Mbago, F.M., Ndangalasi, H.J., Peacock, J., Peh, K.S.-H., Sheil, D., Sunderland, T., Swaine, M.D., Taplin, J., Taylor, D., Thomas, S.C., Votere, R., Wöll, H., 2009.
- LEJOLY J., M-B Ndjel et Daniel Geerinck et. *al.* 2010 : Catalogue-Flore des plantes vasculaires des districts de Kisangani et de la Tshopo (RD Congo), P
- Likunde, B. ; 1987. Contribution à l'étude floristique de la forêt à *Gilbertiodendron dewevrei* (DE WILD à J. léonard de Yalisombo (Kisangani). Mémoire de licence inédit, Université de Kisangani, Faculté des sciences, 68 p.
- Louis J.1947 : Contribution à l'étude des forêts équatoriales, congolaises in compte rendus de la semaine agricole de Yangambi (26 févr. au 5 mars).INEAC (Inst.Nat.Etude Agron.Congo)

- Lokombe, D. 2004. Caractéristiques dendrométriques et stratégies d'aménagement de la forêt dense humide à *Gilbertiodendron dewevrei* en région de Bengamisa. Thèse de doctorat, IFA Yangambi. 223p;
- Lomba C, 2007.contribution à l'étude de la phytodiversité de la réserve forestière de YOKO, des, UNIKIS, Faculté des sciences, p 60 ;
- Lomba, B.L. &Ndjele, M.B. 1998. Les plantes purgatives utilisées par les Kumu de laYoko. Ann. Fac. Sc. Unikis 11. pp. 47 – 57;
- Lomba, B.L., 2007.Contribution à l'étude de la phytodiversité des ligneux de la réserve forestière de Yoko. Mémoire, D.E.S, UNIKIS, 60p.
- M.L.ngongo : guide des sols en RD.CONGO tom1
- Masiala, G., 2009. Analyse d'une zone de contact de la forêt à *Gilbertiodendron dewevrei* (DeWild.)J. Léonard avec la forêt semi-caducifoliée dans la réserve de la Yoko nord47(RDC). Mémoire inédit de D.E.S. Faculté de sciences, Université de Kisangani.103p;
- Mambani, 2010 : Cours de Pédologie
- Mbura, K (2009) contribution à l'étude de la phytodiversité de ligneux et de la structure diamétrique dans la réserve forestière de la Yoko RD. Congo.
- Muanza A. 2012 : Modélisation de l'évolution du bilan carbone d'un système agroforestier et de sa zone tampon dans le village de Bagbasingbe (Kisangani, Province Orientale, R.D. CONGO) Mémoire inédit de D.E.S. Faculté de sciences, Université de Kisangani. p12.
- Nasi, R., Mayaux, P., Devers, D., Bayol, N., Eba'a, A. R., Mugnier, A., Cassagne, B., Billaud, A., & Sonwa D. 2008. Un aperçu des stocks de carbone et leurs variations dans les forêts du Bassin du Congo.
- Ndjele, M.B, 1998 : les éléments phytogéographiques, endémiques de la flore vasculaire du Zaïre, thèse inédit ; Fac. de SC. ULB. 528 p.
- Ndjoukam, R.1995 : Contribution à l'étude des interactions « essences forestières en croissance rapide et sols des savanes tropicales humides » : cas de la réserve forestière de Mélap(Foumban) au Cameroun. Thèse de doctorat, Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux (Belgique),215p

- Neotropical tree species. *Ecological Applications* 16, 2356–2367.
- Nshimba, SM. 2008. Étude floristique, écologique et phytosociologique des forêts de l'île à Kisangani, RDC, thèse de doctorat ULB, 428 P ;
- Nyakabwa, M. 1982. Phytocénose de l'écosystème urbain de Kisangani. Thèse de Doct. Unikis, Fac. Sc. Vol. 1,2 & 3. 998 p;
- Nyembo F.2012 : Contribution A 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) Mémoire inédit de D.E.S, Faculté des sciences p15
- Rankin,J.M.1978 :The influence of seed predation and plant Competition on tree species abundances in two adjacent tropical rain forest communities in Trinidad,W.I.phd diss.university of Michigan, Ann Ardoor.232p.
- Ross, R.1954: Ecological Studies on the rain forest of southern Nigeria.111. Secondary Succession in the Shasha forest reserve.J.Ecol.42:259-282
- Sabongo, Y.2015. Étude comparative de la structure et de la diversité des forêts à Thèse de Doct-Unikis, Fac .Sc.190p. *Gilbertiodendron dewevrei* (De Wild.) J. Léonard des régions de Kisangani et de l'Ituri (R.D.Congo) ;
- Saint moulin, L. et Kalombo, J. L., 2005. – Atlas de l'organisation administrative de la République Démocratique du Congo, CEPAS – Kinshasa, 235 p;
- Senterre, B. 2005.Recherches méthodologiques pour la typologie de la Végétation et la Phytogéographie des forêts denses d'Afrique Tropicale. Thèse de doct. ULB. Labo. Bot. Syst. & Phyt. 343 p.
- 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.
- Sonké, B.1998 : Etudes floristiques et structurales des forêts de la Réserve de Faune du Dja(Cameroun).Thèse de doctorat, Université Libre de Bruxelles.350p.
- Traissac, S 2003 : Dynamique Spatiale de *vouacapoua americana* (Aublet), arbre de forêt tropicale humide à répartition agrégée. Thèse de doctorat, Université Claude Bernard-Lyon1.193p

- Torti, S.D, Coley, P.D., and Kunsar, T.A.2001: Causes and consequences of monodominance in tropical lowland forests *American Naturalist* 157:147-153
- Tropenbos, 2012 : Le bois à l'ordre du jour
- Vande weghe, J.P.2004 : Forêts d'Afrique centrale Lannoo SA, Tielt-Belgique.307p.
- Voorhoeve, A.G., 1979: Liberian high forest trees. Centre for Agriculture publishing and Documentation, wageningen.461p
- Wasingya, K.2013. Étude floristique et structurale des forêts monodominantes à *Gilbertiodendron dewevrei* (De Wild.) J. Léonard, sur sol hydromorphe et sur terre ferme à Uma (Province Orientale, RD. Congo) .DEA (inédit), Fac. Sc., Unikis.
- Wayne W.; Version 1.0, Juin 2011): Guide de Terrain pour l'Estimation de la Biomasse et le Carbone Forestier
- Whitmore, TC.1998: An Introduction to Tropical Rain Forests, 2è ed. (Oxford University, Wiley et Sons.210p