



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

Diversité Floristique, Structure et Estimation du Stock de Carbone par les Peuplements Ligneux de la Forêt Naturelle de la Mondah

Calvin Dikongo Ndjomba

Ecole Nationale des Eaux et Forêts (ENEF) du Gabon

Félix Koubouana

Irène Marie Cécile Mboukou Kimbatsa, née Goma

Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et de Foresterie (ENSAF) du
Congo Brazzaville

Jean Marc Mabaka

Ferryl Darnel Mbela

Ecole Nationale des Eaux et Forêts (ENEF) du Gabon

[Doi:10.19044/esj.2022.v18n33p75](https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n33p75)

Submitted: 25 April 2022

Accepted: 05 October 2022

Published: 31 October 2022

Copyright 2022 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Ndjomba C.D., Koubouana F., Goma I.M.C.M.K., Mabaka J.M & Mbela F.D. (2022). *Diversité Floristique, Structure et Estimation du Stock de Carbone par les Peuplements Ligneux de la Forêt Naturelle de la Mondah*. European Scientific Journal, ESJ, 18 (33), 75. <https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n33p75>

Résumé

Ce travail a consisté à connaître la diversité floristique et estimer le stock de carbone séquestré dans la biomasse aérienne de la forêt naturelle de la Mondah, située au nord de Libreville, au Gabon. Les données ont été collectées dans 3 parcelles de forme carrée d'un hectare (1ha) chacune. Tous les individus de chaque parcelle, de diamètre à hauteur de poitrine (DHP) supérieur ou égal à 10 cm ont été identifiés et leur diamètre mesuré à l'aide d'un ruban DBH et marqués à la peinture rouge. Sur l'ensemble des 3 ha regroupés, 1019 arbres ont été regroupés en 34 familles et 90 espèces répertoriés et géolocalisés. La méthode non destructrice a été employée pour calculer la valeur de la biomasse aérienne à l'aide des équations allométriques de Fayolle et al. (2013), de Ngomanda et al. (2014) et de Chave et al. (2014). Les résultats obtenus montrent que la famille des Myristicacées sont les plus représentées en termes de nombre d'arbres, suivie de la famille des

Burseracées, Mimosacées, Fabacées, Diptérocarpacées, les Ctelonophonacées et les Méliacées. Les résultats de calcul de la biomasse aérienne ont montré que les équations à deux et trois prédicteurs ont produit des bonnes estimations. L'estimation de la biomasse aérienne a montré aussi que l'équation Ngomanda et al. (2014) était la mieux adaptée en partant du principe selon lequel une bonne équation estime mieux la biomasse quand les valeurs de ses résultats surestiment le moins la biomasse estimée d'une part et utilise les trois prédicteurs (D, H, ρ). L'estimation de stock de carbone séquestré dans la biomasse aérienne de la forêt de la Mondah est de 261,5 tC/ha pour l'équation de Fayolle et al., (2013), de 128,8 tC/ha pour l'équation de Ngomanda et al., (2014) et de 171,1 tC/ha pour celle de Chave et al., (2014). Plusieurs équations allométriques ont été établies pour estimer la biomasse aérienne des forêts. L'intérêt de ce travail est de proposer une démarche pour faire le choix de l'équation pouvant donner une estimation proche de la réalité.

Mots-clés: Forêt naturelle, biomasse, équation allométrique, stocks de carbone, diversité floristique, Gabon

Floristic Diversity and Comparison of Carbon Stock Estimation by Three Allometric Equations in the Natural Forest of Mondah

Calvin Dikongo Ndjomba

Ecole Nationale des Eaux et Forêts (ENEF) du Gabon

Félix Koubouana

Irène Marie Cécile Mboukou Kimbatsa, née Goma

Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et de Foresterie (ENSAF) du
Congo Brazzaville

Jean Marc Mabaka

Ferryl Darnel Mbela

Ecole Nationale des Eaux et Forêts (ENEF) du Gabon

Abstract

This paper focuses on understanding the floristic diversity and estimating the stock of carbon sequestered in the aerial biomass of the Mondah natural forest, located north of Libreville, Gabon. Data were collected in three square plots of one hectare (1ha) each. All individuals in each plot with a diameter at breast height (DBH) greater than or equal to 10 cm were identified, and their diameter was measured with a DBH tape and marked with red paint. Across the 3 ha cluster, 1019 trees were grouped into 34 families and 90

species were recorded and geolocated. The non-destructive method was used to calculate the value of aboveground biomass using the allometric equations of Fayolle et al. (2013), Ngomanda et al. (2014), and Chave et al. (2014). The results obtained show that the Myristicaceae family is mostly represented in terms of number of trees, followed by the Burseraceae, Mimosaceae, Fabaceae, Dipterocarpaceae, Ctelonophonaceae, and the Meliaceae families. The results of the aboveground biomass calculations showed that the two- and three-predictor equations produced good estimates. The aboveground biomass estimation also showed that Ngomanda et al. (2014) equation was the best fit based on the principle that a good equation estimates biomass is best when its output values least overestimated the estimated biomass and uses all three predictors (D, H, ρ). The estimated carbon stock sequestered in the aboveground biomass of the Mondah forest is 261.5 tC/ha for Fayolle et al. (2013) equation, 128.8 tC/ha for Ngomanda et al. (2014) equation, and 171.1 tC/ha for the Chave et al. (2014) equation. Several allometric equations have been established to estimate the aboveground biomass of forests. The interest of this work is to propose an approach to choose the equation that can give an estimate close to reality.

Keywords: Natural forest, biomass, allometric equation, carbon stocks, floristic diversity, Gabon

Introduction

Dans la zone intertropicale, les forêts africaines, après les forêts de l'Amazonie, forment le deuxième plus grand bloc forestier humide au monde, avec un potentiel d'émission élevé de CO₂ associé à la déforestation. Cependant, la quantité de carbone contenue dans ces massifs forestiers est encore mal estimée (WHRC, 2008).

Au niveau du Gabon, pays forestier du bassin du Congo, avec une forêt dense recouvrant plus de 80 % de sa superficie (Mayaux et al., 2004), on peut distinguer trois (3) grands types de forêts denses humides. Parmi lesquels, les forêts littorales, intermédiaires, inondées et les mangroves (PFBC, 2006). Le reste du pays quant à lui, est composé de mosaïques forêts/savanes et de forêts marécageuses.

Sur le littoral du nord de Libreville, se trouve l'Arboretum Raponda-Walker (anciennement Forêt Classée de la Mondah), ayant une superficie de 6747 ha dont environ 20% classée en noyau dur de protection. C'est le principal bloc de forêt de terre ferme de la région nord de Libreville mais également le plus riche du point de vue floristique, notamment en espèces endémiques. Cette richesse est due principalement à la juxtaposition de types forestiers très différents, les forêts très humides du Nord-Ouest (zone dite 'Parcelle des Conservateurs') alternant avec des forêts plus sèches, au Sud et

à l'Est ” (Lachenaud et al., 2013). C'est au sein de cette mosaïque qu'une étude, visant à quantifier la biomasse et les stocks de carbone contenus dans la strate de forêt dense de ce massif, a été réalisée.

A l'heure actuelle, une priorité internationale clignote au rouge et suscite au plus haut point l'intérêt et l'attention du monde scientifique et politique dans la lutte contre les changements climatiques. Le Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'Évolution du Climat (GIEC) estime que 1,7 milliard de tonnes de CO₂ sont rejetées chaque année dans l'atmosphère, non seulement à cause des changements du couvert terrestre mais en grande partie à cause de la déforestation tropicale. Il est extrêmement probable que les activités humaines aient causé la majeure partie de l'augmentation observée des températures moyennes mondiales depuis les années 1950. Une politique intergouvernementale a été envisagée depuis une décennie, celle de conserver intactes les forêts domaniales, réduire l'impact de la déforestation, des exploitations forestières et encourager une baisse d'émissions des Gaz à effet de serre (GES) dues à la combustion des énergies fossiles et à la dégradation des forêts. Le mécanisme REDD+ vise à encourager les pays en développement à préserver leurs massifs forestiers moyennant des compensations financières issues des crédits de carbone (Angelsen et al., 2013).

L'urgence revient donc aux pays couverts d'étendues de forêts surtout ceux du bassin du Congo, d'étudier ces forêts, afin de connaître le potentiel en biomasse et en carbone séquestré par nos massifs forestiers. Parmi lesquels, celui de la forêt de la Mondah qui participe localement sans doute, de façon active à la séquestration du carbone et partant à la diminution du CO₂ atmosphérique par le biais de la photosynthèse car à l'échelle de la planète, les forêts constituent le principal puits de carbone en milieu continental (Vigneron et al., 2021).

Cependant, cette séquestration naturelle se fait en fonction des types de formations végétales et des espèces, sachant que dans leur variété d'espèces, les arbres sont différents en termes d'architecture et la densité du bois (Ketterings et al., 2001). De plus, la quantification de cette séquestration s'évalue à l'aide d'équations allométriques construites. Il importe de noter que l'allométrie ainsi construite n'est seulement valable que pour l'endroit où elle a été établie et pour une gamme donnée de diamètre ou de hauteur, si l'on veut éviter des erreurs. En Afrique tropicale, il a été montré que le choix de l'équation allométrique contribue à environ 76 % de l'erreur totale dans les estimations de la biomasse de l'arbre” (Moundounga Mavouroulou et al., 2014 ; Picard et al., 2015).

Ainsi, conscient du manque de précision des équations allométriques disponibles et des données d'inventaires forestiers à large échelle spatiale, il y

a encore beaucoup d'incertitudes sur les estimations de la biomasse et cela partant des stocks de carbone contenus dans les forêts tropicales africaines (Loubota Panzou et al., 2016).

A l'orée des années 2000, la seule équation locale de biomasse aérienne pour le bassin du Congo semble être celle élaborée par Ibrahima et al. (2002) pour une forêt sempervirente. Une décennie après, deux études réalisées en Afrique centrale ont permis d'établir des équations locales pour l'estimation de la biomasse aérienne des arbres des forêts denses humides de transition du Sud-Est du Cameroun (Fayolle et al., 2013) et du nord-est du Gabon (Ngomanda et al., 2014).

De même, les équations allométriques développées par Chave et al. (2014) (équations à trois prédicteurs) sont plus performantes et robustes que les équations allométriques développées par Feldpausch et al. (2012) (équations à deux prédicteurs). En effet, ces derniers ont récemment effectué une révision des équations allométriques pantropicales en intégrant les données de biomasse pour 4004 arbres dont 1006 arbres d'Afrique tropicale. Et l'utilisation de ces équations (à trois prédicteurs : diamètre, densité du bois, hauteur totale de l'arbre, ou le facteur de stress environnemental) conduit à une précision de 90 % dans les estimations de la biomasse à l'échelle de 0,25 ha dans les forêts tropicales humides (Chave et al., 2014).

L'objectif général de cette étude est de connaître la biodiversité floristique et la biomasse aérienne afin d'estimer le carbone séquestré par la strate de forêt dense de la Mondah. Plus spécifiquement, il s'agit de : i)- d'identifier la biodiversité ; ii)- de déterminer la structure des ligneux et iii)- d'estimer la biomasse et le carbone séquestré par les arbres de la forêt étudiée.

Matériel et Méthodes

Site d'étude

L'Arborétum Raponda-Walker (ARW) créé le 13 octobre 2011 par lors d'un conseil des Ministres, situé au sein de la forêt de la Mondah. Il s'étend sur l'extrémité Nord-Ouest de Libreville. Sa superficie est estimée à environ 6747 ha. Il se situe à l'intérieur d'un rayon de 9 km entre les latitudes 0°31' 52" et 0°35' 54" au Nord et les longitudes 9°18' 39" et 9°19' 45" à l'Est. Ses limites sont définies et publiées officiellement par voie de presse, dans le journal officiel, suivant le Décret n°0460/PR/MEF portant classement de L'Arborétum Raponda-Walker.

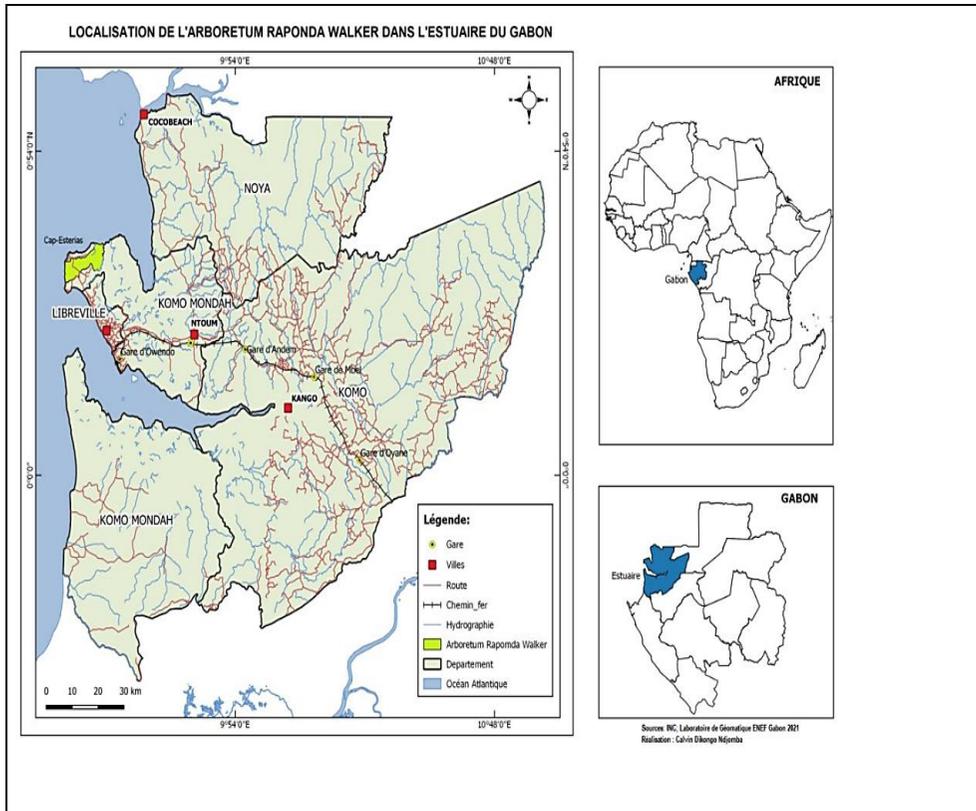


Figure 1. Carte de localisation de l'arboretum Raponda Walker au sein de la forêt de la Mondah.

Source: Données INC et laboratoire de Géomatique ENEF Gabon.

Le climat, sol, hydrographie, topographie, faune, végétation

La zone d'étude est caractérisée par un climat équatorial avec une pluviosité moyenne annuelle de 3000 mm répartie en deux saisons de pluies (octobre à novembre, puis de mars à avril) mais également une grande saison sèche entre Juin et Août (Vande Wenghe, 2005). Ainsi, les températures moyennes annuelles varient entre 25 et 26°C. Les mois les plus chauds vont de Janvier à Mai, avec une température moyenne de 27°C. Selon Loubota Panzou (2018), à l'échelle globale, les précipitations restent un facteur déterminant dans la caractérisation des forêts tropicales. Chave et al. (2005) classent les forêts tropicales en trois groupes suivant leur niveau de précipitation, la forêt de la Mondah appartiendrait donc aux forêts dites « Moist », à cause de sa précipitation moyenne annuelle comprise entre 1500 et 3500 mm d'eau par an.

Les sols du bassin côtier de Libreville sont tantôt sablo-argileux avec 20 à 30% d'argile, tantôt argilo-sableux avec 30 à 45% d'argile (Vande Wenghe, 2005). On note toutefois la présence des podzols dans l'Arboretum

Raponda Walker qui se développent sur des alluvions marnes récentes qui sont reconnaissables à la présence d'une couche de sols brun sombre. Cela est le résultat de l'accumulation d'humus et de fer sous l'action des variations saisonnières du niveau de la nappe phréatique qui est relativement proche du sol. Nous pouvons également noter la présence d'anciennes dalles latéritiques. L'aire de l'Arboretum Raponda Walker se trouve en zone côtière de basse altitude. A l'Ouest, la descente sur la côte est assez abrupte avec des vallées encaissées de profondeur surprenante. Vers l'Est, le terrain se transforme en plaine basses et marécageuses avec des plateaux sableux (Armand Yvon Mengome Ango, 2007). Les rivières sont pour la plupart tributaires de la Tsini qui rejoint la baie de la Mondah à l'Est. Les rivières à l'intérieur de l'Arboretum Raponda Walker ne sont pas importantes ; la quasi-totalité d'entre elles, s'assèchent presque totalement, en saison sèche.

La faune de la forêt de la Mondah est exposée à une très forte pression de chasse et de piégeage par les populations riveraines. Elle y est désormais assez rare. La quasi majorité des espèces de grands mammifères aurait presque disparu de cette forêt, bien qu'au cours de notre excursion, nous avons eu l'occasion de croiser plusieurs empreintes d'animaux à l'exemple de l'antilope cheval, et des petits rongeurs. La présence abondante des pièges dans cette forêt, est un indicateur qui témoigne de l'existence d'une faune devenue discrète. La zone est très fréquentée par les oiseaux migrateurs venant d'autres horizons.

La forêt de la Mondah est qualifiée de forêt très humide à Okoumé (*Aucoumea klaineana*) et comprend plusieurs espèces trouvées nulle part ailleurs au Gabon. C'est le principal bloc de forêt de terre ferme de la région, le plus riche aussi du point de vue floristique, notamment en espèces endémiques : (*Gaertnera spicata*, *Palisota sp. nov.*, *Strephonema sp. nov.* pour les forêts humides et *Acridocarpus vestitus*, *Psychotria wieringae*, *Simirestis klaineana* pour les forêts sèches (Lachenaud et al., 2013). L'Okoumé, tout comme l'Ozigo (*Dacryodes butteneri*) présent également dans la forêt, est aussi une essence quasi endémique au Gabon (Vande Weghe, 2005). Ce massif appartient au groupe des forêts à Okoumé et Ozouga (*Sacoglottis gabonensis*), espèces pionnières de ce type de forêts qui évoluent en forêts matures à Alep (*Desbordia glaucescens*) et Ozigo (Raponda-Walker & Sillans, 1961). D'autres essences comme l'Angoa (*Erismadelphus exsul*), le Dabema (*Piptadeniastrum africanum*), le Mubala (*Pentaclethra macrophylla*), le Tali (*Erythrophleum ivorense*), le Kévazigo (*Piptadeniastrum africanum*), le Sorro (*Scyphocephalium ochocoa*) ou encore l'Eveuss (*Klainedoxa*) sont également bien représentées (Vande Weghe, 2005 ; Wilks, 1990). Ces données sont validées par les inventaires réalisés par l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts (ENEF, 2001) et par les différents organismes à l'exemple de l'Union Européenne et de la GTZ qui ont été

coopérants de l'ENEF. Les forêts littorales de la région de Libreville, bien qu'elles hébergent un nombre significatif d'espèces endémiques ou à répartition restreinte, n'ont jusqu'à présent pas reçu suffisamment d'attention des botanistes. En fait, une grande partie de nos connaissances sur la flore de la région de l'Estuaire provient de récoltes anciennes, notamment celles de Mann (1861), Soyaux (vers 1880), Klaine (vers 1900) et de (Lachenaud et al., 2013).

Méthodes de collecte des données

L'Estimation de la Biomasse et le Carbone Forestier nécessite les échantillons de terrain sont souvent d'une taille fixe et ceux-ci doivent être assez grands pour inclure toute la variabilité locale dans le type et la densité des arbres présents (Walker Wayne et al., 2011). Pour ce travail, le dispositif d'échantillonnage et la méthode de collecte de données ci-dessous ont été utilisés

Dispositif d'échantillonnage

Trois (3) parcelles d'étude dénommées **Parcelles de Forêt Naturelle** (PFN1, PFN2 et PFN3) ont été délimitées le long de la route principale traversant la forêt de Mondah (Figure 2), dans la partie de forêt dense de l'arboretum Raponda Walker dont les coordonnées géographiques sont présentées dans le Tableau 1.

Tableau 1. *Coordonnées des parcelles d'inventaire au sein de l'arboretum Raponda Walker*

Parcelles	Coordonnées géographiques (Système géodésique WGS 84)	
N° Parcelle	Longitude (λ)	Latitude (ϕ)
PFN1	9°20'8.75"E	0°36'11.28"N
PFN2	9°20'10.97"E	0°35'50.49"N
PFN3	9°20'42.17"E	0°34'18.90"N

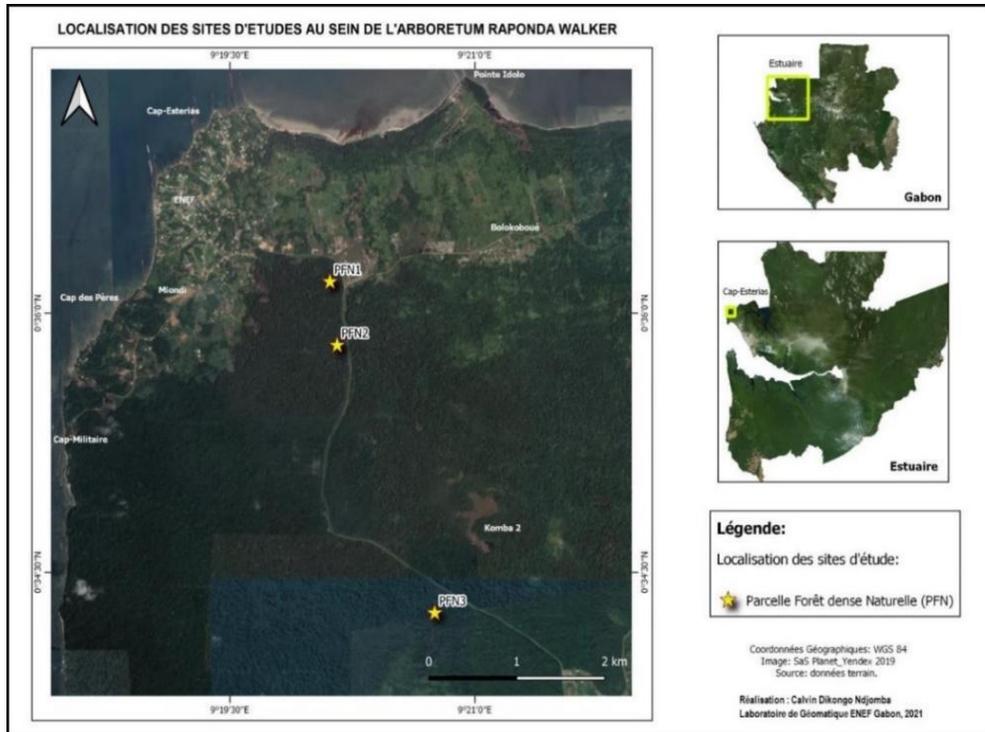


Figure 2. Localisation des sites d'étude (Source : Donnée de terrains, Image SAS. Planet Yendex 2019)

Un total de 3 parcelles de 100 m x 100 m subdivisées en 48 placeaux unitaires de 25 m x 25 m ont été installées dans les sites retenus. Afin d'éviter tout biais dans l'estimation de la biomasse aérienne, trois points, représentant des parcelles de 100 m x 100 m ont été générés et distribués sur l'étendue des zones cibles de l'arboretum Raponda Walker grâce au logiciel ArcGIS 10.4. Ces parcelles ont été installées physiquement sur le terrain afin de procéder à la collecte des données nécessaires au calcul de la biomasse aérienne (Figure 3).

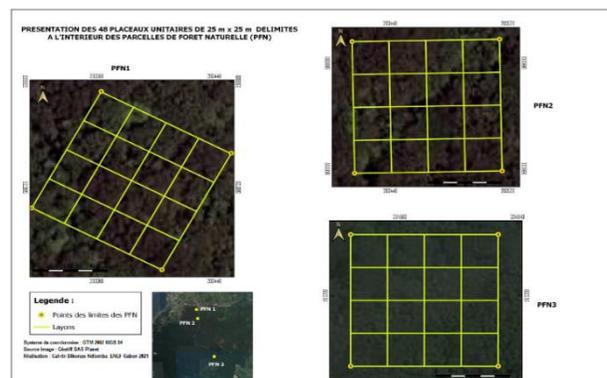


Figure 3. Cartographie des 48 placeaux des 3 parcelles d'inventaires de 1 ha chacune au sein de l'Arboretum Raponda Walker (Source : Donnée de terrains et SAS. Planet 2019)

Afin de s'assurer du balayage complet de chaque parcelle de 1 ha, une orientation d'évolution sur le terrain, de plateau par plateau, dans des sens et directions bien précis, a été retenue et schématisé dans la Figure 4.

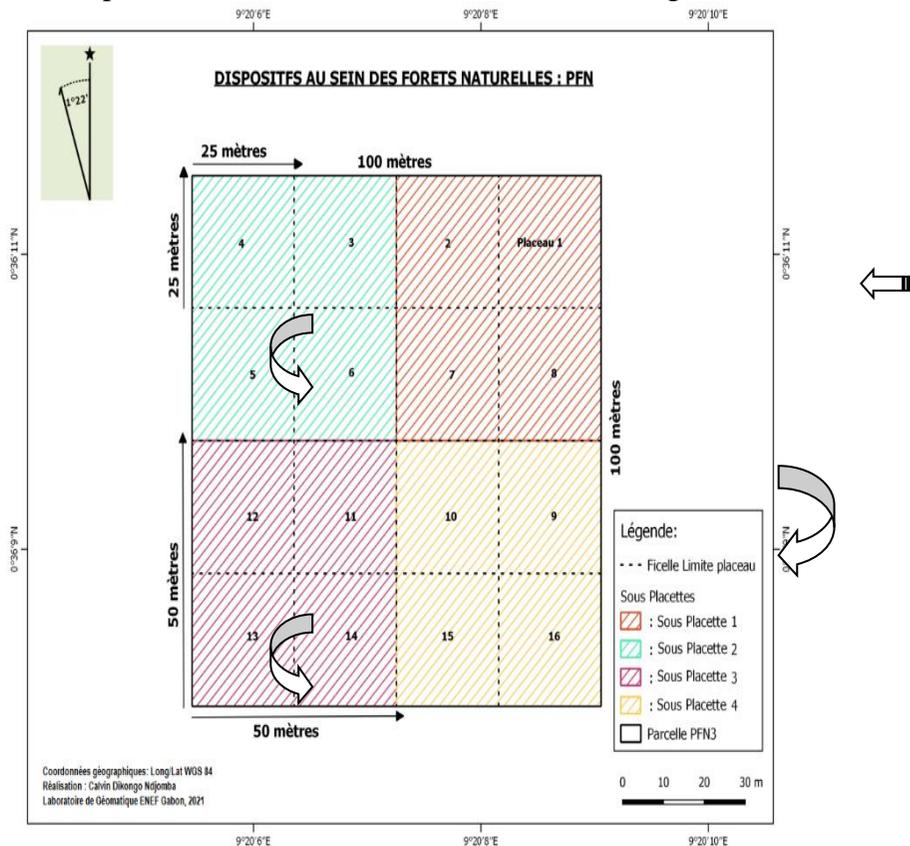


Figure 4. Schémas des parcelles PFN de 1 ha subdivisée en 4 sous placettes et 16 placeaux et le sens des inventaires (Source : Donnée de terrains juillet 2021)

Collecte des données de végétation

La collecte des données a été réalisée sur une période de 3 mois allant de mai à juillet 2021. Les différentes parcelles ont été délimitées à l'aide d'un GPS et d'une boussole. Le chaînage le long des layons de délimitation des parcelles et des plateaux ouverts avec une machette, a été fait avec un pentamètre. Les parcelles et les plateaux ont été matérialisés à l'aide d'une bobine de fil pour topofil.

Tous les arbres dont le diamètre à hauteur de poitrine (DHP) était supérieur ou égal à 10 cm ont été mesurés à 1,30 m au-dessus du sol, à l'aide d'un compas forestier, numérotés et marqués à la peinture rouge et enfin, géolocalisées par les coordonnées rectangulaires ou géographiques obtenues grâce au GPS. Il faut noter que les données de la régénération (arbres de diamètre inférieur à 10 cm) ne sont pas prises en compte dans ce travail. Elles

sont en cours de traitement et feront l'objet d'une prochaine publication. Quant aux arbres dont le diamètre ne pouvait être mesuré à 1,30m de hauteur à la suite des empattements ou contreforts et déformations, la mesure a été prise à 50 cm au-dessus des contreforts ou empattements et déformations selon Cailliez (1980) en se servant d'un relascope ou d'une échelle et d'un Etrier ou d'un ruban diamètre.

Selon le Protocole de mesure de la biomasse aérienne des arbres en Afrique centrale (Sébastien Bauwens et al., 2014), la hauteur totale (en m) correspond à la distance verticale séparant le niveau du sol du sommet de l'arbre (bourgeon terminal). Dans le cas d'arbres fourchus, une seule hauteur sera considérée : la hauteur du fût (en m) correspondant à la distance séparant le niveau du sol de la déformation due à la première grosse branche. Ces hauteurs totales des arbres inventoriés ont été mesurées à l'aide du *TruPulse 360° Laser Technology*. Cet appareil est un outil complet qui mesure les distances horizontales, les pentes, les azimuts et les hauteurs. Pour prélever la hauteur totale, nous avons réalisé trois visées :

- une première visée horizontale en direction de l'arbre (on obtient la distance horizontale entre l'arbre et l'opérateur) ;
- une deuxième visée en direction du pied de l'arbre, à la base du sol (on obtient un angle 1) ;
- et une troisième visée en direction de la cime de l'arbre (on obtient un angle 2).

La hauteur totale de l'arbre est calculée automatiquement par l'appareil et s'affiche sur l'écran LCD. L'identification des espèces a été faite sous l'expertise d'un botaniste ; à l'œil nu en observant les feuilles, le fruit, l'écorce, la tranche de celle-ci ou l'exsudation et en se référant à certains ouvrages de botanique. Sur l'ensemble des trois sites plusieurs familles d'arbres et d'espèces ont été inventoriées et mesurés.

Méthodes de et traitement d'analyse des données

Toutes les données collectées sur le terrain ont été saisies dans un tableur Excel 2013 permettant ainsi de présenter les statistiques des données obtenues. Les données de la biodiversité ont été traitées dans le tableur Excel de façon à identifier les familles les plus importantes qualitativement et quantitativement. Les données de la structure ont servi au calcul de la surface terrière et à l'estimation de la biomasse aérienne.

Calcul de la surface terrière

La surface terrière d'un peuplement (G), représente donc la somme des surfaces terrières des individus pris individuellement qui composent ce

peuplement (Pardré & Bouchon, 1998). Elle est exprimée en mètre carré par hectare (m^2/ha).

Nous l'avons calculée pour chaque ligneux i à partir de la formule suivante : $g_i = [1/4 * D_i^2 * \pi]$ où g_i est la surface terrière individuelle et D_i le diamètre d'un arbre pris à 1,30 m.

Selon CRPF et FOGEFOR (2011) :

- un peuplement dense et âgé pourra avoir une surface terrière élevée : 25 à 50 m^2/ha ;

- un peuplement plus jeune ou plus clair aura une surface terrière faible : 5 à 15 m^2/ha .

Calcul de la biomasse aérienne

Un des prédicteurs généralement présents dans les équations allométriques est la densité spécifique du bois. Les densités spécifiques ont été obtenues grâce aux bases de données suivantes : Propriétés physiques des principaux bois tropicaux : feuillus (d'après CIRAD, 1998).

“La densité est de manière générale mieux connue pour les arbres exploitables par les compagnies forestières. Pour les espèces dont les valeurs de la densité spécifique (ρ) ne sont pas disponibles, il a été choisi une valeur par défaut de la densité (ρ défaut = $0,58 \text{ g/cm}^3$ pour les forêts tropicales d'Afrique), comme le recommande G. Reyes et al. (1992, p. 2) et utilisé par B-T. Vroh et al. (2015) ”.

Il existe dans la littérature scientifique deux principales méthodes de calcul de la biomasse aérienne des arbres. Il s'agit de :

- la méthode destructive qui consiste à abattre les arbres et de procéder à la pesée du tronc, branches, rameaux, ramilles et feuilles de l'arbre ;
- la méthode non destructive au moyen des équations allométriques pré-établies.

Pour des raisons de temps et de moyens financiers, nous avons utilisé pour cette étude la deuxième méthode à travers la collecte des données correspondant aux différents paramètres des équations à utiliser.

Par Ngomanda et al. (2014):

-(E₁) $AGB = \exp (-4,0596 + 4,0624 \ln(D) - 0,228(\ln(D))^2 + 1,4307 \ln(Q))$; **(2 prédicteurs : D, Q)**

-(E₂) $AGB = \exp (-2,568 + 0,951 \times \ln(D^2H) + 1,189 \times \ln(Q))$; **(3 prédicteurs : D, Q, H)**

Par Fayolle et al. (2013)

-(E₁) $AGB = \exp (-2,331 + 2,596 \times \ln(D))$; **(1 prédicteur : D)**

-(E₂) $AGB = Q \times \exp (-1,183 + 1,940 \times \ln(D) + 0,239(\ln D)^2 - 0,028 \times (\ln D)^3)$; **(2 prédicteurs : D, Q)**

Par Chave et al. (2014)

- (E₁) AGB = exp (-1,803 - 0,976 × E + 0,976 × lnq + 2,673 × lnD - 0,0299 × (lnD)²). (2 prédicteurs : D, q)
- (E₂) AGB = 0,0673 × (qD² H)^{0,976} ; (3 prédicteurs : D, q, H)

Calcul du carbone aérien

Selon la GIEC (2006), concernant le stock de CO₂ atmosphérique séquestré, il est reconnu que la masse atomique du Carbone est égale à 12 et celle de l'Oxygène est de 16. La masse moléculaire du CO₂ est de 44. Ainsi, le rapport de combinaison du carbone (C) au dioxygène (O₂) est de 3,67. Les stocks de CO₂ atmosphérique absorbés par la forêt sont obtenus en multipliant les stocks de carbone par 3,67 (Somarriba et al., 2013). Il est recommandé d'estimer les stocks de biomasse présents dans les parcelles et de multiplier le résultat obtenu par un facteur de conversion (FC) qui est de 0,47 (Zapfack et al., 2013).

Présentation des résultats

Diversité floristique

Au total 1019 individus regroupés en 90 espèces et 34 familles ont été inventoriées sur l'ensemble de 3 ha, soit une densité de 340 pieds/ha. Parmi les familles majoritaires, on distingue les Myristicacées, les Burseracées, les Euphorbiacées, les Caesalpiniacées, les Annonacées, les Papilionacées, les Mimosacées, les Combrétacées, les Sterculiacées, les Dipterocarpacees, les Irvingiacées, les Lauracées, les Olacacées, les Guttifères, les Ctelonophonacées, et les Simaroubacées.

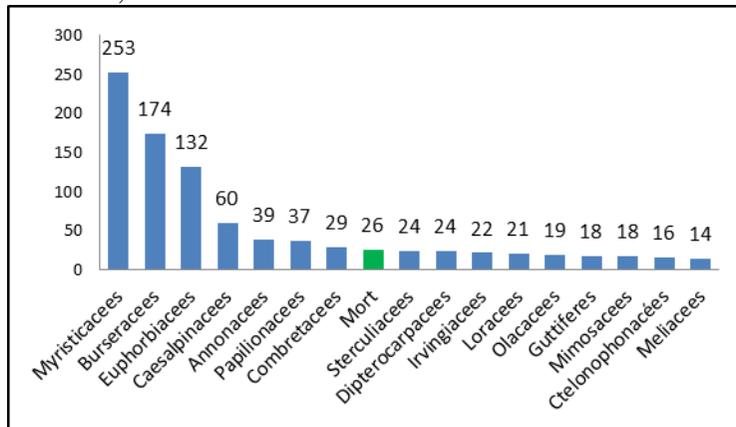


Figure 5. Nombres de pieds par famille, pour les seize premières familles les plus représentatives

La Figure 6 illustre la densité des dix-huit (18) espèces les plus représentatives, de la forêt du littoral de la Mondah, observées au sein de notre zone et sites d'étude.

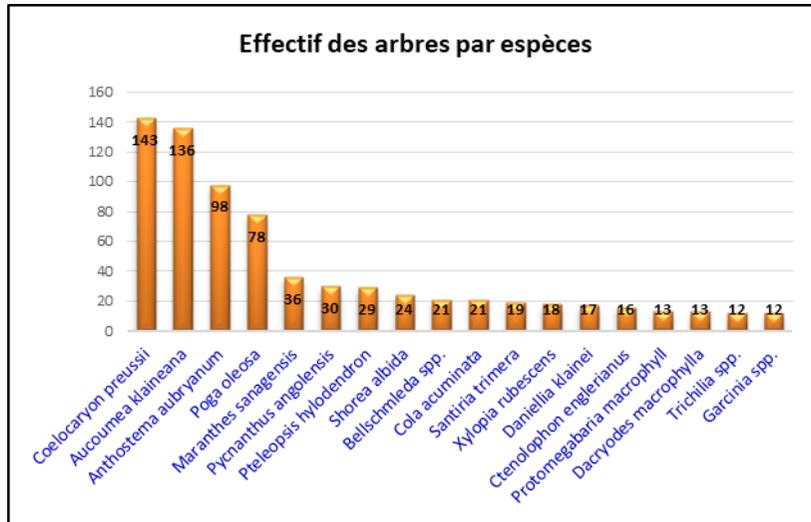


Figure 6. Espèces les plus représentatives au sein des zones d'études

En comparant les Figures 5 et 6, il apparaît que la famille des Myristicacées est la plus représentée avec 253 pieds/ha dont 154 pieds/ha de *Coelocaryon preussii* Warb., suivie des Burseracées avec 174 pieds/ha, dont 136 pieds/ha de *Aucoumea klaineana* Pierre et des Euphorbiacées avec 132 pieds/ha dont 136 pieds/ha d'*Anthostema aubryanum* Baill. Les autres familles comme les Césalpiniacées avec 60 pieds/ha, les Annonacées avec 39 pieds/ha, les Papilionacées avec 37 pieds/ha, les Combrétacées avec 29 pieds/ha, les Dipterocarpaceés avec 24 pieds/ha, les Irvingiacées avec 22 pieds/ha, les Lauracées avec 21 pieds/ha, les Olacacées avec 19 pieds/ha, les Guttifères et les Mimosacacées avec chacune 18 pieds/ha, les Ctelonophonacées avec 16 pieds/ha, et enfin, les Meliacées avec 14 pieds/ha, sont représentées par plusieurs espèces. Il a été noté sur le terrain 26 arbres morts sur pied. Les autres familles confondues représentent un total de 93 pieds/ha.

Structure diamétrique

Les 1019 arbres inventoriés dans les trois parcelles sont répartis dans les classes de diamètre (Figure 7). Les effectifs d'arbres sont plus élevés dans les faibles classes de diamètre, montrant ainsi une structure en forme de « L ». la classe de [10 – 20] cm de DHP renferme la majorité d'arbres inventoriés, soit 441 pieds (43,3 %) à contrario, la classe de]160 – 170] cm de DHP est la moins représentée avec 1 pied (0,1 %). Les classes]120 – 130] ;]140 – 150] ; et]150 – 160] cm de DHP n'ont eu quant à elles, aucun représentant.

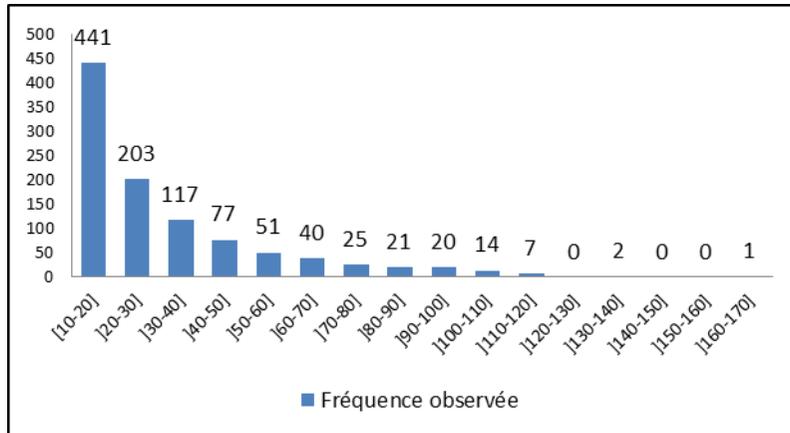


Figure 7. Effectifs des arbres par classe de diamètre DHP (cm)

Cette figure fait apparaître la classe de diamètre [10-20] comme étant la mieux représentée dans le peuplement étudié avec 441 arbres soit 43,27% ; les individus de diamètres supérieurs à 100 cm sont peu représentés dans cette forêt avec 24 arbres soit 2,35%. En d'autres termes, le nombre de tiges diminue avec l'augmentation des classes de DHP. La distribution générale du peuplement montre que nous sommes en présence d'une forêt jeune renfermant plus d'arbres d'avenir, vu cette tendance décroissante en « J renversé » ou en « L » à forte pente. Cette structure montre que la forêt dispose de plusieurs tiges d'avenir pour assurer sa reconstitution.

Surface terrière

Les 3 parcelles d'un ha chacune, contenant les 1019 arbres géoréférencés et le calcul de la surface terrière de chaque arbre, intégrés à l'intérieur d'un Système d'Information Géographique(SIG) ont permis de générer la Figure 8.

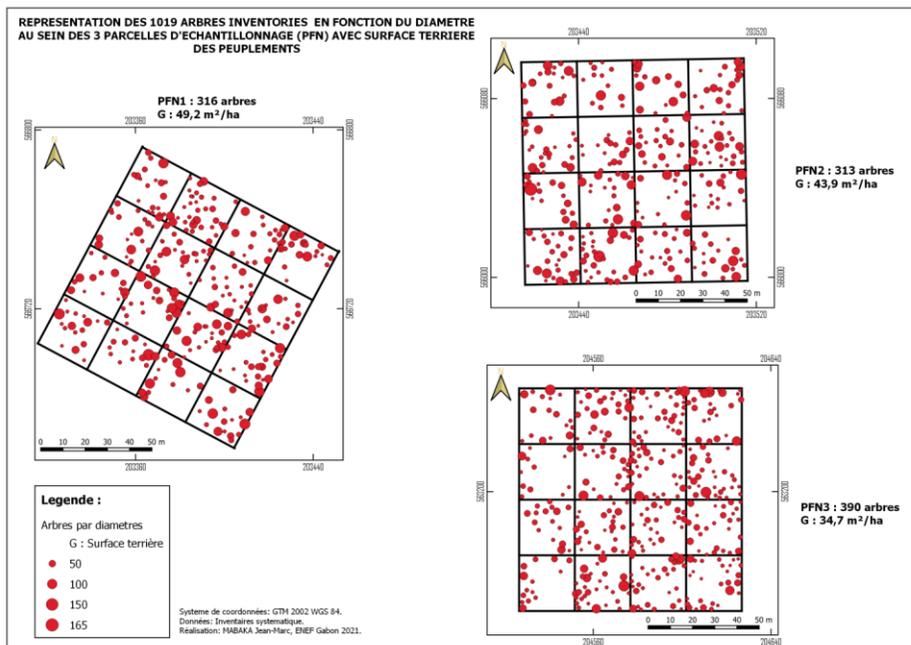


Figure 8. Représentation proportionnelle des arbres par leurs diamètres et des surfaces terrières dans les 3 parcelles d’inventaires

Chaque arbre est représenté par un cercle proportionnel au diamètre mesuré sur le terrain. Cette figure montre la répartition spatiale de toutes les essences inventoriées, ainsi que leurs surfaces terrières respectives, sachant que la surface terrière d’un arbre est la surface de la section transversale de celui-ci à 1,30m au-dessus du sol (Rondeux, 1993). Elle est la surface occupée par un arbre *i* à l’hectare. La surface terrière d’un peuplement (G), représente donc la somme des surfaces terrières des individus pris individuellement qui composent ce peuplement (Pardré & Bouchon, 1998). Elle est exprimée en mètre carré par hectare (m²/ha).

Les surfaces terrières des peuplements de nos trois sites sont respectivement : (G_{PFN1}) = 49,2 m²/ha ; (G_{PFN2}) = 43,9 m²/ha ; (G_{PFN3}) = 34,7 m²/ha (Figure 9).

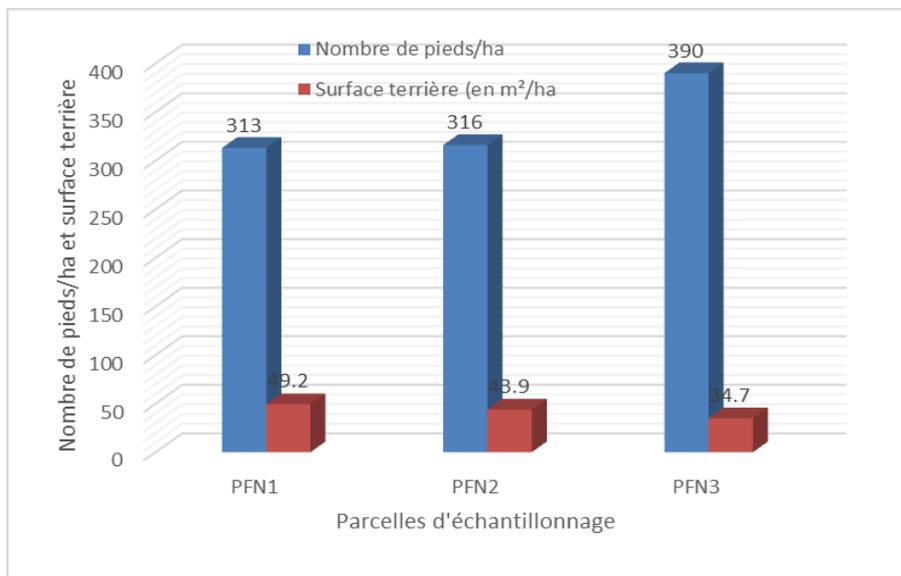


Figure 9. Surface terrière par hectare et nombre de pieds/ha de chaque parcelle d'inventaire

(PFN1 = Parcelle de Forêt Naturelle n° 1 ; PFN2 = Parcelle de Forêt Naturelle n° 2 ; PFN 3 = Parcelle de Forêt Naturelle n° 3)

Il ressort aussi de la Figure 9 que les parcelles PFN₁ et PFN₂ qui ont par rapport à la parcelle PFN₃, des densités inférieures, mais des surfaces terrières importantes, ont des populations d'arbres de diamètre moyen. A l'inverse, la parcelle PFN₃ qui a une forte densité d'arbres mais une surface terrière assez faible, renferme un peuplement d'arbre de faibles diamètres.

Biomasse aérienne et carbone séquestré

Les résultats de calcul de la biomasse issue des équations allométriques proposées sont illustrés dans le Tableau 2.

Tableau 2. Estimation de la biomasse aérienne à partir des équations allométriques

		Estimation de la biomasse aérienne en tonnes métriques			
		PFN1	PFN2	PFN3	Total
Ngomanda et al. (2014)	E2	403,05	379,87	309,56	1092,48
	E3	300,73	299,69	221,86	822,28
Chave et al. (2014)	E2	565,63	517,24	398,86	1481,73
	E3	408,56	401,92	290,37	1100,85
Fayolle et al. (2013)	E1	773,15	677,84	472,57	1923,56
	E2	639,96	582,21	446,12	1668,29

E1 = équation avec un seul prédicteur (diamètre), E2 = équation à deux prédicteurs 'diamètre et densité spécifique) et E3 = équation à trois prédicteurs (diamètre, densité spécifique et hauteur de l'arbre)

Il ressort de ce tableau que moins l'équation contient peu de prédicteurs, plus elle surestime la valeur de la biomasse aérienne. La valeur de la biomasse aérienne est proche de la réalité lorsque l'équation prend en compte plusieurs facteurs dépendant de l'arbre (densité spécifique et hauteur de l'arbre) avec un résultat qui sous-estime cette valeur par rapport aux autres équations.

De ce fait, les équations allométriques E3 de Ngomanda et al. (2014) et de Chave et al. (2014) estiment mieux la valeur de la biomasse aérienne de la forêt étudiée.

Le tableau suivant montre les résultats de calcul du stock de CO₂ et de carbone séquestré à l'hectare dans la forêt dense humide de la Mondah en utilisant les résultats de calcul obtenus par l'équation (E2) de Ngomanda.

Tableau 3. Stock de carbone et de CO₂

Parcelles	Biomasse aérienne (tonnes métriques)	Stock de carbone	Stock de CO ₂
PFN ₁	300,73	141,34 t / ha	518,71 t / ha
PFN ₂	299,69	140,85 t / ha	516,91 t / ha
PFN ₃	221,86	104,27 t / ha	382,67 t / ha
TOTAL	822,28	386,46 t	1418,29 t

Il apparaît que les valeurs de la biomasse aérienne, du stock de carbone et du stock de CO₂ sont plus élevées dans les deux premières parcelles de forêt nature échantillonnées que dans la dernière.

Processus de validation de l'équation la mieux adaptée

Pour déterminer l'équation allométrique qui est proche de la réalité terrain, nous avons établi la relation existant entre les diamètres des arbres (DHP) et les résultats de calcul de la biomasse à partir des différentes équations.

La figure ci-dessous, présente l'équation de régression des valeurs de la biomasse sèche en fonction du diamètre des arbres

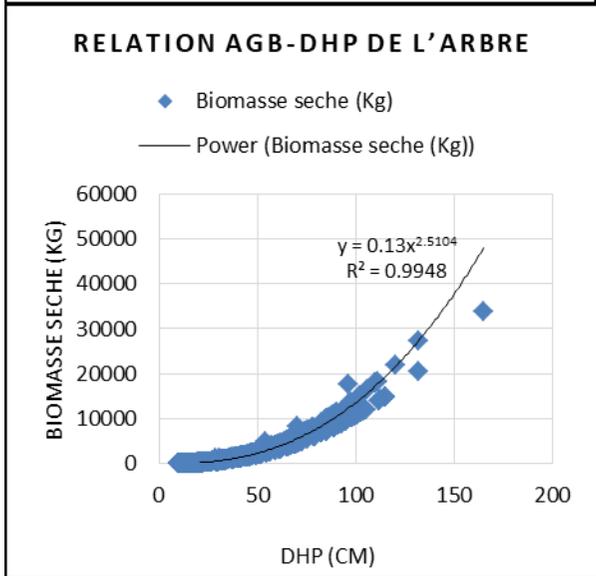
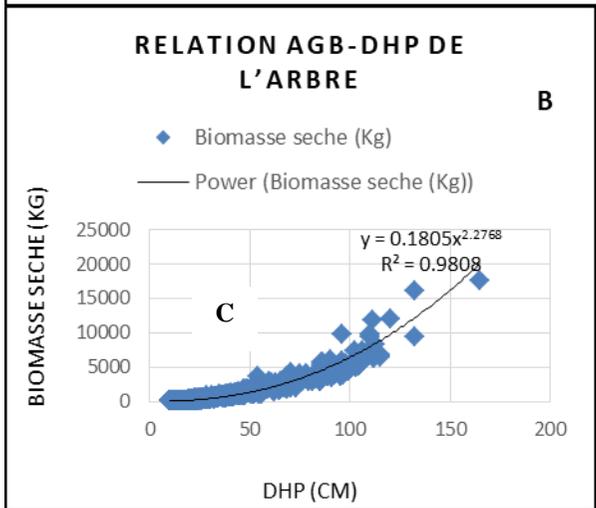
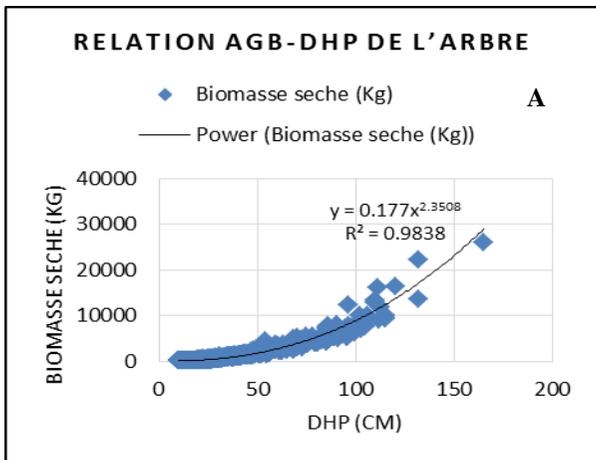


Figure 10. Equation puissance de régression allométrique du modèle (E_2) de Ngomanda et al. (2014), Fayolle et al. (2013), et Chave et al. (2014) retenues comme meilleure

L'équation allométrique de régression, associée au modèle (E₂) de Ngomanda et al. (2014) est une équation dite puissance de type $y = ax^b$, avec y la biomasse aérienne totale ; x le paramètre dendrométrique ; a et b les coefficients de l'équation. Le paramètre dendrométrique considéré est le diamètre à hauteur de poitrine (DHP). La régression puissance a permis d'évaluer la relation biomasse-diamètre (AGB-DHP). La Figure 10 exprime l'évolution de l'AGB en fonction du DHP. L'examen de la figure 10A indique une bonne prédiction de la biomasse des arbres de DHP < 80 cm. L'agglutination des valeurs de biomasse des individus de DHP < 80 cm observée sur le nuage de points traduit une régularité dans la relation AGB-DHP. On observe également que la variation de l'AGB augmente lentement avec le diamètre correspondant jusqu'à 80 cm avant de croître très rapidement pour les arbres de DHP > 80 cm avec une dispersion des valeurs de biomasse. Cette dispersion du nuage de points pour les arbres de DHP > 80 cm témoigne d'une certaine irrégularité dans la relation entre la biomasse et les gros arbres avec pour corollaire un risque de biais dans la prédiction. Cependant, le coefficient de corrélation R² égale à 0,98 indique la forte intensité et le sens de la corrélation AGB-DHP. Les points du nuage sont très proches de la courbe.

Tableau 4. Equations de régression et coefficient de détermination

Auteurs	Equation de la régression	Coefficient de détermination
Ngomanda et al. (2014)	$y = 0,1805x^{2,2768}$	0,9808
Fayolle et al. (2013)	$0,13x^{2,5104}$	0,9948
Chave et al. (2014)	$0,177x^{2,3508}$	0,9838

Les nuages de points représentant la biomasse, dans les Figures 10A et 10C, (des Equations puissance de régression des modèles à trois prédicteurs de Chave et al. (2014) et de Ngomanda et al. (2014)), semblent se comporter pareillement de part et d'autre de la courbe de prédiction AGB-DHP, en les comparant à celui de la figure 10B (Equations puissance de régression des modèles à deux prédicteurs de Fayolle et al. (2014)). Ceci démontre en effet que le nombre de prédicteurs influence le comportement de la biomasse estimée

Discussion

L'inventaire systématique réalisé dans les trois parcelles d'un hectare chacune a permis, d'identifier 1019 arbres de DPH ≥ 10 cm repartis en 90 espèces regroupées en 34 familles, parmi lesquelles 16 familles prédominent et 18 espèces sont majoritaires. Les trois familles les plus représentées sont les Myristicacées, les burseracées et les Euphorbiacées avec les espèces suivantes *Coelocaryon preussii*, *Aucoumea klaineana* et *Anthostema aubryanum*. Les densités des arbres dans les parcelles sont respectivement de 313 arbres dans

PFN1, 316 arbres dans PFN2 et 390 arbres dans PFN3. Les valeurs de la surface terrière sont respectivement de 49,2 m²/ha, 43,9 m²/ha et 34,7 m²/ha. D'après Tsoumou B. et al. (2016), un peuplement dense et mature a sa surface terrière comprise entre : 25 à 50 m²/ha. Les valeurs obtenues pour site d'inventaire sont comprises dans cet intervalle. Les parcelles échantillonnées sont donc couvertes de forêt dense mature.

Les résultats de calcul de la surface terrière montre que la parcelle de forte densité a la plus faible surface terrière et la parcelle de faible densité possède la plus forte surface terrière. Ceci s'explique par le fait que la parcelle PFN₃ contient des arbres de diamètres assez faibles, comparativement à la parcelle PFN₁ contenant, la plus faible densité avec des arbres de gros diamètre.

La structure diamétrique de la forêt étudiée a généré une courbe en « J renversé » ou en « L » avec la première de classe de diamètre [10 – 20] contenant 441 pieds, soit 43,27 % tandis que les classes de plus de 100 cm de diamètre contient de moins en moins d'arbres : 24 pieds, soit 2,35 %. Cette courbe, en « J renversé » exprime une forêt mature à très forte régénération (Tsoumou et al., 2016). En effet, les dernières activités d'exploitation forestière datent 1959 (Mengome Ango, 2017). Jusqu'à notre étude à ce jour, ce massif est resté sans aucune autre activité d'exploitation forestière pendant plus de 60 ans, durée largement supérieure à une rotation.

Les valeurs de la biomasse ont été calculées à partir des six équations allométriques de trois auteurs : l'équation E₁ contenant un seul prédicteur, l'équation E₂ à deux prédicteurs et E₃ à trois prédicteurs. Les résultats ont montré que plus l'équation ne contient des prédicteurs, moins la valeur de la biomasse obtenue est fiable. L'équation à un seul prédicteur a tendance à surestimer la valeur de biomasse à calculer. A ce sujet, Doril (2010) affirme que : "l'utilisation d'une équation allométrique ayant uniquement la variable Diamètre à Hauteur de Poitrine (DHP) provoquerait une hausse de la valeur de la biomasse (AGB).

Les équations à deux prédicteurs (le diamètre et la densité), E₂ de Fayolle et al. (2013), avec **1668,3** tonnes, valeurs largement supérieures à celles E₂ de Chave et al. (2014) : 1094,89 tonnes métriques et E₁ de Ngomanda et al. (2014) : 1093 tonnes métriques.

Cependant, les équations à trois prédicteurs (le diamètre, la densité et la hauteur), ont donné des résultats plus intéressants : 822, 22 tonnes métriques pour E₃ de Ngomanda et al. (2014) et 1 100 tonnes métriques pour E₃ de Chave et al. (2014). La littérature scientifique indique qu'à nombre égal de paramètres, l'équation la plus fiable est celle qui sous-estime la valeur de la biomasse. Dans cette étude, c'est l'équation de Ngomanda et al. (2014) qui les résultats les plus intéressants.

Le calcul de la biomasse selon Ngomanda et al. (2014), dans nos 3 parcelles a donné respectivement 300,73 t métrique pour (PFN₁) ; 299,69 t métrique pour (PFN₂) ; 221,86 t métrique pour (PFN₃). De même que le stock de carbone : 141,34 t C/ha pour (PFN₁) ; 140,85 t C/ha pour (PFN₂) et 104,27 t C/ha pour (PFN₃).

Conclusion

L'étude effectuée au sein de l'arboretum Raponda Walker a eu pour objet principal de connaître la diversité floristique et quantifier la biomasse et le stock de carbone qui y est séquestré puis comparer les valeurs de biomasse aérienne obtenue à par des équations allométriques différentes.

Au total 1019 individus ont été inventoriés, regroupés en 90 espèces et 34 familles. Le peuplement inventorié ayant 43% des arbres appartenant à la classe de diamètre [10-20] suggérait qu'on était en présence d'une forêt à fort taux de reconstitution. C'est-à-dire, forêt mature à plusieurs tiges d'avenir. La structure diamétrique de la zone de forêt dense de la Mondah fait apparaître des effectifs d'arbres élevés dans les classes de faible diamètre et des faibles effectifs dans les classes de gros diamètre indiquant ainsi une bonne régénération de cette strate forestière. Les valeurs de la surface terrière des placettes étudiées dépendent de diamètre des arbres présents et non des effectifs d'arbres.

Le calcul de la biomasse aérienne à partir des équations différentes a montré que les résultats dépendent du nombre de paramètres pris en compte par chaque équation. La littérature scientifique indique que moins il y a des paramètres, moins la valeur de la biomasse est fiable. Pour les équations ayant le même nombre de paramètres, le résultat proche de la réalité est celui qui sous-estime la valeur de la biomasse. L'équation local de Ngomanda est al. (2014) à trois paramètres est celle qui estime mieux la valeur de la biomasse aérienne. L'usage de cette équation allométrique a produit une biomasse moyenne 274,09 t/ha, soit 128,8 t C/ha séquestré. Par extrapolation à l'ensemble de la strate de forêt dense du nord de Libreville, les estimations de stock de carbone moyen par hectare (128,8 t C/ha) nous a donné 1577156 t de carbone (C) séquestrés au niveau de cette strate avec 5788162,52 t de CO₂ équivalents, extrait de l'atmosphère du nord de Libreville.

Ce travail montre que la région de l'estuaire nord du Gabon possède un atout non négligeable quant à sa contribution nationale dans la lutte contre le réchauffement climatique à travers sa composition floristique riche et diversifiée et sa capacité de séquestration du CO₂.

Intérêt concurrent : Il n'existe aucun intérêt concurrent entre eux, déclarent les auteurs.

Contributions des auteurs : Calvin Dikongo NDjomba, Jean Marc MABAKA, et Ferry Darnel MBELA ont participé à la collecte et au traitement des données de terrain. Irène Marie Cécile MBOUKOU KIMBATSA, née GOMA et Félix KOUBOUANA ont participé au traitement des données et à la rédaction.

References:

1. Abanisifa Zoliane, J. (2015). Application des mesures dendrométriques pour l'estimation de la biomasse aérienne dans la forêt secondaire de la Réserve Forestière de Voko. Mémoire de Master (Province de la Tshopo, RD Congo).
2. Angelsen et al. (2013). Analyse de la REDD+ Les enjeux et les choix Angelsen, A., Brockhaus, M., Sunderlin, W.D. et Verchot, L.V. (éd.). 2013. Analyse de la REDD + : Les enjeux et les choix. CIFOR, Bogor, ISBN : 978-602-1504-00-0 P. 487.
3. Bengwela, M.T. & Boyemba, B. F. Estimation de la biomasse aérienne des forêts de transition de la réserve forestière de Yoko, rd Congo : Importance de l'allométrie hauteur-diamètre.
4. Biga, I., Amani, A., Soumana, I., Bachir, M., & Mahamane, A. (2020). Dynamique spatio-temporelle de l'occupation des sols des communes de Torodi, Gothèye et Tagazar de la région de Tillabéry au Niger. International Journal of Biological and Chemical Sciences, 14(3), 949-965.
5. Bouveyron, C. & Girard, S. (2009). Classification supervisée et non supervisée des données de grande dimension. La revue MODULAD, 40, 81-102.
6. Brown, S. (1997). Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer (Vol. 134). Food & Agriculture Org.
7. Cailliez et al. (1980). Estimation des volumes et accroissement des peuplements forestiers avec référence particulière aux forêts tropicales. ISBN :92-5-200923-X.
8. Chave, J., Réjou-Méchain, M., Búrquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M. S., Delitti, W. B., ... & Vieilledent, G. (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. Global change biology, 20(10), 3177-3190.
9. Chave, J., Muller-Landau, H. C., Baker, T. R., Easdale, T. A., Steege, H. T., & Webb, C. O. (2006). Regional and phylogenetic variation of wood density across 2456 neotropical tree species. Ecological applications, 16(6), 2356-2367.
10. Chave, J., Coomes, D., Jansen, S., Lewis, S. L., Swenson, N. G., & Zanne, A. E. (2009). Towards a worldwide wood economics spectrum. Ecology letters, 12(4), 351-366.

11. Congalton, R.G. (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*. 37 (1): 35 - 46.
12. Doril, W. (2010). Evaluation de la biomasse et des stocks de carbone sur des placettes forestières en forêts tropicales humides de Guadeloupe. Mémoire de master II, université des Antilles et de Guyane, 45.
13. Fayolle, A., Doucet, J. L., Gillet, J. F., Bourland, N., & Lejeune, P. (2013). Tree allometry in Central Africa: Testing the validity of pantropical multi-species allometric equations for estimating biomass and carbon stocks. *Forest Ecology and Management*, 305, 29-37.
14. Fayolle, A. & Bauwens, S. Protocole de mesure de la biomasse aérienne des arbres en Afrique centrale, 40 pages.
15. Fayolle, A., Ernst, G., Bouissou, C., Bourland, N., Doucet, J. L., Picard, N., & Lejeune, P. (2012). Les équations allométriques pantropicales sont-elles valides en Afrique centrale.
16. Feldpausch, T. R., Banin, L., Phillips, O. L., Baker, T. R., Lewis, S. L., Quesada, C. A., ... & Lloyd, J. (2011). Height-diameter allometry of tropical forest trees. *Biogeosciences*, 8(5), 1081-1106.
17. Feldpausch, T. R., Lloyd, J., Lewis, S. L., Brienen, R. J., Gloor, M., Monteagudo Mendoza, A., ... & Phillips, O. L. (2012). Tree height integrated into pantropical forest biomass estimates. *Biogeosciences*, 9(8), 3381-3403.
18. GIEC (2014). Changements climatiques 2014: rapport de synthèse. Contribution des groupes de travail I, II et III au cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, GIEC, Genève, Suisse, 161p.
19. Ilboudo, D. (2018). Evaluation de la biomasse et du potentiel de séquestration de carbone par les petites formations forestières des savanes en zone soudanienne du Burkina Faso : cas du site de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts (ENEF). Mémoire d'Ingénieur du développement rural N°2018/VULGA
20. Lachenaud, O., Stévant, T., Ikabanga, D., Ngagnia Ndjabouda, E., & Walters, G. (2013). Les forêts littorales de la région de Libreville (Gabon) et leur importance pour la conservation: description d'un nouveau *Psychotria* (Rubiaceae) endémique. *Plant Ecology and Evolution*, 146(1), 68-74.
21. Lenzoghas Mandjombo, A. (2016). Cartographie des activités anthropiques dans l'Arboretum RAPONDA WALKER, mémoire d'Ingénieur des Techniques Eaux et Forêts Gabon.

22. Loubota Panzou, G. J. (2018). Biomasse et stocks de carbone en Afrique centrale: importance de l'allométrie des arbres (Doctoral dissertation, Université de Liège, Belgique 508-522.
23. Loubota Panzou et al. (2016). Biomasse et stocks de carbone des forêts tropicales africaines. Une critique.
24. Mengome Ango, A. Y. (2007). Installation des placettes permanentes à but pédagogique pour le suivi de la croissance des peuplements forestiers d'Okoumé: analyse des résultats préliminaires mémoire de master, 84 pages.
25. Molto, Q., Rossi, V., & Blanc, L. (2013). Error propagation in biomass estimation in tropical forests. *Methods in Ecology and Evolution*, 4(2), 175-183.
26. Nasi, R., Mayaux, P., Devers, D., Bayol, N., Eba'a Atyi, R., Mugnier, A., ... & Sonwa, D. (2009). Un aperçu des stocks de carbone et leurs variations dans les forêts du bassin du Congo. *Les Forêts du Bassin du Congo*. C. De Wasseige, D. Devers, P. De Marcken, R. Eba'a Atyi, R. Nasi, P. Mayaux,(eds.), 199-216.
27. Ngomanda, A., Obiang, N. L. E., Lebamba, J., Mavouroulou, Q. M., Gomat, H., Mankou, G. S., ... & Picard, N. (2014). Site-specific versus pantropical allometric equations: Which option to estimate the biomass of a moist central African forest?. *Forest Ecology and Management*, 312, 1-9.
28. Picard, N., Saint-André, L., & Henry, M. (2012). Manuel de construction d'équations allométriques pour l'estimation du volume et la biomasse des arbres. Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, 224.
29. Reyes, G. (1992). Wood densities of tropical tree species (Vol. 88). US Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station.
30. Somarriba, E., Cerda, R., Orozco, L., Cifuentes, M., Dávila, H., Espin, T., ... & Deheuvels, O. (2013). Carbon stocks and cocoa yields in agroforestry systems of Central America. *Agriculture, ecosystems & environment*, 173, 46-57.
31. Thibault Laconde (2018). Capture et séquestration du carbone : une solution qui peine à se concrétiser.
32. Tsoumou B. et al. (2016). *Revue Scientifique et Technique Forêt et Environnement du Bassin du Congo*. Volume 6. P. 50-56.
33. Vignerot et al. (2021). Rôle des forêts dans le bilan de carbone de la planète.
34. Vroh bi tra aimé et al. (2015). Trees species diversity and above ground biomass in three tropical forest types in Azaguié area, Côte d'Ivoire.

- Global Advanced Research Journal of Plant Science(GARJPS), Vol. 1(2): pp. 030-038.
35. Zapfack, L., Noumi, V. N., Kwouossu, D. P., Zemagho, L., & Nembot, F. T. (2013). Deforestation and carbon stocks in the surroundings of Lobéké National Park (Cameroon) in the Congo Basin. *Environment and Natural Resources Research*, 3(2), 78.
 36. <https://www.gabonreview.com/puits-de-carbone-la-foret-gabonaise-abrite-la-plus-grande-densite-au-monde/> (Consulté le 6/08/2021)
 37. https://fr.wikipedia.org/wiki/Parcs_nationaux_du_Gabon (Consulté le 6/08/2021)
 38. <https://www.gabonreview.com/sequestration-de-carbone-les-forets-gabonaises-absorbent-pres-de-100-millions-de-tonnes-de-co2-par-an> (Consulté le 6/08/2021)
 39. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/gcb.12629> (Consulté le 20/08/2021)
 40. <http://worldclim.com/current> (Consulté le 20/08/2021)
 41. http://chave.ups-tlse.fr/pantropical_allometry.htm#E (Consulté le 20/08/2021)
 42. <https://www.greenpeace.fr/forets-tropicales/> (Consulté le 26/08/2021)
 43. https://fr.wikipedia.org/wiki/Forêt_du_bassin_du_Congo (Consulté le 26/08/2021).