

Estimation Du Stock De Carbone Aérien Et Du Bois Mort Dans Les Forêts Matures Et Les Forêts Secondaires De L'axe Impfondo-Dongou, Département De La Likouala, République Du Congo

Saint Fédriche Ndzai¹, DuvaressAlverickJeansy Kimbembé,^{1,2}
GerleoLassyMoundaga,^{1,2}; Destin ChelvinVindou Siassia¹,
Maximilien Mboukou¹, Guy Foly Mpela¹, Larisa Mbouchi Malonga¹,
Belvina Chardène Mabengo¹, Danielle Vanessa Makosso Mankou¹,
Mat-Sheridan Mikoungui Gomo¹, Chauvelin Douh^{1,3} Et Félix Koubouana¹
1 Laboratoire De Géomatique Et d'Ecologie Tropicale Appliquée (LGETA), Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie Et De Foresterie (ENSAF). B.P.69 Brazzaville Université Marien Ngouabi, République Du Congo.

2 Laboratoire De Production Végétale (LPV), Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie Et De Foresterie (ENSAF). B.P.69 Brazzaville Université Marien Ngouabi, République Du Congo

3 Institut National De Recherche Forestière (IRF), Département d'Écologie Forestière, Cité Scientifique De Brazzaville, République Du Congo

Résumé

L'étude réalisée dans le Département de la Likouala, avec pour objectif d'améliorer les connaissances sur le fonctionnement des écosystèmes forestiers a été effectuée dans 5 cinq types de forêts, dont deux parcelles d'un hectare chacun des cinq types de forêts. Tous les individus de DBH ≥ 10 cm ont été inventoriés pour estimer le stock de carbone aérien. Pour le cas de bois mort, 3 catégories ont été considérées : bois mort sur pied, bois mort au sol ou couché et bois mort souche pour estimer le stock de carbone. Le stock de carbone le plus élevé a été obtenu dans la forêt mature inondée à *Guibourtia demeusei* avec $402,14 \pm 71,25$ tC/ha pour 524 arbres et plus faible dans les forêts secondaires à *Macaranga monandra* avec $108,86 \pm 20,6$ pour un nombre d'arbres de 593. Le test ANOVA a montré une différence très hautement significative (P - value = 0,00) entre les stocks de carbone des différents types de forêts étudiées. Le stock de carbone moyen du bois mort souche est plus important dans la forêt secondaire à *Macaranga monandra* soit $2,22 \pm 1,41$ tC/ha, suivi de celui du bois mort debout la forêt adulte inondée à *Guibourtia demeusei* avec $10,87 \pm 3,75$ tC/ha et celui du bois mort couché dans la forêt à *Macaranga monandra* avec $6,92 \pm 1,38$ tC/ha. Le stock du carbone total des bois morts le plus important a été obtenu dans la forêt mature inondée à *Guibourtia demeusei* soit $5,63 \pm 3,14$ tC/ha. Cette étude a permis de comprendre que, les forêts adultes sont totalement différentes des forêts secondaires du point de vue des paramètres étudiés.

Mots clés : Carbone, bois mort, Impfondo, Forêt

Date of Submission: 21-10-2023

Date of Acceptance: 31-10-2023

I. INTRODUCTION

En Afrique Centrale, la conversion des forêts "matures" en formations secondaires s'accélère (Randriamalala et al., 2007). Au Congo, les acteurs de la conservation se focalisent sur les forêts matures relativement riches en biodiversité, à cause des menacées de déforestation dues aux pratiques agricoles peu conventionnelles qui pèsent sur elles. Mille et Louppé (2015); FAO (2017) affirment que les formations secondaires sont réputées être beaucoup plus pauvres en espèces végétales que les forêts matures. La déforestation, la secondarisation et le changement d'usage des terres en zone tropicale sont responsables de 15 à 20 % des émissions de GES mondiales (Malhi et Grace, 2000; Fearnside et Laurance, 2004; Houghton, 2005). A l'inverse, si des forêts sont plantées ou se régénèrent spontanément, c'est autant de carbone qui est séquestré dans le nouveau peuplement forestier. Seulement, la résilience des forêts tropicales est assez faible (Aide et al., 2000). Lors de la régénération naturelle, le stock de carbone de la forêt ne revient pas à son niveau antérieur en

quelques décennies (Foody et al., 1996; Clark, 2007; Lewis et al., 2009; Clark et al., 2010; Pan et al., 2011). Le stock de carbone aérien varie d'une zone à une autre dans les forêts tropicales.

Le Département de la Likouala couvre plus de 85 % des forêts du Congo avec une diversité forestière très importante dans plusieurs types de forêts notamment: les forêts adultes inondables, inondées, sur terre ferme et les forêts secondaires (Bouetou-Kadilamio et al., 2017). Malheureusement, cette diversité forestière est menacée de disparition suite aux activités agricoles. Le taux de déforestation dans cette zone est passé de 0,28 % entre 1986 et 2001 à 0,59 % entre 2001 et 2015 (Bouetou-Kadilamio et al., 2017).

Cependant, le passage d'une forêt mature en forêt secondaire se manifeste par un changement complet de l'écosystème forestier (réduction de la biomasse aérienne et souterraine, dégradation des sols...). Et peu d'études au Congo en général et dans la Likouala en particulier ont été menées dans ce sens. Considérant la diversité floristique, on peut citer les travaux de : Moutsamboté (2012); Ifo et al. (2016); Harris et al. (2011); Bocko (2018); Koubouana et al. (2018); Ndzai et al. (2022), très peu d'études sur le carbone organique Ifo et al. (2017); Greta et al. (2017); Bocko (2018). A notre connaissance aucune étude botanique sur le stock de carbone aérien et du bois mort sur une grande superficie n'a été entreprise dans les forêts adultes sur terres fermes à *Celtis adolfi-friderici* Engl., inondées à *Guibourtia demeusei* (Harms) Léon., et inondables à *Lophira alata* Banks ex C.F. Gaertn. et secondaires à *Musangacecropioides* R. Br. et à *Macaranga monandra* Mull-Arg. de cette zone. Les travaux de Ifo et al. (2016) et Koubouana et al. (2018) ont été réalisés dans ces forêts n'ont porté que sur des superficies de 3,5 ha. L'observation des flux de carbone entrant dans le compartiment du bois mort contribuent à des quantités très importantes du carbone dans le sol (Vogt et al., 1998; Lamine, 2007; Mboukou, 2020). Malheureusement ce dernier est moins étudié dans les écosystèmes forestiers (Becel, 2010; Ifo et al., 2015; Ifo et al., 2017). Il apparaît donc nécessaire de connaître leur variation dans les différents types de forêts, non seulement à l'échelle globale, mais aussi sous régionale, nationale et locale comme la Likouala (Mboukou, 2020). C'est dans le but d'approfondir les connaissances sur les stocks de carbone de cette zone que cette étude a été menée pour une meilleure connaissance du fonctionnement des écosystèmes forestiers du département de la Likouala afin de garantir une gestion durable dans une perspective de lutte contre les changements climatiques. Il est question d'estimer le stock de carbone aérien et le stock de carbone du bois mort de ces forêts.

II. Matériel et méthodes

Site d'étude

Cette étude a été menée dans le département de la Likouala plus précisément dans le district de Dongou (figure 1) entre le village Bondzalé et la commune de Dongou distant d'environ 18 km. Ce département occupe la partie Nord de la République du Congo et couvre une superficie d'environ 64044 km² (PAM, 2009). Du point de vue géographique, le département de la Likouala est limité, au Nord par la République Centrafricaine, au Sud par le département de la Cuvette, à l'Ouest par le département de la Sangha et à l'Est par la rivière Oubangui qui le sépare de la République Démocratique du Congo.

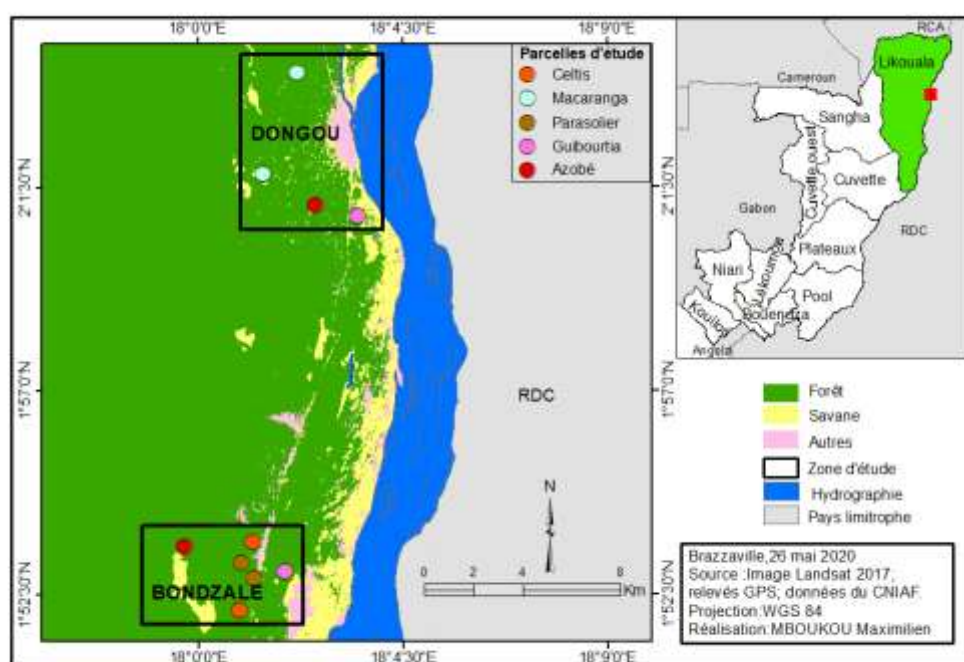


Figure 1: Localisation du milieu d'étude

Milieu Physique

Le département de la Likouala se trouve précisément dans le nuage équatorial (Moukolo, 1992) où règne le climat équatorial caractérisé par les précipitations annuelles qui oscillent entre 1207 et 2068 mm d'eau, la température moyenne annuelle est de 25,6° C et l'humidité relative annuelle est comprise entre 63 et 97 % (Bocko et al., 2017) avec une amplitude annuelle faible de 1 à 2 %, des écarts diurnes sont un peu plus marqués 9 à 14 %. D'après Venetier (1968), dans le département de la Likouala on distingue les sols ferrallitiques et hydromorphes:

La végétation de cette zone est variée. Il existe des forêts mixtes saisonnièrement inondables et inondées (Betbeder et al., 2013), des forêts secondaires dues aux activités anthropiques liées à l'agriculture itinérante sur brûlis, le feu de brousse, la culture de rente (Palmier à huile, Café, Cacao), la culture vivrière intensive (Manioc), l'infrastructure de communication physique (PNLCD, 2006; Ifo et al., 2016). La forêt marécageuse (forêt inondé et forêt inondable) règne sur presque toute la Likouala (Venetier, 1968; Moutsamboté, 2012). Faisant partie intégrante de l'unité structurale de la Cuvette congolaise, le Département de la Likouala a un relief relativement moins accidenté avec des altitudes n'excédant pas 500 mètres et des dénivellations inférieures à 50 m entre les interfleuves et les fonds de vallées ne s'élevant qu'au Nord-Ouest en direction des plateaux Oubangiens.

Méthodes utilisées

Sélection des parcelles

Le choix des parcelles expérimentales a été orienté suivant leur accessibilité et leur physionomie de paysage par rapport au type de forêt. L'installation des parcelles a été portée dans les forêts secondaires d'une part et dans les forêts adultes de terre ferme et marécageuses (inondée et inondable), d'autre part. Ces types de forêts ont été définis sur la base des caractéristiques de la structure, la forme de croissance et la couverture de la végétation. En fonction de la dominance et de l'abondance des espèces ainsi que de l'écologie (Moutsamboté, 2012), ces forêts ont été qualifiées de forêts adultes inondables à *Lophiraalata* (FAL), forêts adultes de terre ferme à *Celtisadolphi-friderici* (FAC), forêts adultes inondées à *Guibourtia demeusei* (FAG), des forêts secondaires à *Macaranga monandra* (FSMa) et à *Musangacecropioides* (FSMu)

Mise en place des parcelles et collecte des données floristiques

Nous avons procédé par l'ouverture des pistes de 100 m, en suivant les orientations de la boussole (Nord-Sud et Est-Ouest) de manière à obtenir les parcelles carrées au moyen d'un double décimètre. Pour un meilleur comptage des espèces végétales, une surface de 100 m x 100 m a été délimitée soit une superficie de 10.000 m² ou 1 ha par parcelle. Ensuite, chaque parcelle a été subdivisée en placette de 50 m x 50 m soit 4

placettes par parcelle de 2500 m² soit 0,25 ha. Dans chaque type de forêt, deux (2) parcelles, soit dix (10) parcelles dans l'ensemble de la zone d'étude ont été installées soit 10 ha. Dans ces parcelles, tous les arbres ayant un DHP ≥ 10 cm (Diamètre à Hauteur de Poitrine) mesurer à 1,30 m du sol (Rollet, 1983) à l'aide d'un compas forestier. Pour le cas des arbres à contrefort et à racines échasses, cette mesure a été effectuée à 30 cm au-dessus de ceux-ci. Les hauteurs des arbres ont été mesuré à l'aide d'un Vertex Laser pour les arbres à sommet visible. Pour le cas des arbres à sommet non visible, les hauteurs ont été estimées.

Estimation de la biomasse arienne

Pour cette étude, l'équation allométrique de Chaveet *al.* (2014) a été utilisée (équation 1).

$$AGBest = 0,0673 \times (\rho \times (D)^2 \times H)^{0,976} \quad \text{Équation 1}$$

ABG est: EstimateAbovegroundBiomass (biomasse aérienne estimée) en Kg, ρ = la densité spécifique du bois et; D = diamètre d'une espèce donné; H = hauteur totale d'une espèce donnée.

Les densités spécifiques des espèces ont été extraites du « Global Wood densitydatabase » élaboré par Zanneet *al.* (2009). Pour les espèces à densité spécifique inconnue nous avons utilisé la densité moyenne par défaut du bois d'Afrique qui vaut 0,65 g.cm³ (Lewis et *al.*, 2013).

Facteur d'échelle ou facteur d'expansion

Une expansion du volume du bois tiré des inventaires forestiers par des «coefficients d'expansion de la biomasse», a été utilisée afin d'estimer la biomasse arborée (GIEC, 2006). Cela est déterminé par l'équation 2.

$$\text{Facteur d'expansion} = \frac{10000 \text{ m}^2}{\text{Surface de la parcelle}} \quad \text{Equation 2}$$

La quantité de carbone contenue dans la biomasse aérienne s'obtient en multipliant la biomasse par un facteur de conversion par défaut qui est 0,47 (GIEC, 2006).

Estimation du volume de bois mort

Méthodes de collecte de bois mort

La collecte du bois mort s'est faite à l'intérieur de chaque parcelle de 1 ha. La procédure a consisté à tracer dans ces parcelles une ligne diagonale de 100 m et une autre parallèle de part et d'autre à celle-ci avec une équidistance de 1 m soit une surface échantillonnée de 200 m² sur laquelle tout le bois mort a été collecté (Moroni et Harris, 2007; Palletto et *al.*, 2008).

Les mesures ont été faites suivant le type de bois mort (Ifo et *al.*, 2017) :pour le cas des bois morts au sol ou couchés, nous avons considéré tous les débris ligneux de DHB inférieur à 8 cm. Pour ces débris ligneux, la mesure a été effectuée aux deux bouts (diamètre gros bout et petit bout). Pour le cas des débris ligneux de DHB supérieur à 8 cm, la mesure s'est faite au milieu de celui-ci à l'aide d'un compas forestier. Le bois mort debout et les souches de tous les individus de DBH ≥ 2,5 cm ont été mesurés à 1,30 et la hauteur à l'aide du Vertex Laser.

Classe de décomposition du bois mort

Nous avons procédé par la classification adoptée par Palletto et *al.* (2008) afin de prendre en compte le degré de décomposition du bois mort.

Tableau I: Critères présidant à l'évaluation du degré de décomposition du bois mort utilisés dans l'étude

Degré de décomposition	Ecorce	Petites branches (ø >3 cm)	Bois (Tronc et branches de ø > 3 cm)	
			Consistance bois au sol	Consistance tiges sur pied
1	Intacte et attachée au bois	Présent	Intact	Entier
2	Intacte mais distendue (non encore détachée)	Partiellement présente	Intact	Entier
3	Trace d'écorce	Absente	En morceaux	Partiellement tronqué dans sa partie apicale
5	Absente	Absente	En bloc	Tronqué

Estimation du volume de bois mort sur pied et du bois mort souche

Le calcul du volume du bois mort sur pied a été fait par l'équation 3 utilisée par Ifo et *al.* (2017); Bocko et *al.* (2017).

$$Vs = \left(\frac{DBH}{2}\right)^2 \times \pi \times h \times f \quad \text{Equation 3}$$

V_s = Volume bois mort (m^3); DBH = diamètre à la hauteur de poitrine (m); h= hauteur du bois mort (m), f= facteur forme (0,627). La conversion en biomasse a été faite en multipliant le volume par la densité du bois à $0,5 \text{ tmS}/m^3$ (Brown, 1997).

Estimation du volume de bois mort couché

L'équation 4 proposée par Palletto et al. (2008) a été utilisée pour le calcul du volume des bois morts couchés.

$$V = \frac{\pi^2(\sum di^2)}{8L} \text{Equation 4}$$

Avec $\pi= 3,14$; V= volume débris ligneux ($m^3 \text{ ha}^{-1}$), di = est le diamètre de chaque débris ligneux échantillonné (m), L= 100. La conversion des résultats obtenus du volume en masse est obtenue en fixant la valeur de la densité du bois à $0,5 \text{ tmS}/m^3$ (Brown, 1997).

Estimation du stock de carbone de bois mort

Le passage de la biomasse en carbone s'est fait en multipliant la biomasse sèche par 0,49 qui est une valeur par défaut des bois tropicaux proposée par GIEC(2006). Ce stock de carbone a été extrapolé à l'hectare par l'équation 5.

$$FE = \frac{10000m^2}{\text{Surfaceinventoriée}} \text{Equation 5}$$

Avec FE = Facteur d'expansion et la surface inventoriée = 200 m^2

Traitement et analyse statistique des données

Les données recueillies sur le terrain ont été saisies et ont permis de créer une base de données dans le tableur Microsoft Excel 2013. L'analyse de variance (ANOVA) a été effectuée pour comparer les moyennes des stocks de carbone dans les différents types de forêts étudiés. Le niveau de significativité choisi pour ces analyses, est de 5 %. Chaque fois que la probabilité calculée a été significative, le test de Tukeya été effectué pour comparer deux à deux les moyennes pour voir à quel niveau se situaient ces différences. Le logiciel SPSS version 22.0 a été utilisé pour la réalisation de ces tests statistiques.

III. Résultats et discussion

Carbone aérien des arbres vivants

La variabilité du stock de carbone et le nombre d'arbre par chaque type de forêt étudiée est présentée dans la figure 2.

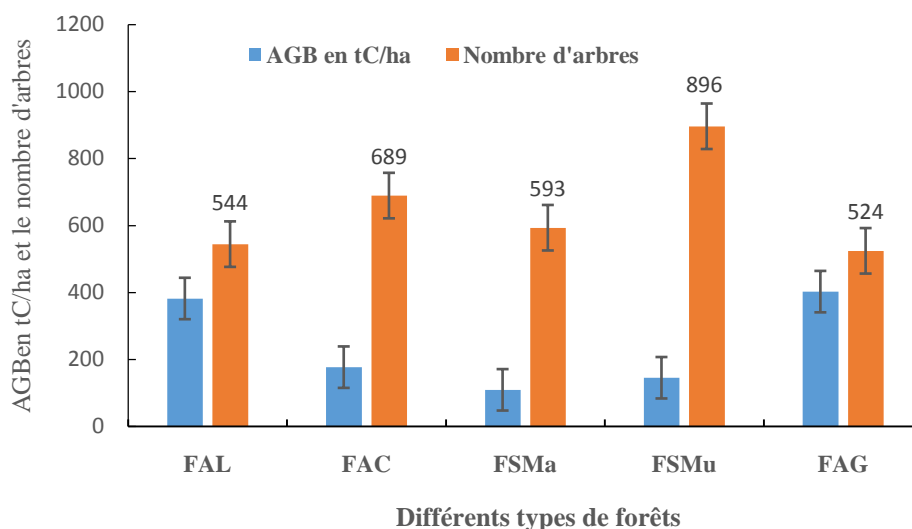


Figure 2: Stock de carbone aérien et le nombre d'arbre par type de forêt

(FAL= Forêt Adulte inondable à *Lophira alata*, FAC= Forêt Adulte de terre ferme à *Celtis adolfi-friderici*, FAG= Forêt Adulte inondée à *Guibourtia demeusei*, FSMa= Forêts Secondaires à *Macaranga monandra*, FSMu= Forêts Secondaires à *Musangacecropioides*)

Cette figure montre que, le stock de carbone le plus élevé est obtenu dans la forêt adulte inondée à *Guibourtia demeusei* (FAG) 402,14±71,25 tC/ha avec 524 arbres, suivi de la forêt adulte inondale *Lophiraalata* (FAL) 381,69±52,89tC/ha avec 544 arbres. Par contre, le stock de carbone le plus faible est obtenu dans les forêts secondaires à *Macaranga monandra* et à *Musangacecropioides* avec respectivement 108,86±20,6 et 144,94±19,14 tC/ha, et un nombre d'arbres élevé de 593 et 896.

L'analyse de la variance a révélé des différences significatives entre les types de forêts (P - value = 0,00) et le test de Tukeya montré que cette différence se trouvait entre les forêts adultes et les forêts secondaires

Stock de carbone par classe de diamètre

Le stock de carbone dans les 5 types de forêts varie d'une classe de diamètre à une autre (tableau II). Dans la forêt à *Lophiraalata* (FAL), la classe de diamètre VII est celle qui a le stock de carbone le plus important (50,82 tC/ha; 13 arbres), suivi de la classe V (43,95 tC/ha; 28 arbres). Le stock de carbone le plus important dans la FAC est obtenu dans la classe VIII (43,93tC/ha; 10 arbres), suivi de la classe IV (41,96tC/ha; 55 arbres). Dans la FSMa, la classe de diamètre II présente un stock de carbone plus élevé soit 13,92 tC/ha avec 5 arbres. Dans la FSMu, le stock de carbone est plus élevé au niveau des classes II et III (30,12 tC/ha et 310 arbres, 29,31 tC/ha et 189 arbres respectivement). Le stock de carbone dans la FAG est beaucoup plus séquestré par la classe VI et VII (82,06 tC/ha et 28 arbres; 50,59 tC/ha et 16 arbres respectivement).

Tableau II: Stock de carbone par classe de diamètre dans les 5 types de forêts (FAL= Forêt Adulte inondable à *Lophiraalata*, FAC= Forêt Adulte de terre ferme à *Celtisadolphi-friderici*, FAG= Forêt Adulte inondée à *Guibourtia demeusei*, FSMa= Forêts Secondaires à *Macaranga monandra*, FSMu= Forêts Secondaires à *Musangacecropioides*)

Classe de diamètre/Types de forêts	FAL (tC/ha)	FAC (tC/ha)	FSMa (tC/ha)	FSMu (tC/ha)	FAG (tC/ha)
Classe I	14,41 = 303 arbr.	17,43 = 353 arbr.	8,05 = 425 arbr.	11,17 = 327 arbr.	13,53 = 251 arbr.
Classe II	15,38 = 81	23,06 = 130	8,14 = 97	30,12=320arb.	16,38= 84
Classe III	29,55 = 61	31,77 = 76	5,24 = 26	29,91=189arb.	26,33 = 48
Classe IV	15,86 = 21	41,96 = 28	10,30 = 19	17,32 = 44	48,28 = 51 arbr.
Classe V	43,95 = 28	34,65 = 13	11,45 = 11	10,12 = 12	38,93 = 28
Classe VI	41,63 = 13	22,70 = 10	6,84 = 4	8,51 = 5	82,06 = 28 arbr.
Classe VII	50,82 = 13 arbr.	25,03 = 10	13,92 = 5 arb.	12,59 = 5	50,59 = 16 arb.
Classe VIII	30,96 = 5	43,93 = 10 arb.	3,19 = 1	-	27,67 = 7
Classe IX	19,49 = 4	13,16 = 4	4,39 = 1	4,29 = 1	34,60 = 6
Classe X	-	12,08 = 3	-	4,39 = 1	6,81 = 1
Classe XI	19,34 = 2	11,42 = 2	-	-	3,66 = 1
Classe XII	27,74 = 3	5,00 = 1	6,10 = 1	-	11,29 = 1
Classe XIII	28,50 = 2	28,16 = 3	9,14 = 1	5,21 = 1	-
Classe XIV	-	-	11,30 = 1	-	15,35 = 1
Classe XV	12,15 = 1	12,02 = 1	10,80 = 1	11,29 = 1	-
Classe XVI	14,85 = 1	-	-	-	-
Classe XVII	17,05 = 1	-	-	-	-
Classe XVIII	-	-	-	-	26,66 = 1

Carbone dans le bois mort

Les résultats (tableau III) montrent numériquement que la moyenne du stock de carbone du bois mort souche la plus élevée est obtenue dans la FSMa soit 2,22±1,41 tC/ha, suivie de la FSMu soit 0,55±1,61tC/ha. Cette moyenne est plus faible dans la FAC, dans la FAL et FAG (0,008±2,20; 0,01±2,68 et 0,03±5,83 tC/ha respectivement). Statistiquement il n'y a pas de différence significative (P- value = 0,88).

Il ressort du tableau III, le stock moyen de carbone le plus élevé est obtenu dans la FAL (10,87±3,75 tC/ha), s'ensuit la FAC (8,77±3,75 C/ha), la FSMu (2,18±2,94 tC/ha). Par contre, la plus faible valeur de ce stock de carbone est observée dans la FSMa (0,47±3,53 tC/ha) et aucun bois debout n'est présent dans la FAG. Statistiquement il n'y a pas de différence significative (P- value = 0,132).

Il en ressort de ce tableau III que, la FSMa présente le stock de carbone moyen du bois mort couché le plus élevé soit 6,92±1,38 tC/ha, suivi de la FSMu (6,11±1,00tC/ha), de la FAL (6,00±0,96tC/ha). Par contre, les moyennes les plus faibles sont obtenues dans la FAC soit 2,63±1,08 tC/ha et la FAG (3,47±1,02 tC/ha). Le test ANOVA montre une différence significative (P-value = 0,024) entre la FSMa et la FAC. Numériquement, le stock du carbone total des bois morts le plus important est obtenu dans la FAL (5,63±3,14tC/ha), suivie de la FAC (3,80±2,60 tC/ha), la FSMa (3,21±1,93 tC/ha). Le stock le plus faible est obtenu dans la FAG (1,17±1,15 tC/ha). Le test statistique révèle une différence non significative (P - value = 0,071).

Tableau III : Stock de carbone moyen des bois morts dans les différentes forêts en tC/ha(FAL= Forêt Adulte inondable à *Lophiraalata*, FAC= Forêt Adulte de terre ferme à *Celtisadolphi-friderici*, FAG= Forêt Adulte inondée à *Guibourtia demeusei*, FSMa= Forêts Secondaires à *Macaranga monandra*, FSMu= Forêts Secondaires à *Musangacecropioides*)

Types de bois mort Types de forêts	Bois mort souche (tC/ha)	Bois mort debout (tC/ha)	Bois mort couché (tC/ha)	Bois mort total (tC/ha)
FPL	0,01±2,68	10,87±3,75	6,00±0,96	5,63±3,14
FPC	0,008±2,20	8,77±3,75	2,63±1,08	3,80±2,60
FPG	0,03±5,83	0	3,47±0,83	1,17±1,15
FSMa	2,22±1,41	0,47±3,52	6,92±1,38	3,21±1,93
FSMu	0,55±1,61	2,18±2,94	6,11±1,00	2,94±1,65

Stock de carbone par classe de décomposition

Le tableau IV présente la variabilité des stocks du carbone par classe de décomposition dans les différentes forêts étudiées. Ces stocks de carbone varient du type de forêt à un autre et d'une classe à l'autre.

Ce résultat montre que, la classe 1a présente le stock le plus faible dans tous les types de forêts étudiés. Le stock de carbone le plus important dans la FAL est obtenu au niveau classe 3 (21,80±4,06tC/ha). Le test de Tukey montre une différence très significative entre la classe 3, 2 et 1 (P – value = 0,000). La différence est non significative entre la classe 3 et la classe 4 (P- value = 0,6). Dans la FAC, la classe 4 (7,55±2,15 tC/ha) est la plus importante. La classe 3 est la plus élevée dans la FAG (17,60±7,87 tC/ha) avec une différence très significative entre la classe 1, 2 et 3 (P – value = 0,000). Dans la FSMa, c'est la classe 3 (25,95±8,16 tC/ha). Le test montre une différence très significative entre les classes 1, 2 et 4 (P – value = 0,000). La classe 3 présente le stock le plus important dans la FSMu 13,59±3,69 tC/ha. La différence est très significative entre la classe 1 et 3 (P – value = 0,000) et non significative entre la classe 3 et classe 4 (P – value = 0,06).

Tableau IV: Stock de carbone dans les classes de décomposition (FAL= Forêt Adulte inondable à *Lophiraalata*, FAC= Forêt Adulte de terre ferme à *Celtisadolphi-friderici*, FAG= Forêt Adulte inondée à *Guibourtia demeusei*, FSMa= Forêts Secondaires à *Macaranga monandra*, FSMu= Forêts Secondaires à *Musangacecropioides*)

Type de forêts	FPL (tC/ha)	FPC (tC/ha)	FPG (tC/ha)	FSMa (tC/ha)	FSMu (tC/ha)
Classe 1	0,92±0,10	0,55±0,12	2,73±0,71	5,55±1,22	2,90±2,80
Classe 2	4,54±1,46	1,13±0,32	2,29±0,47	6,67±2,04	3,26±0,51
Classe 3	21,80±4,06	3,96±0,74	17,60±7,87	25,95±8,16	13,59±3,69
Classe 4	15,45±6,83	7,55±2,15	5,45±3,00	5,00±2,37	6,30±1,17

Discussion

Les résultats obtenus montrent que les moyennes des quantités de carbone aérien des arbres vivants dans les différents types de forêts étudiées sont plus élevées dans les forêts adultes que dans les forêts secondaires. Ainsi, Plusieurs facteurs peuvent expliquer cette augmentation des quantités de carbone dans les différents types de forêts étudiés (Houghton et al., 2001; Loubota et al., 2016; Ifo et al., 2017; Bocko, 2018). L'influence du type de sol joue un rôle clé dans la variabilité de stocks de biomasse aérienne (Clark et Clark, 2000), le type de sol contrôle la composition floristique (Laurance et al., 1999; PNLCD, 2006) et explique sa différence entre les faciès forestiers par une sélection naturelle liée à l'adaptation des espèces à faible densité spécifique. L'âge des peuplements forestiers est le principal facteur de variation du stock de carbone (IFEN, 2007). Dorvil (2010), stipule que les grands arbres des forêts tropicales sont inévitablement les éléments dominants de la biomasse aérienne. En se référant à ces auteurs, les résultats du stock de carbone dans les forêts secondaires à *Macaranga monandra* et *Muasangacecropioides* concordent avec leurs théories car dans notre cas, les stocks de carbone sont relativement faibles dans les forêts secondaires par rapport aux quantités obtenues dans les forêts adultes.

Une augmentation des stocks de carbone dans les forêts adultes inondées à *Guiboutia demeusei* et inondables à *Lophiraalata* est due certainement aux types du sol qui contrôlent la composition floristique d'une part et d'autre part, à la densité spécifique, le diamètre et la hauteur des arbres (Chave et al., 2005). Rossi et al. (2005) soulignent qu'un peuplement multi stratifié aura un meilleur stock de carbone. Ce qui confirme les résultats du stock de carbone dans les forêts adultes dont les arbres sont dans l'ensemble de gros diamètre avec les hauteurs élevées ainsi que des compositions spécifiques très variées.

Il ressort de cette étude que, dans toutes les forêts étudiées, les quantités de carbone les plus importantes sont obtenues dans les classes des arbres à gros diamètres. Dans la FAC, le stock le plus faible est obtenu dans la classe I avec 14,41 tC/ha soit 303 arbres. Par contre, le stock le plus élevé est obtenu dans la classe VII (50,82 soit 13 arbres). Dans la FAC, la classe I présente le nombre d'arbres le plus élevé (17,43 tC/ha soit 353 arbres), par contre la classe VII présente 10 arbres avec un stock important (43,93 tC/ha). La FAG étale

dans la classe I 13,5 tC/ha pour 251 arbres avec un stock de carbone le plus élevé dans la classe VI (82,06 tC/ha avec 28 arbres). Dans la FSMa, la classe I présente le nombre d'arbres plus élevé soit 425 avec un stock de carbone faible (8,05 tC/ha). Cependant, la classe VII avec 5 arbres a stocké plus de carbone (13,92 tC/ha). La FSMu, c'est la classe II qui a stocké plus de carbone (31,13 tC/ha et 310 arbres). Cette étude montre que le stock de carbone ne dépend pas du nombre d'arbres mais du diamètre de l'arbre et de sa densité spécifique (Henry et al., 2010). Les arbres de gros diamètre présentent des stocks de carbone importants (Rossi, 2015; Doetterl et al., 2015; Fayolle et al., 2016). Clark et Clark (2000) soulignent que les arbres ayant un DHP ≥ 79 cm contribuent à un stock de carbone plus élevé environ 30 %.

Les résultats du carbone de bois mort présentent une différence non significative (P - value = 0,071) entre les 5 types de forêts. Mais ce stock du carbone de bois morts le plus important est obtenu dans la FAL (5,63 \pm 3,14 tC/ha), suivie de la FAC (3,80 \pm 2,60 tC/ha), la FSMa (3,21 \pm 1,93 tC/ha), la FSMu (2,94 \pm 1,65 tC/ha). Le stock le plus faible est obtenu dans la FPG (1,17 \pm 1,15 tC/ha). Le faible stock de carbone du bois mort observé dans la FSMa et la FSMu est dû certainement par de multiples actions anthropiques menées dans ces forêts dont le ramassage du bois de chauffe est la cause principale de cette diminution. Par contre, le faible stock de carbone de bois mort dans la FAG est dû certainement par le niveau d'eau qui entraîne les débris végétaux vers les zones les plus sèches ou périodiquement inondées.

Les résultats des forêts secondaires sont en accord avec la théorie de Rice et al. (2004); Dirocco et al. (2012); Ngo et al. (2013) qui stipulent que la quantification des stocks et des flux des débris végétaux constitue un indicateur important de l'état de la perturbation ou de la stabilité des écosystèmes forestiers et permet d'en déterminer les causes. Elle nous renseigne par ailleurs sur l'historique des récentes perturbations qui ont eu lieu dans le site d'étude (Hunter, 1990; Palto et al., 2008; Ifo, 2010). Certains Auteurs soulignent que plusieurs causes expliqueraient la variabilité de production du bois mort entre les types de forêts: l'espèce, l'âge, le vent, le feu, les maladies, la pauvreté chimique des sols, la densité du bois, etc (Harmonet et al., 1986; Chambers, 1998).

Le stock de carbone du bois mort couché le plus important est obtenu dans la FSMa suivi de la FAL. Cependant les moyennes du stock de carbone les plus faibles sont obtenues dans les FAC. En ce qui concerne le bois mort souche, les FSMa et FSMu présentent les moyennes les plus élevées que celles des forêts adultes. Nous pouvons alors noter que, l'augmentation du stock de carbone du bois mort couché et du bois mort souche dans les forêts secondaires est due certainement aux activités anthropiques notamment la coupe de bois de chauffe et les gollettes dans ces forêts qui sont plus proche du village. En plus, après les travaux champêtres, les souches restent beaucoup plus dans ces zones. Kissinger et al. (2012) ont montré que l'agriculture paysanne et d'autres activités anthropiques sont la principale cause de la déforestation dans les zones tropicales et produit beaucoup de débris végétaux. Cependant, les moyennes des stocks de carbone des bois morts debout sont plus élevées dans les FAL et FAC et les plus faibles dans les FSMu. Cette différence est due certainement par le fait que ces forêts secondaires sont encore jeunes et il y a moins de compétition des espèces végétales. Or, plus la forêt est vieille, plus le bois mort sur pied n'est important. Plus elle est jeune, plus le nombre de bois morts sur pied est faible (Vallauri et al., 2003). L'étude réalisée par Ifo et al. (2017) dans cette même zone montre que les stocks de carbone élevés notés dans les forêts primaires sont essentiellement dus aux phénomènes des chablis.

Les forêts secondaires dans cette étude ont stocké moins de carbone dans le bois mort debout que les forêts adultes. Dans les forêts secondaires, le ramassage des résidus d'arbres après coupe par les hommes pourrait justifier la faible accumulation des débris végétaux dans ces deux systèmes forestiers (Ifo et al., 2017). D'après Vallauri et al. (2003), le bois mort sur pied ou debout, est très abondant dans les forêts matures que dans les forêts secondaires.

Concernant les classes de décomposition, la classe 3 reste la seule dont le stock de carbone est plus élevé dans tous les 5 types de forêts. Cette augmentation est due certainement à la présence de gros diamètres de bois mort dans cette classe. L'augmentation du stock de carbone dans cette forêt est due certainement à l'éloignement de la forêt avec le village, ce qui rend rare le ramassage du bois de chauffe dans cette zone.

IV. CONCLUSION

Cette étude réalisée dans les forêts adultes et les forêts secondaires de l'axe Impfondo-Dongou dans le département de la Likouala sur une superficie de 10 ha dont 2 parcelles de 1 ha chacun par type de forêts a permis de conclure que, les forêts adultes séquestrent plus de carbone que les forêts secondaires. Par contre, les forêts secondaires ont plus d'individus que les forêts adultes. Cette étude a montré que les activités anthropiques ont favorisé plus d'accumulation du bois mort et que les forêts secondaires stockent plus de carbone de bois mort souche et de bois mort couché.

CONFLIT D'INTERETS

Les auteurs déclarent qu'ils n'ont pas d'intérêts concurrents

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

Toutes les auteurs ont participé à la rédaction et la lecture de ce manuscrit. Parc contre, SFN et MM ont participé à la collecte de données et à la compilation du manuscrit.

REMERCIEMENTS

Tous les auteurs de cet article, remercient très sincèrement, les membres du Laboratoire de Géomatique et d'Ecologie Tropicale Appliquée pour leur implication dans la rédaction de ce manuscrit ainsi que les autorités du Département de la Likouala pour l'accès facile dans leurs forêts.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]. T. M. Aide, J. K. Zimmerman, J. B. L. Pascarella Rivera And H. Marcano-Ve Ga, "Forest Regeneration In A Chronosequence Of Tropical Abandoned Pastures: Implications For Restoration Ecology". *Restoration Ecology*, 8 (4), 328-338, 2000.
- [2]. C. Becel, "Croissance En Verger Des Pêchers. Influence De La Distribution De L'eau Dans Le Sol Et De La Disponibilité En Assimilats Carbonés". Thèse De Doctorat, Université D'avignon Et Des Pays De Vaucluse, 147, 2010.
- [3]. Y. E. Bocko, "Variation Spatiale Des Stocks De Carbone Des Forêts Marécageuses De La Likouala (Nord-Congo)". Thèse De Doctorat. Université Marien Ngouabi, Brazzaville, Congo, 131p, 2018.
- [4]. Y. E. Bocko, S. A. Ifo Et J. J. Loumeto, "Quantification Des Stocks De Carbone De Trois Pools Clés De Carbone En Afrique Centrale: Cas De La Forêt Marécageuse De La Likouala (Nord Congo)". *Esj*, Edition Vol.13, No.5 Issn: 1857 – 7881, 2017 (Print) E - Issn 1857- 743
- [5]. L. Bouetou-Kadilamio, S.A. Ifo Et S. Binsangou, "Changement De Couverture Forestière Dans Le Département De La Likouala (République Du Congo) Durant La Période De 1986 A 2015". *European Scientific Journal*, 13 (24): 322-343, 2017.
- [6]. S. Brown, "Estimating Biomass And Biomass Change Of Tropical Forests". *Fao, Forestry Paper Rome, Italy*, 134p, 1997.
- [7]. J. Q. Chambers, "The Role Of Large Wood In The Carbon Cycle Of Central Amazon Rain Forest". Ph.D. Dissertation, University Of California, Santa Barbara, Usa, 28p, 1998.
- [8]. J. Chave, S. Brown, M. A. Cairns, J. Q. Chambers, D. Eamus, H. Folster, F. Fromard, N. Higuchi, T. Kira, J. P. Lescuyer, B. Nelson, H. Ogawa, H. Puig, B. Reira And T. Yamakura, "Tree Allometry And Improved Estimation Of Carbon Stock And Balance In Tropical Forest". *Oecologia* 145: 87-99, 2005.
- [9]. J. Chave, M. Réjou-Méchain, A. Búrquez, Et Al., "Improved Allometric Models To Estimate The Aboveground Biomass Of Tropical Trees". *Global Change Biology*, 20 : 3177–3190, 2014.
- [10]. D. B. Clark And A. Deborah, "Detecting Tropical Forests' Responses To Global Climatic And Atmospheric Change: Current Challenges And A Way Forward". *Biotropica*, 39 (1), 4-19, 2007.
- [11]. D. B. Clark And D. A. Clark, Landscape-Scale Variation In Forest Structure And Biomass In A Tropical Rain Forest. *Forest Ecology And Management*, 137: 185-198, 2000.
- [12]. Clark, B. David, Clark, A. Deborah, Oberbauer And F. Steven, Annual Wood Production In A Tropical Rain Forest In Ne Costa Rica Linked To Climatic Variation But Not To Increasing CO₂. *Global Change Biology*, 16 (2), 747-759, 2010.
- [13]. L. T. Dirocco, "A Thorough Quantification Of Tropical Forest Carbon Stocks In Malaysia". *Carbon Stocks Of Tropical Forests*, Pp: 1-18, 2012
- [14]. S. Doetterl, E. Kearsley, M. Bauters, K. Hufkens And Janvier, "Aboveground Vs. Belowground Carbon Stocks In African Tropical Lowland Rainforest: Drivers And Implications". *Plos One*, 10: 143-209, 2015.
- [15]. W. Dorvil, "Evaluation De La Biomasse Et Des Stocks De Carbone Sur Des Placettes Forestières En Forêts Tropicales Humides De Guadeloupe". Master En Sciences Et Technologies. Université Des Antilles Et De La Guyane, Guadeloupe, 32p, 2010.
- [16]. *Fao*, 2017. Carbone Organique Du Sol: Une Richesse Invisible. Rome, Italie, 90p.
- [17]. A. Fayolle, G. J. LoubotaPanzou, T. Drouet, "Taller Trees, Denser Stands And Greater Biomass In Semi-Deciduous Than In Evergreen Lowland Central African Forests". *Forest Ecology And Management*, 374, 42-50, 2016.
- [18]. M. P. Fearnside And W. F., Laurance, "Tropical Deforestation And Greenhouse-Gas Emissions". *Ecological Applications*, 14 (4), 982-986, 2004.
- [19]. Foody, M. Giles, Palubinskas, Gintautas, Lucas, M. Richard, Curran, J. Paul And Honzak, Miroslav, "Identifying Terrestrial Carbon Sinks: Classification Of Successional Stages In Regenerating Tropical Forest From Landsat Tm Data". *Remote Sensing Of Environment*, 55 (3), 205-216, 1996.
- [20]. Giec, "Lignes Directrices 2006 Du Giec Pour Les Inventaires Nationaux De Gaz A Effet De Serre". Chapitre 4: Terres Forestières, 93p, 2006.
- [21]. C. D. Greta, S. L. Lewis, I. T. Lawson, T. A. Edward, S. E. Mitchard Page, Y. E Bocko And S. A. Ifo, "Age, Extent And Carbon Storage Of The Central Congo Basin Peatland Complex". *Doi:10.1038/Nature 21048*, 2017.
- [22]. M. E. Harmon, J. F. Franklin, F. J. Swanson, P. Sollins, S. V. Gregory, Lattin J. D., Anderson N. H., Cline P., Aumen N. G., J. R. Sedell, G. W. Lienkaemper, Jr. K. Cromack, And K.W. Cummins, "Ecology Of Coarse Woody Debris In Temperate Ecosystems". *Adv. Ecol. Res.* 15: 133-302, 1986.
- [23]. D. Harris, J. M. Moutsamboté, E. Kami, J. Florence, S. G. M. A. H. Bridgewater Et Wortley, "Introduction Aux Arbres Du Nord-Congo", 208p, 2011.
- [24]. M. Henry, A. Besnard, W.A. Asante, J. Eshun, A. Adu-Bredu, R. Valentini, M. Bernoux And L. Saint-Andre, "Wood Density, Phytomass Variations Within And Among Trees, And Allometric Equations In A Tropical Rainforest Of Africa". *Forest Ecology And Management*. 260 : 1375-1388, 2010.
- [25]. R. A. Houghton, "Aboveground Forest Biomass And The Global Carbon Balance". *Global Change Biology*, 11 (6), 945-958, 2005.
- [26]. Ifen, "Le Stock De Carbone Dans Les Sols Agricoles Diminue". *Les Données De L'environnement*, N°121, 4p, 2007.
- [27]. A. S. Ifo, F. Koubouana, C. Jourdain, And D. Nganga, "Stock And Flow Of Carbon In Plant Woody Debris In Two Different Types Of Natural Forests In Bateké Plateau, Central Africa". *Open Journal Of Forestry*, 5, 38-47, 2015. [Http://dx.doi.org/10.4236/Ojfor.2015.51005](http://dx.doi.org/10.4236/Ojfor.2015.51005)
- [28]. S. A. Ifo, Apports De Carbone Au Sol Et Stocks Dans Deux Types Forestiers (Forêt Galerie Et Forêt Secondaire) Des Plateaux Tekés. Thèse De Doctorat, Université Marien Ngouabi, Brazzaville, Spécialité : Ecologie Végétale, 194p, 2010.

- [29]. S. A. Ifo, M. Mbemba Et F. Koubouana, "Stock De Carbone Dans Les Gros Débris Ligneux Végétaux: Cas Des Forêts Tropicales Pluvieuses De LaLikouala, République Du Congo". Esj, April 2017, Edition, Vol.13, No.12 Issn: 1857 – 7881 (Print) E - Issn 1857-7431.