

Reconstitution du stock de carbone pendant la dynamique de régénération de l'Unité Forestière d'Aménagement (UFA) Tsama-Mbama en comparaison avec la forêt primaire, département de la Cuvette-Ouest (République du Congo)

Mondzali Lenguiya Romarick, Doctorant

Koubouana Félix, PhD

Mboukou Kimbatsa Née Goma Irène Marie Cécile

Ndzai Saint Fédriche, PhD

Laboratoire de Géomatique et d'Ecologie Tropicale Appliquée (LGETA),
Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et d'Foresterie (ENSAF),
Brazzaville Université Marien Ngouabi, République du Congo

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n27p165](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n27p165)

Submitted: 28 July 2024

Accepted: 20 September 2024

Published: 30 September 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Lenguiya Romarick, M., Félix, K., Mboukou Kimbatsa, N. G. I. M. C., & Saint Fédriche, N. (2024). *Reconstitution du stock de carbone pendant la dynamique de régénération de l'Unité Forestière d'Aménagement (UFA) Tsama-Mbama en comparaison avec la forêt primaire, département de la Cuvette-Ouest (République du Congo)*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (27), 165. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n27p165>

Résumé

L'agriculture sur brûlis est l'une des causes de changement du couvert forestier dont la conséquence environnementale est la perte du couvert forestier qui contribue aux changements climatiques. Cette étude permet de suivre la reconstitution du stock de carbone pendant la dynamique de régénération de la forêt après culture sur brûlis dans l'Unité Forestière d'Aménagement Tsama-Mbama. Au total, 8 parcelles d'un ha chacune ont été installées dans les jachères, forêts secondaires et la forêt mature ou « primaire » dont tous les arbres de diamètre ≥ 5 cm à 1,30 m du sol ont été dénombrés par un inventaire systématique. Le prélèvement des échantillons du carbone organique et des racines ont été effectués sur les profondeurs de 0-10 cm et 10-20 cm. La biomasse aérienne a été déterminée par l'équation allométrique et converties en valeur de carbone à l'aide de fraction de carbone de la matière sèche. Le carbone organique du sol est estimé après la détermination de la densité apparente et de la teneur du carbone organique de

chaque échantillon du sol au laboratoire. La biomasse racinaire est déterminée après séchage des racines à l'étuve à une température de 70 °C pendant 72 heures. Il a été recensé 5608 individus répartis dans 135 espèces, 102 genres et 41 familles. Les densités varient de 311 à 1039 pieds/ha et les surfaces terrières varient de 1,49 à 32,72 m²/ha. Le stock de carbone aérien varie de 3,36 tC/ha à 237,15 tC/ha. Le stock du carbone organique du sol varie de 1,48 à 2,5 tC/ha et de 0,95 à 1,43 tC/ha respectivement pour le premier et le deuxième horizon. Le stock de carbone des racines varie de 0,41 à 0,58tC/h, 0,09 à 0,54 tC/ha et 0 à 0,88 tC/ha pour le premier horizon ; de 0,13 à 0,3 tC/ha, 0,1 à 0,38 tC/ha et 0 à 0,35 tC/ha pour le deuxième horizon respectivement pour les racines fines, moyennes et grossières. Cette étude a montré que le stock de carbone aérien séquestré croît avec l'âge de la forêt. Par contre, le carbone organique du sol ne semble pas être influencé par l'âge de la forêt.

Mots-clés: Forêt primaire, jachères, biomasse aérienne, carbone du sol, racines

Reconstitution of the carbon stock during the regeneration dynamics of the Tsama-Mbama Forest Management Unit (FMU) in comparison with the primary forest, Cuvette-Ouest Department (Republic of Congo)

Mondzali Lenguiya Romarick, Doctorant

Koubouana Félix, PhD

Mboukou Kimbatsa Née Goma Irène Marie Cécile

Ndzai Saint Fédriche, PhD

Laboratoire de Géomatique et d'Ecologie Tropicale Appliquée (LGETA),
Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et d Foresterie (ENSAF),
Brazzaville Université Marien Ngouabi, République du Congo

Abstract

Slash-and-burn agriculture is one of the causes of forest cover change, the environmental consequence of which is the loss of forest cover, which contributes to climate change. This study makes it possible to monitor the reconstitution of forest regeneration after slash-and-burn agriculture in the Tsama-Mbama Forest Management Unit. A total of 8 plots of one hectare each were set up in fallow, secondary forest, and mature or 'primary' forest, with all trees with a diameter ≥ 5 cm at 1.30 m above ground level being counted by systematic inventory. Samples of organic carbon and roots were taken at

depths of 0-10 cm and 10-20 cm. Above-ground biomass was determined using the allometric equation and converted to a carbon value using the carbon fraction of dry matter. Soil organic carbon was estimated after determining the bulk density and organic carbon content of each soil sample in the laboratory. Root biomass is determined after drying the roots in an oven roots in an oven at a temperature of 70°C for 72 hours. A total of 5608 individuals were recorded, divided into 135 species, 102 genera and 41 families. Densities ranged from 311 to 1039 plants/ha and surface areas from 1.49 to 32.72 m²/ha. Above-ground carbon stock varied from 3.36 tC/ha to 237.15 tC/ha. Soil organic carbon stock varied from 1.48 to 2.5 tC/ha and from 0.95 to 1.43 tC/ha for the first and second horizons respectively. The carbon stock in the roots varies from 0.41 to 0.58 tC/h, 0.09 to 0.54 tC/ha and 0 to 0.88 tC/ha for the first horizon; from 0.13 to 0.3 tC/ha, 0.1 to 0.38 tC/ha and 0 to 0.35 tC/ha for the second horizon for fine, medium and coarse roots respectively. This study showed that the stock of sequestered aerial carbon increases with the age of the forest. In contrast, soil organic carbon does not appear to be influenced by forest age.

Keywords: Primary forest, fallows, above-ground biomass, soil carbon, roots

Introduction

Les forêts tropicales représentent 45 % de la superficie forestière mondiale soit 4,06 milliards d'hectares dont 1,11 milliard d'hectares de forêt primaire (FAO, 2021). De nos jours, la forêt tropicale constitue un enjeu politique, économique et scientifique. Elle est soumise à une forte action destructrice à des fins d'exploitation du sol pour l'élevage, l'agriculture et de production des bois (Chave, 2000). Le bassin du Congo, deuxième plus grand massif des forêts tropicales denses et humides de la planète après l'Amazonie (Mayaux *et al.*, 1998 ; 2003), est l'une des deux dernières régions au monde qui possèdent de vastes étendues interconnectées de forêt tropicale humide abritant une grande diversité de plantes vasculaires (Blacke *et al.*, 2005) moins fragmentées et étroitement contiguës (De Wasseige *et al.*, 2012 ; Megevand *et al.*, 2013 ; FAO et Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE), 2020). Ces forêts représentent un réservoir exceptionnel de carbone et de biodiversité pour les pays concernés et pour la planète entière. Elles offrent des moyens de subsistance à plus de 60 millions de personnes et contribuent à en nourrir 40 millions d'autres dans certains centres urbains à proximité (Eba'a *et al.*, 2022). Selon les données du Global Forest Watch (2022), durant la période 2001-2021, les forêts du bassin du Congo ont perdu 26,1 % de leur couvert végétal par rapport à l'année 2000 et une émission de 12,854 Gt du CO₂ suite à l'extraction minière, la construction de routes, l'agro-industrie et les biocarburants, l'expansion de l'agriculture de

subsistance et de la production de charbon de bois (Megevand *et al.*, 2013 ; Molinario, 2020). Située au cœur du Bassin du Congo, la République du Congo couvre une superficie forestière estimée à 67,1% du territoire national soit 12,4 % de forêts denses d'Afrique (Blacke *et al.*, 2005; De Wasseige *et al.*, 2014). Selon les mêmes données du Global Forest Watch (2023), le Congo durant la même période 2001-2022, a perdu 3,7% du couvert végétal dont 1,9% de la forêt primaire humide de 2002-2022 et une émission de 573 Mt du CO₂e. Les surfaces ainsi déboisées se transforment en jachères forestières, puis en forêts secondaires et la superficie de ces dernières augmente chaque année (Lubini, 2003). Les forêts secondaires occupent une superficie non négligeable au Congo avec 4% de la superficie totale du pays en 2000 (De Wasseige *et al.*, 2014). Ces formations de succession ont fait l'objet de quelques études au Congo. Ces études ont porté principalement sur la dynamique de reconstitution floristique et la richesse floristique (Moutsamboté, 1985 ; Koubouana *et al.*, 2016; Missamba-Lola *et al.*, 2015) puis sur le stock de carbone global (Ifo, 2010 ; Bocko *et al.*, 2017 ; Ifo *et al.*, 2019 ; Ndzai, 2022). Jusqu'à présent, aucune étude n'a abordée l'aspect de la dynamique de la reconstitution du stockage de carbone forestier après une activité anthropique au Congo. C'est dans l'optique de combler l'insuffisance de connaissances sur le sujet abordé que la présente étude a été réalisée. Cette étude a pour objectif général, d'améliorer la connaissance de la reconstitution du stock de carbone forestier au cours de la dynamique de régénération des forêts après la culture sur brûlis dans l'Unité Forestière d'Aménagement Tsama-Mbama. Plus spécifiquement, il s'agit de : (i) évaluer le stock de carbone de chaque pool étudié dans les différents stades de la reconstitution de la forêt étudiée ; (ii) évaluer le stock de carbone de la forêt primaire de cette zone d'étude.

1. Matériel et Methodes

1.1. Présentation de la zone d'étude

L'étude a été réalisée dans la partie sud- Est de l'UFA Tsama-Mbama entre le district de Mbama et le district d'Etoumbi. Cette UFA couvre une superficie de 548.620 hectares, et est située dans le domaine forestier de la zone IV Cuvette-Ouest, du secteur forestier Nord, dans le département de Cuvette-Ouest en République du Congo (Figure 1). Elle est limitée : au nord par la route Akana-Oboli-Tcherré ; à l'Est par la limite entre les départements de la Cuvette et de la Cuvette-Ouest ; au Sud par la rivière Kouyou et à l'Ouest par la ligne frontalière Congo-Gabon.

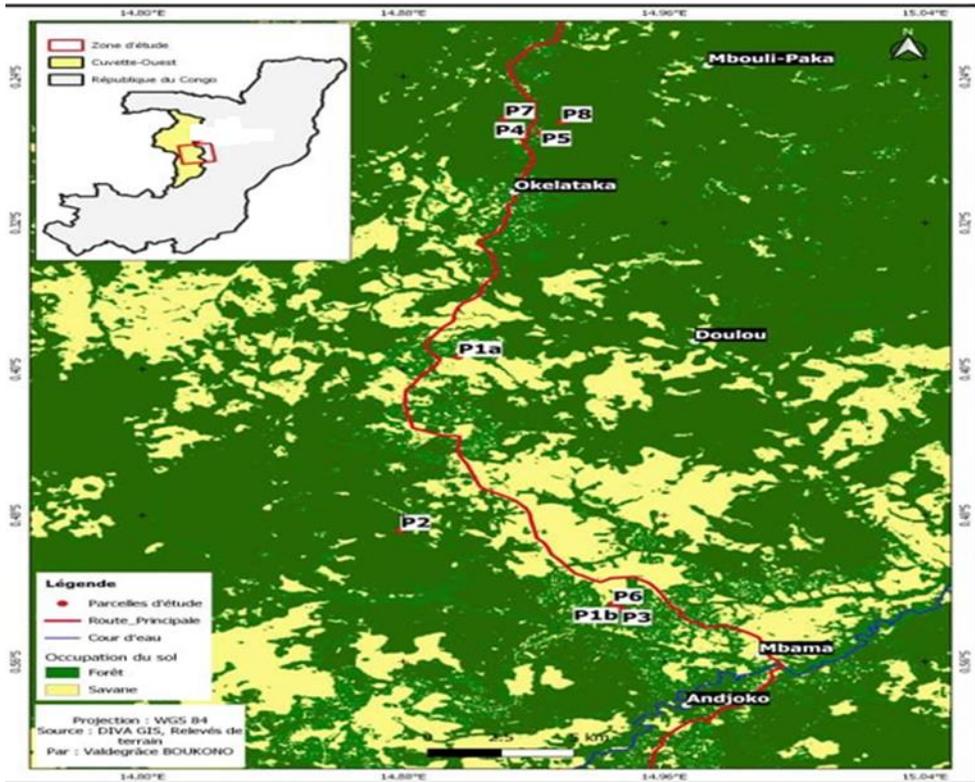


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

Le climat de l'UFA Tsama-Mbama est de type subéquatorial (Fao, 2005 ; Batchi Mav et al., 2023) avec des températures moyennes annuelles qui oscillent autour de 25 °C et une variation de faible amplitude. Les données climatiques collectées auprès de la direction nationale de la météorologie pour la période de 2010 à 2022, indiquent une pluviosité annuelle variant entre 1267 et 2066 mm/an. Cette zone présente une saison sèche de 2 ou 3 mois, de juin à août et deux saisons de pluie. La première débute de janvier à mi-mai, la seconde s'étend de septembre jusqu'à décembre et avec un pic des précipitations en octobre et novembre (figure 2).

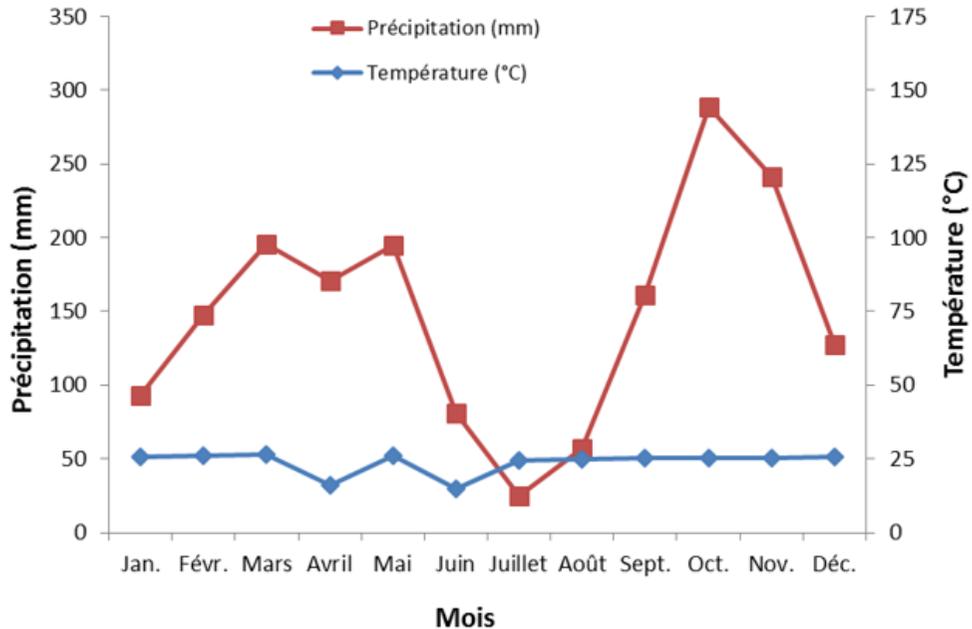


Figure 2 : Diagramme ombrothermique
(Source des données de la station ANAC Kellé de 2010 à 2022)

Les travaux de Laboundou Eyéni (2013) montrent que l'UFATsama-Tsama est située sur deux séries géologiques : les formations des Plateaux Batékés et le complexe de base de l'Ivindo qui représente une sédimentation géosynclinale à dominante argilo-gréseuse. Postérieurement au métamorphisme général de l'ensemble des sédiments, se produisent les manifestations métasomatiques qui donnent naissance aux roches cristallines. Les formations des Plateaux Batékés sont représentées par la série du Stanley-pool caractérisée par les Grès tendres argilo marneux. Les sols de cette zone sont ferrallitiques fortement désaturés en base échangeable (De Boissezon *et al.*, 1969 ; Laboundou Eyéni, 2013). La végétation de la zone d'étude est formée des forêts et des savanes. Les savanes occupent plus de 14% de la superficie totale de l'UFA. Les zones forestières sont constituées des forêts primaires, des forêts jeunes qui se développent à la suite de l'expansion de la forêt vers la savane et des forêts de reconstitution suite aux activités anthropiques. Nos travaux de thèse en cours de rédaction montrent que ces forêts sont dominées par des essences de grande valeur commerciale telles que : *Lophira alata* Banks ex C.F Gaertn, *Piptadeniastrum africanum* (Hook.f.) Brenan, *Pterocarpus soyauxii* Traub, *Staudtia kameruneensis* Warb. On y trouve dans cette UFA de nombreux cours d'eau : Kouyou, Likouala-Moussaka, Lessibi, Doulou, Duassi, Lola, Lékoli.

1.2. Méthodes d'étude

1.2.1. Collecte des données de terrain

Le suivi de la reconstitution de la forêt est effectué par la méthode indirecte ou synchronique qui consiste à délimiter sur le terrain des parcelles d'âges différents dans lesquelles seront identifiées et dénombrées toutes les espèces existantes de diamètre ≥ 5 cm. Elle est la plus utilisée et la plus facilement réalisable (Mitja *et al.*, 1989) pour suivre la dynamique de reconstitution d'une forêt. En Afrique, elle a été utilisée par des nombreux auteurs Kahn (1982); Moutsamboté (1985) ; Mitja *et al.* (1989); Randriamalala *et al.* (2007) ; Razafimahatratra *et al.* (2008); Missamba *et al.* (2015). Cette méthode permet d'avoir une vision globale de la reconstitution de la forêt (Moutsamboté, 1985), de suivre l'évolution historique de la végétation à partir de l'analyse des jachères d'âges différents et qui aboutit à un schéma unique de la reconstitution forestière (Mitja *et al.*, 1989).

1.2.2. Installation des parcelles et inventaire floristique

Au total, huit (8) parcelles d'un ha chacune ont été installées dans les jachères, forêts secondaires de différents âges (1 an à 3 ans ; 5 ans à 7 ans ; 10 ans à 12 ans ; 15 ans à 18 ans ; 21 ans à 25 ans ; 35 ans à 40 ans et 45 ans à 50 ans) et une parcelle témoin dans la forêt primaire. Pour cette étude, sont considérées comme forêt secondaire, les parcelles de plus de vingt (20) ans de reconstitution (GIEC, 2006). Chaque parcelle a été subdivisée en placette de 100 m x 10 m à l'aide d'un ruban-mètre et géoréférencée par un GPS. Dans chaque parcelle, tous les arbres de diamètre supérieur ou égal à 5 cm (≥ 5 cm) à 1,30 m du sol ont été mesurés à l'aide d'un ruban à diamètre et identifiés (Ambombo *et al.*, 2018). Pour le cas des arbres à contrefort ou à racines échasses, le diamètre a été mesuré à 30 cm au-dessus de ceux-ci (Kimpolo *et al.*, 2021). Pour les arbres non identifiés sur le terrain, les échantillons ont été prélevés, conservés dans les papiers journaux pour être identifié à l'Herbier National à Brazzaville.

1.2.3. Collecte de données du sol et des racines

Dans chaque parcelle, des échantillons du sol ont été prélevés dans trois points sur la diagonale à l'aide d'une tarière de 8 cm de diamètre interne et 20 cm de longueur de la manière suivante : un point à chaque angle et un au milieu. Deux (2) horizons du sol ont été considérés pour cette étude : 1^{er} horizon (H₁) 0 à 10 cm et 2^{ème} horizon (H₂) 10 à 20 cm. Au total 48 échantillons de sol ont été prélevés pour cette étude. Les horizons H₁ et H₂ contiennent plus de matière organique que d'autres horizons. La matière organique du sol s'accumule en majeure partie plus en surface qu'en

profondeur (Rossi *et al.*, 2015) dont la plus grande partie est entre 0 et 10 cm de profondeur (Diallo, 2005).

Chaque échantillon de sol a été emballé dans des sacs plastiques et étiquetés.

Les racines ont été prélevées dans cinq (5) points : un point dans chaque angle de la parcelle et un autre point au milieu de la parcelle sur la ligne diagonale à l'aide de la tarière. A Chaque point, l'échantillon des racines est prélevé dans les deux (2) horizons par la méthode de carotte utilisée par Lamine (2007), Thongo (2008) et Ifo (2010).

Les racines vivantes sont triées des carottes de chaque horizon in situ ou au village, pour les carottes très humides. Ces tris se font par le biais d'un tamis de maille de 1 mm². Et une fouille manuelle dans le sol tamisé a ensuite été réalisée afin de rechercher d'éventuelles racines très fines non retenues par les mailles du tamis (Thongo, 2008). Des échantillons non tamisés sur le terrain à cause de l'humidité du sol, sont ramenés au village et étalés à l'air libre pendant quelques minutes avant de les tamiser. Les racines vivantes ont été emballées dans les sacs plastiques et étiquetés puis séchés à l'air libre pour éviter les moisissures et des pourritures.

1.2.4. Traitement et analyse des données

Le traitement des données a été fait à partir d'une base de données élaborée sur le tableur Excel. Toutes les espèces inventoriées par parcelle avec leurs diamètres, les noms et familles ont été inscrites ainsi que les masses du sol, des racinaires de chaque parcelle et la teneur du carbone du sol. Le logiciel SPSS_Statisticcs_22.0 a été utilisé pour le traitement des données.

Densité à l'hectare

La densité (D) indique la valeur moyenne du nombre total d'individus par unité de surface (Tayo Gamo, 2014).

Elle est calculée par la relation suivante $D=n/S$

(1)

n = nombre total d'arbres dans la parcelle échantillonnée et S = superficie de la parcelle échantillonnée (ha).

Surface terrière

La surface terrière correspond à la somme des sections horizontales des troncs, prises par convention à 1,3 m du sol (Pascal, 2003). Elle peut être calculée, pour l'ensemble du peuplement, par espèce ou par groupe d'espèces. Elle est un excellent indicateur de la richesse pondérale du peuplement. Elle s'exprime en mètres carrés par l'hectare (m²/ha) (Koubouana *et al.*, 2018).

$$\text{La surface terrière d'un arbre est } g = \pi d^2/4 \quad (2)$$

où d est le diamètre de l'arbre

La surface terrière d'une espèce correspond à la somme des surfaces terrières de tous les arbres de cette espèce.

La surface terrière totale c'est-à-dire la surface terrière du peuplement (G) correspond à la somme des surfaces terrières de tous les individus présents sur la surface inventoriée. Elle se calcule à partir de la formule suivante :

$$G = \sum \pi d^2/4 \quad (3)$$

Estimation de la biomasse aérienne

La biomasse aérienne a été déterminée par l'équation allométrique de Fayolle *et al.* (2018). Sa formule mathématique est la suivante :

$$AGB = \exp[0,046 + 1,156 * \log(WSG) + 1,123 * \log(D) + 0,436 * (\log(D))^2 - 0,045 * (\log(D))^3] \quad (4)$$

Avec AGB : biomasse aérienne ; WSG : densité et D = diamètre
La densité spécifique des espèces inventoriées pour cette étude a été déterminée à partir de la base de données de Zanne *et al.* (2009) et pour les espèces non indiquées dans la base des données, la densité spécifique par défaut (0,64) a été utilisée (Lewis *et al.*, 2013).

Les estimations de biomasse sont converties en valeurs de carbone à l'aide des fractions de carbone de la matière sèche (GIEC, 2006) qui est 0,49 (Feldpausch *et al.*, 2004) pour cette étude. Et leur conversion en tonne (t) est faite en utilisant la table de conversion.

$$\text{Stock de carbone} = \text{Biomasse} \times 0,49 \quad (5)$$

Estimation du Carbone organique du sol

Le stock de carbone organique du sol a été calculé à partir de la formule de Marco *et al.* (2010).

$$SC = Da \times 10 \times (1 - EG) \times TpC \times E \quad (6)$$

Avec SC : stock de C, en g/m² ; Da : densité apparente, en g/cm³ ;
TpC : teneur pondérale en carbone organique, en g/kg ; E : épaisseur de l'horizon, en cm. Le carbone de chaque parcelle est converti en t/ha ;

EG : pourcentage d'éléments grossiers qui sont des éléments de taille supérieur à 2 mm (Henin, 1976 ; Diallo, 2005). En effet, le fractionnement et l'analyse granulométrique ont permis de séparer les différents éléments de chaque échantillon de sol et de déterminer sa texture.

La teneur pondérale en carbone organique et les éléments de la texture du sol (sables, limons et argiles) de chaque échantillon ont été déterminés au laboratoire de l'Institut National de Recherche en Sciences Exactes et Naturelles (IRSEN) de Pointe Noire respectivement par la méthode de Walkley et Black et l'analyse granulométrique à la pipette Robinson.

Les éléments de taille inférieure à 2 mm sont définis par classe de texture (sables, limons et argiles) (Diallo, 2005) et sont réparties dans les classes de taille suivantes : sable 0,05 à 2 mm, limon 0,002 à 0,05 mm et argile inférieur à 0,002 mm (Berry *et al.*, 2007 ; Fao, 2013 ; Jaja, 2016). Fao (2013), 1 micron (μ) = 0,001 mm (ou un millième de millimètre) ; 1 mm = 1 000 μ .

Estimation de la Biomasse racinaire

Les échantillons des racines ont été emballés dans le papier aluminium avec leurs étiquettes puis placés dans une étuve à une température de 70 °C pendant 72 heures, afin de déterminer la masse de la matière sèche, à l'aide d'une balance à précision de 0,001 g. Tous les échantillons avant pesés ont été débarrassés de grains de sable attachés à l'aide d'un pinceau. Les racines en fonction de leur diamètre sont classées par classe à l'aide d'un pied à coulisse. Plusieurs classes de racines ont été définies en fonction des auteurs. Pour cette étude nous avons utilisé la classification ci-dessous (Ndzai, 2022).

- racines fines (diamètre inférieur à 2 mm) ;
- racines secondaires (diamètre compris entre 2-4 mm) ;
- grosses racines (diamètre supérieur à 4 mm).

La biomasse des racines est exprimée en g/m^2 . Pour estimer cette biomasse racinaire, l'équation suivante a été utilisée (Ifo, 2010) :

$$B = \frac{M_0}{S} \quad (7)$$

Avec : B = biomasse racinaire en $g.m^{-2}$; M_0 = la biomasse sèche des racines (en g) et S = surface de tarière racinaire (Epaisseur de l'horizon x diamètre de la tarière). Le diamètre interne de la tarière est de 8 cm.

2. Résultats

Densité à l'hectare

L'analyse de la figure 3 montre que le nombre d'individus à l'hectare le plus élevé est observé dans la jachère de 10-12 ans suivi de celui observé dans la forêt secondaire de 21-25 ans. Le nombre le plus faible est observé dans la parcelle de jachère de 1-3 ans puis dans la parcelle de forêt secondaire de 45-50 ans.

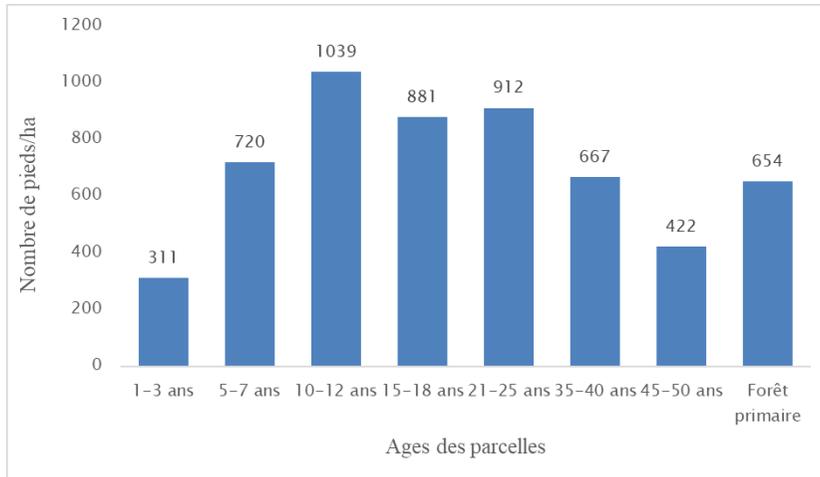


Figure 3 : Densité par parcelle

Surface terrière

L'analyse de la figure 4 montre que les valeurs des surfaces terrières les plus faibles sont observées dans les jachères et les valeurs plus élevées sont observées dans la forêt secondaire de 45-50 ans et dans la forêt primaire.

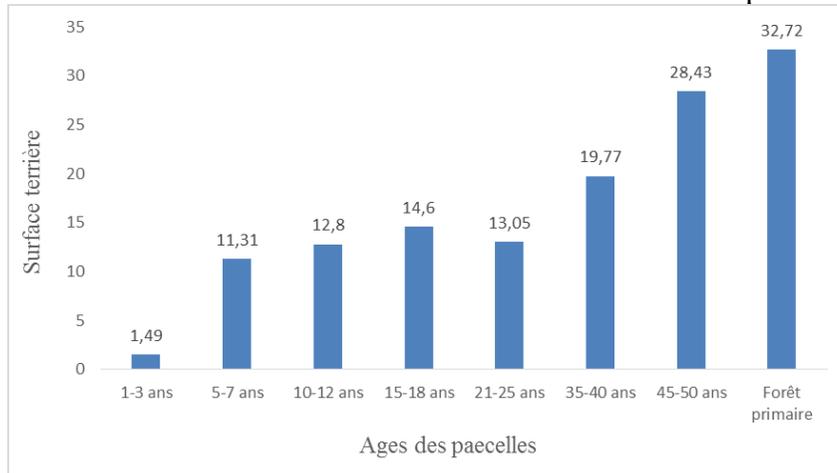


Figure 4 : Surface terrière des parcelles

Stock du carbone aérien

L'analyse de la figure 5 montre que la valeur de carbone aérien la plus élevée est observée dans la parcelle de la forêt primaire (237,15 tC/ha), suivi de celles des forêts secondaires de 45 ans à 50 ans (169,14 tC/ha) et de 35 ans à 40 ans (95,95 tC/ha). Les valeurs les plus faibles sont observées dans les parcelles des jachères de 1 an à 3 ans (3,36 tC/ha), 5 ans à 7 ans (28,4 tC/ha) et 10 ans à 12 ans (36,19 tC/ha). La figure 5 montre que la séquestration du carbone varie avec l'âge de la reconstitution de la forêt.

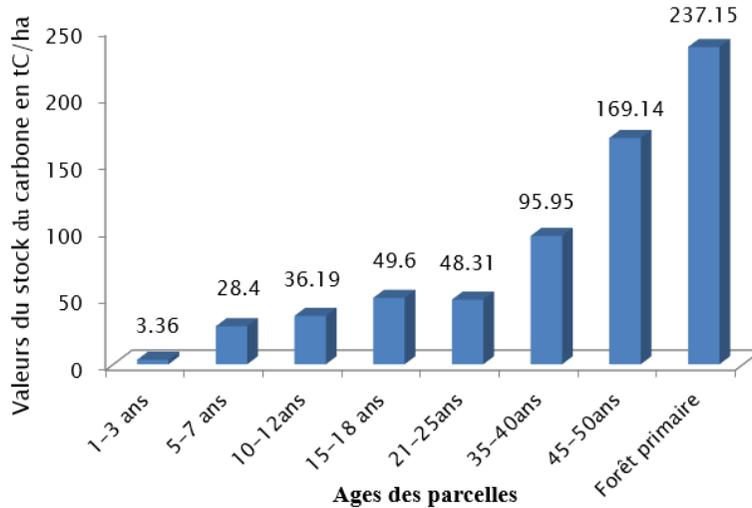


Figure 5 : Stock du carbone aérien par parcelle

Stock de carbone organique du sol

Il ressort de la figure 6 que les valeurs du stock de carbone organique du sol varient de 1,48 tC/ha (45-50 ans) à 2,5 tC/ha (forêt primaire) pour l'horizon (H₁) et de 0,95 tC/ha (35-40 ans et 45-50 ans) à 1,43 tC/ha (5-7 ans) pour l'horizon (H₂).

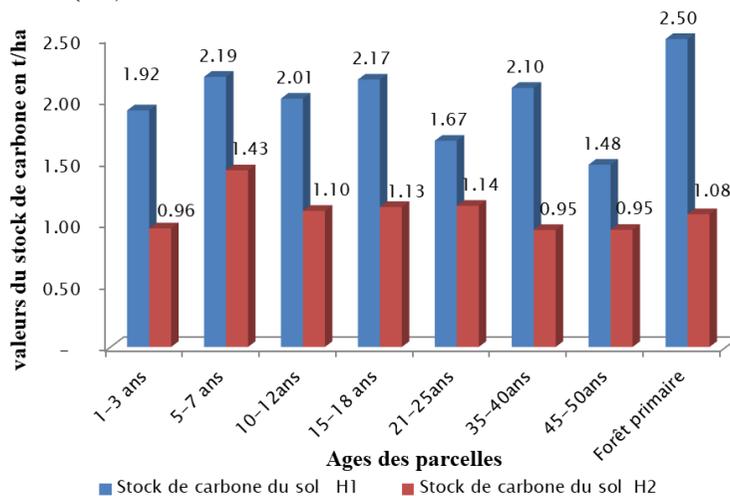


Figure 6 : Stock de carbone organique du sol

Stock de carbone racinaire

Les valeurs de stock de carbone racinaire par parcelle, par classe de diamètre et par horizon sont représentées par les figures 7 et 8.

Il ressort de la figure 7 que les valeurs moyennes du stock de carbone de racines du 1^{er} horizon varient de :

- $0,39 \pm 0,15$ tC/ha à $0,58 \pm 0,37$ tC/ha pour les racines fines ;
- $0,09 \pm 0,15$ tC/ha à $0,54 \pm 0,35$ tC/ha pour les racines moyennes.

Pour les grosses racines la parcelle de 5 à 7 ans est nulle et la valeur la plus élevée est $0,88 \pm 0,49$ tC/ha dans la forêt primaire

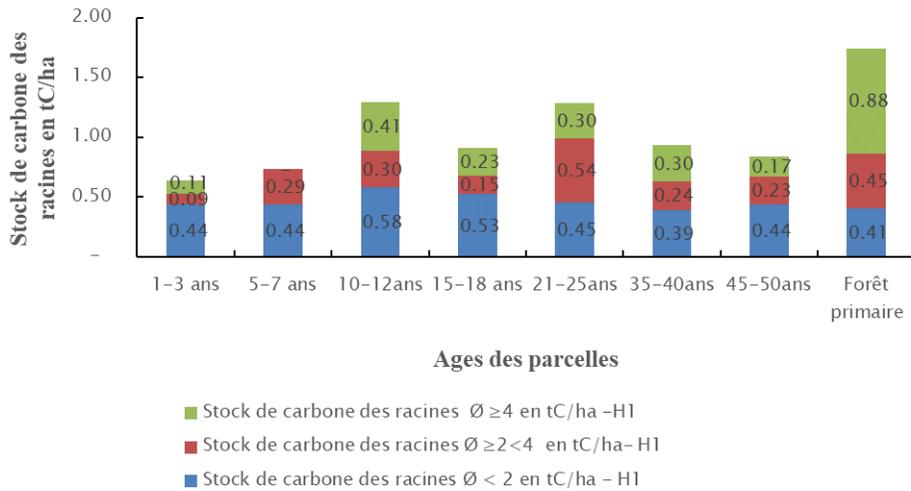


Figure 7: Stock de carbone racinaire du 1^{er} horizon par parcelle et par classe de diamètre

La figure 8 montre que les valeurs du stock de carbone des racines du 2^{ème} horizon varient de :

- $0,13 \pm 0,08$ tC/ha à $0,3 \pm 0,15$ tC/ha pour les racines fines ;
- $0,09 \pm 0,17$ tC/ha à $0,38 \pm 0,39$ tC/ha pour les racines moyennes.

Pour les grosses racines, les parcelles de 1-3 ans et 21-25 ans sont nulles et la valeur la plus élevée est $0,35 \pm 0,08$ tC/ha.

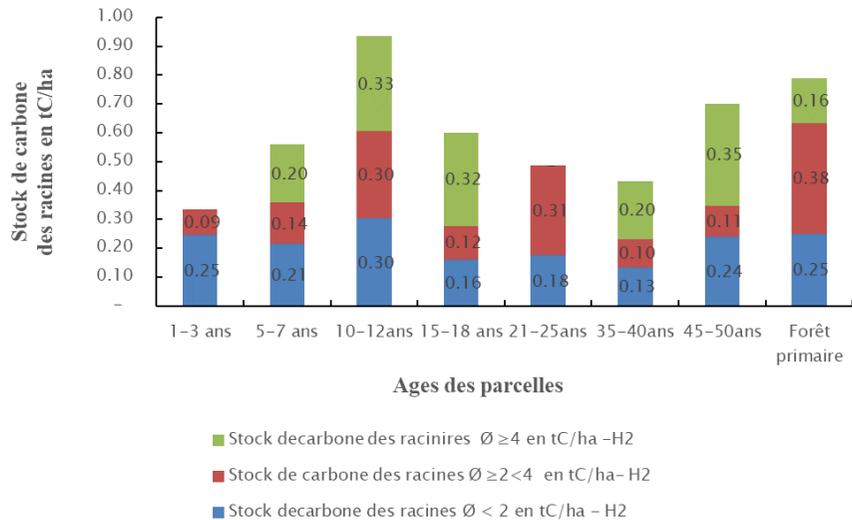


Figure 8 : Stock de carbone racinaire du 2^{ème} horizon par parcelle et par classe de diamètres

3. Discussion

Le tableau ci-dessous résume les résultats obtenus par cette étude

Paramètres calculés	Ages des parcelles de reconstitution de la forêt								
	1-3 ans	5-7 ans	10-12 ans	15-18 ans	21-25 ans	35-40 ans	45-50 ans	Forêt primaire	
densité (n/ha)	331	720	1039	881	912	667	422	654	
Surface terrière (m²/ha)	1,49	11,31	12,8	14,6	13,05	19,77	28,43	32,72	
Carbone aérien (en t/ha)	3,36	28,4	36,19	49,6	48,31	95,95	169,14	237,15	
Carbone du sol (tC/ha)	Horizons du sol								
	H1	1,92±0,09	2,19±0,31	2,01±0,44	2,17±0,08	1,67±0,23	2,1±0,75	1,48±0,21	2,5±1,09
	H2	0,96±0,11	1,43±0,46	1,1±1,19	1,13±0,15	1,14±0,24	0,95±0,08	0,95±0,23	1,08±0,25
Carbone racinaire (tC/ha)	Classes de racines								
	H1								
	D ≥ 4 mm	0,11±0,24	0	0,41±0,45	0,23±0,32	0,3±0,49	0,3±0,66	0,17±0,24	0,88±0,49
	2 ≥ D < 4 mm	0,09±0,15	0,29±0,11	0,3±0,17	0,15±0,1	0,54±0,35	0,24±0,09	0,23±0,22	0,45±0,34
	D < 2 mm	0,44±0,19	0,44±0,44	0,58±0,37	0,53±0,13	0,45±0,16	0,39±0,15	0,44±0,17	0,41±0,09
	H2								
	D ≥ 4 mm	0	0,2±0,45	0,33±0,36	0,32±0,34	0	0,2±0,45	0,35±0,08	0,16±0,23
	2 ≥ D < 4 mm	0,09±0,17	0,14±0,1	0,3±0,17	0,12±0,07	0,31±0,24	0,1±0,1	0,11±0,14	0,38±0,39
D < 2 mm	0,25±0,12	0,21±0,09	0,3±0,15	0,16±0,08	0,18±0,05	0,13±0,08	0,24±0,17	0,25±0,14	

3.1. Densité

Il apparaît dans ce tableau que la densité des individus est élevée dans les stades jeunes de la dynamique de reconstitution de la forêt. Ce qui témoigne d'une bonne régénération de cette forêt. Dans l'étape de 1 à 3 ans, du fait de la coupe à blanc de la forêt pour la plantation du manioc, la densité est moins élevée. La densité des jachères à partir de 5 ans jusqu'aux forêts secondaires de 35-40 ans sont en accord avec les résultats de Koubouana *et al.* (2018) qui ont trouvés 868 tiges/ha dans les forêts dégradées de l'axe Impfondo-Dongou en République du Congo. Et les résultats de Ngoufo *et al.* (2019) qui ont trouvé une moyenne de 510 pieds/ha dans les vieilles jachères et une moyenne de 689 pieds/ha dans les forêts dégradées du massif forestier de Ngog-Mapubi au Cameroun. La parcelle de 45-50 ans a une densité faible à cause des Marantaceae; ce même constat a été fait par Benoit *et al.* (2022) dans la forêt de Loundoungou au nord Congo. La forêt primaire dans la zone d'étude compte 654 arbres/ha; ce résultat est en accord avec ceux obtenus par d'autres auteurs dans les forêts tropicales. D'après Pascal (2003), la moyenne de la densité se situe aux environs de 600 arbres/ha pour les forêts tropicales ne présentant pas de contraintes particulières. Benoit *et al.* (2022) ont trouvé 323 à 674 arbres/ha dans la forêt du bassin du Congo.

3.2. Surface terrière

En ce qui concerne la surface terrière, à l'exception de la jachère de 1-3 ans, les résultats obtenus varient entre 11,31 et 32,72 m²/ha. Ils sont en accord avec les résultats d'autres auteurs dans les forêts du Bassin du Congo. Koubouana *et al.* (2018) ont trouvé entre 6,75 à 34,24 m²/ha dans les forêts dégradées et entre 16 et 36,37 m²/ha dans les forêts primaires. Ngoufo *et al.* (2019) ont trouvé les moyennes de 6,21 m²/ha, de 30,83 m²/ha et 33,26 m²/ha respectivement dans les jeunes jachères, les vieilles jachères et les forêts dégradées.

3.3. Carbone aérien

Les résultats de cette étude révèlent l'action essentielle des activités anthropiques sur la variation des stocks de carbone aérien. Ils montrent que le stock de carbone aérien diminue avec la dégradation de la forêt du fait des activités agricoles. Le stock le plus élevé est observé dans la forêt primaire 237,15 tC/ha, du fait de la présence des arbres de gros diamètre, et les plus faibles dans les jachères de 1-3 ans (3,36 tC/ha) 5-7 ans (28.4 tC/ha). Plusieurs études réalisées dans les jachères, les forêts secondaires et les forêts primaires du bassin du Congo révèlent cette tendance (Kotto *et al.*, 1997 ; Ifo *et al.*, 2019 ; Ndzai *et al.*, 2021 ; Ngoufo *et al.*, 2019).

La densité d'individus et la surface terrière dans les différentes étapes de reconstitution de la forêt sont liées au stock de carbone aérien. Plus le stade de reconstitution est âgé, plus les individus sont de gros diamètre avec une surface terrière élevée, plus le stock de carbone aérien est élevé.

3.4. Carbone organique du sol

Pour carbone organique du sol, les résultats montrent que l'agriculture sur brûlis réduit très peu le stock de carbone organique du sol ; car les valeurs sont relativement constantes d'une parcelle à une autre. Ce même constat a été fait par Kotto *et al.* (1997) qui stipulent que le stock de carbone organique du sol reste relativement constant tout au long du cycle d'abattis-brûlis. Le stock de carbone de H₁ de deux parcelles de jachère (1-3 an et 5-7 ans) sont respectivement 1,92±0,09 tC/ha et 2,19±0,31 tC/ha, ces valeurs sont plus élevées que celles de deux parcelles de la forêt secondaire notamment la parcelle de 21-25 ans avec 1,67±0,23 tC/ha et celle de 45-50 ans avec 1,48±0,21 tC/ha. Ces résultats montrent que les stocks de carbone organique du sol ne sont pas liés aux âges de la formation végétale. Cependant, la valeur du stock de carbone de la forêt mature est la plus élevée avec 2,5±1,09 tC/ha, probablement dû au carbone issu de la minéralisation de la matière organique. Au niveau du deuxième horizon (H₂), les valeurs sont sensiblement égales d'une parcelle à une autre et elles varient de 0,95±0,08 tC/ha (35-40 ans) à 1,43±0,46 tC/ha (5-7 ans). Le stock de carbone organique du sol varie d'un

horizon à un autre, c'est-à-dire il y a plus de carbone au premier horizon que pour le deuxième horizon et cela pour toutes les parcelles. Cette tendance a été constaté par des nombreux auteurs (Atchada *et al.* 2018 ; Ifo, 2010 ; Ifo *et al.*, 2022 ; Mankessi *et al.*, 2022). Diallo (2005) le premier horizon (entre 0 et 10 cm de profondeur) est riche en matière organique, auxquels elle donne une teinte plus foncée que les horizons sous-jacents. La matière organique du sol (MOS) constitue une véritable plaque tournante du cycle de carbones dans les écosystèmes terrestres (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEM), 2014). Mankessi *et al.* (2022) en général, le teneur en carbone présente un gradient décroissant de la surface vers la profondeur quel que soit l'âge de plantation.

Les résultats cumulés de deux horizons (0-20 cm) de chaque forêt secondaire de notre étude ($2,82\pm 0,47$ tC/ha, $3,05\pm 0,83$ tC/ha et $2,48\pm 0,44$ tC/ha) respectivement pour la forêt de 21-25 ans, 35-40 ans et 45-50 ans corroborent ceux de Ndzai (2022) qui a trouvé les valeurs qui varient de 2,22 tC/ha à 3,49 tC/ha dans les forêts secondaires de la Likouala pour une profondeur de 0-15 cm. Les résultats de cette étude pour toutes les strates sont inférieurs aux résultats de certains auteurs (Namri, 1996 ; Ifo, 2010 et Safi, 2016). Ces faibles valeurs pourraient s'expliquer par des faibles teneurs de carbone et de matières organiques dans cette zone d'étude, avec un sol composé de plus de 80% du sable selon les résultats de l'analyse granulométrique.

3.5. Carbone racinaire

Les valeurs du stock de carbone racinaire de cette étude sont variables d'un horizon à un autre et d'une classe de diamètre à une autre. La valeur moyenne du stock de carbone des racines fines la plus élevée est de $0,58\pm 0,37$ tC/ha observée dans le premier horizon et la plus faible est de $0,13\pm 0,08$ tC/ha dans le deuxième horizon ; ces valeurs sont obtenues respectivement dans la jachère et la forêt secondaire. La valeur moyenne du stock de carbone des racines secondaires la plus élevée est de $0,54\pm 0,35$ tC/ha obtenu dans la forêt secondaire en H₁ et la valeur moyenne la plus faible est de 0,09 tC/ha obtenue en jachère en H₂. La valeur moyenne du stock de carbone des grosses racines la plus élevée est de 0,88 tC/ha obtenue en forêt primaire en H₁ et la valeur moyenne la plus faible est de 0,05 obtenue en jachère en H₁.

Les résultats obtenus de ce travail sur les racines fines du 1^{er} horizon, des trois strates sont supérieurs aux résultats de Thongo (2008) qui a trouvé 0,54 t/ha de biomasse sèche soit environ 0,26 tC/ha dans une plantation d'Eucalyptus au Congo. Cette comparaison montre que les valeurs de carbone des racines fines dépendent de la composition floristique du site d'étude.

Nos résultats sur les grosses racines de la forêt secondaire sont en accord avec les résultats de Ndzai (2022) qui a trouvé moins d'une tC/ha en forêt secondaire à *Macaranga monandra* Mull- Arg. dans la Likouala.

Pour un total cumulé de deux horizons (0-20 cm) de notre étude ; les résultats sur les racines fines de la forêt primaire ($0,66 \pm 0,23$ tC/ha) corroborent ceux de Ndzai (2022) qui a trouvé 1,99 Mg/ha dans la forêt adulte à *Celtis adolfi-friderici* Engl. Par contre, nos résultats sont inférieurs aux résultats de IFO (2010) qui a trouvé 772g/m^2 soit environ 3,78 tC/ha les forêts galeries du Congo. Cette différence des résultats peut s'expliquer par : des différentes méthodes utilisées, la composition floristique et l'écologie du site d'étude. En effet les travaux de Ndzai *et al.* (2021) montrent que la matière organique est plus élevée dans les forêts marécageuses que dans les forêts des terres fermes. En plus les racines tendent à proliférer dans les parties du sol les plus riches en phosphore (Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario (MAAARO) (2018). Rogers et Benfey (2015) ont montré que les sols pauvres en azote se traduisent par des racines plus verticales et plus profondes, avec moins de racines à proximité de la surface du sol. L'humidité du sol peut être un facteur déterminant de cette différence. Hulebo *et al.* (1992) ont montré une dynamique annuelle accentuée, avec une biomasse maximale après la saison des pluies et minimale après la saison sèche. Rich et Watt (2013) ont aussi montré que si le potentiel hydrique du sol devient trop faible, c'est-à-dire en deçà de $-1,5 \text{ Mp}$, la croissance racinaire peut s'arrêter.

Il y a autant de paramètres qui la variation du carbone racinaire. Cependant nos résultats ne montrent pas de lien corrélatif entre l'âge des jachères et le stock de carbone racinaire.

Conclusion

Cette étude a montré que pendant la dynamique de reconstitution de la forêt après les cultures, le nombre d'individus de petit diamètre est élevé dans les stades jeunes constituant ainsi le potentiel de régénération de la forêt. Le stock de carbone séquestré dans les arbres augmente avec l'âge des formations forestières. Les jeunes stades constitués d'individus de petit diamètre séquestrent moins le carbone et les stades plus vieux constitués d'individus de gros diamètre qui ont un potentiel de séquestration de carbone élevé.

Le carbone organique du sol, par contre, ne semble pas être influencé par l'âge de l'étape de régénération de la forêt. On note par étape, une petite variation de ce stock de carbone organique entre les horizons du sol. Le stock de carbone des racinaires fines est variable d'une étape à une autre, cette variation est indépendamment de l'âge et montre de façon générale une tendance à la baisse entre les deux horizons. Il apparaît que les formations forestières de la reconstitution jouent un rôle important dans la séquestration

de carbone, en quelques dizaines d'années elle peut séquestrer plus de deux-tiers de carbone séquestré par la forêt primaire. Les forêts en régénération sont très actives dans la séquestration du carbone.

Contributions des auteurs

Les auteurs Romarick MONDZALI LENGUIYA, Félix KOUBOUANA et Saint Fédriche NDZAI ont participé à la collecte des données et à l'interprétation des résultats. Irène Marie Cécile MBOUKOU KIMBATSA née GOMA a contribué à la compilation et à la relecture finale de cet article.

Remerciements

Nos remerciements vont à l'endroit de la Société Christelle et le bureau d'études Expertise Plus SARLU qui ont facilité notre déplacement et notre séjour sur le terrain. Les chefs des villages Tala, Essoura, Mvoula et tous les guides qui nous ont accompagnés sur le terrain qu'ils trouvent ici l'expression de notre gratitude.

Conflit d'intérêts : Les auteurs n'ont signalé aucun conflit d'intérêts.

Disponibilité des données : Toutes les données sont incluses dans le contenu de l'article.

Déclaration de financement : Les auteurs n'ont obtenu aucun financement pour cette recherche.

References:

1. ADEM, 2014. Carbone organique des sols : l'énergie de l'agro-écologie, une solution pour le climat. *Collectivités territoriales et monde agricole*, 27 p.
2. Ambombo, OEM, Ngodo, MJB, Pial, AC, Mbarga, BA et Mossebo, DC. (2018). Dynamique de la régénération naturelle des essences commerciales sur les routes secondaires de différents âges de l'UFA 09-003 (Djoum, Cameroun). *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 12(1) : 341-352. <http://www.ifgdg.org>
3. Atchada, CC, Zoffoun, GA, Akplo, TB, Azontonde, HA, Tente, BA et Djego, GJ. (2018). Modes d'utilisation des terres et stock de carbone organique du sol dans le bassin supérieur de Magou au Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 12(6): 2818-2829.
4. Batchi Mav, AP, Ngouala, MM et Massouangui, KM. (2023). Modélisation des précipitations journalières extrêmes et leurs périodes

- de retour en République du Congo de 1950 à 2017 : application de la loi de Pareto. *Revue Internationale du chercheur*, 4(4): 71 – 92
5. Benoit, CB, Jobbe-D, Bénédet, F, Cornu, G, Forni, E, Freycon, V, Gourlet-F, S, Rossi, V, Doucet, JL, Fayolle, A, Ligot, G, Bracke, C, Dainou, K et Month K. (2022). Dynamique des forêts d'Afrique centrale : pour une amélioration de la durabilité des plans d'aménagement forestiers. *Capitalisation des projets Dynaffor et P3FAC*, 75 p.
 6. Berry, W, Ketterings, Q, Antes, S, Page, S, Russell- Anelli, J, Rao, R et Degloria, S. (2007). Soil Texture. Agronomy Fact Sheet Series, Fact Sheet 29, *Cornell University Cooperative Extension*, 2p. http://water.rutgers.edu/Rain_Gardens/factsheet29.pdf.
 7. Blake, S, Blom, A, Carroll, R, Kock, M, Langrand, O, Oonk, J, Azink ,M, Ruggiero, R. et Walters G.(2005). Les forêts du bassin du Congo : Evaluation préliminaire, 34p. http://carpe.umd.edu/products/PDF_Files/FOCB_APrelimAssess.pdf
 8. Bocko, YE, Ifo, SA et Loumeto JJ. (2017). Quantification des stocks de carbone de trois Pools clés de carbone en Afrique centrale : Cas de la forêt marécageuse de la Likouala (Nord Congo). *European Scientific*, 13(5): 438-456.
[URL:http://dx.doi.org/10.19044/esj.2017.v13n5p438](http://dx.doi.org/10.19044/esj.2017.v13n5p438)
 9. Chave, J. (2000). Dynamique spatio-temporelle de la forêt tropicale. *Ann. Phys. Fr*, 25 (6), 184 p.
 10. De Boissezon, P, Martin, G et Gras, F. (1969). Atlas du Congo, 1969. Mission permanente d'aide et de coopération Brazzaville, 5p.
 11. De Wasseige, C, De Marcken, P, Bayol, N, HiolHiol, F, Mayaux, Ph, Desclée, B, Nasi, R, Billand, A, Defourny, P, Eba'a, AR. (2012). Les forêts du Bassin du Congo : État des Forêts 2010. *Union européenne : Luxembourg*, 274p.
 12. De Wasseige, C, Flynn, J, Louppe, D, HiolHiol, F, Mayaux, Ph. (2014). Les Forêts du Bassin du Congo : Etat des Forêts 2013. *Weyrich, Belgique*, 328 p.
 13. Diallo, MD. (2005). Effet de la qualité des litières de quelques espèces végétales sahéliennes sur la minéralisation de l'azote. Thèse de doctorat de 3ème cycle de biologie végétale. *Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Faculté des Sciences et Techniques, Département de Biologie Végétale*, 142 p.
 14. Eba'a, AR, Hiol, HF, Lescuyer, G, Mayaux, P, Defourny, P, Bayol, N, Saracco, F, Pokem, D, Sufo, KR et Nasi R. (2022). Les forêts du bassin du Congo : état des forêts 2021. *Bogor, Indonésie : CIFOR*, 444 p.
 15. Fao. (2013). Le sol: texture du sol. 18 p.

16. Fao et PNUE, (2020). La situation des forêts du monde 2020. Forêts, biodiversité et activité humaine, Rome, 197p. <https://doi.org/10.4060/ca8642fr>
17. FAO, (2021). Évaluation des ressources forestières mondiales 2020 : Rapport principal, Rome, 170p. <https://doi.org/10.4060/ca9825fr>.
18. Fao, (2005). L'irrigation en Afrique en chiffres : Enquête AQUASTAT 2005. 10p.
19. Fayolle, A, Ngoumanga, A, Mbasi, M, Barbier, N, Boko, Y, Boyamba, F, Couteron, P, Fonto, N, Kamdem, N, Katemba, J, Kondaoulé, HJ, Loumeto, JJ., Maidou, HM, Mankou, G, Mengui, T, Mofack, J, Moundounga, C, Moundounga, Q et Madjibé, V. (2018). A regional allometry for the Congo basin forests based on the largest ever destructive sampling. *Forest Ecology and Management*, 430: 228–240. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.07.030>
20. Feldpausch, TR, Rondon, MA, Fernandes, ECM, Riha, SJ et Wandelli, E. (2004). Carbon and nutrient accumulation in secondary forests regenerating on pastures in central Amazonia. *Ecol. Appl.*, 14 : 164-176.
21. GIEC, (2006). Terres cultivées : Agriculture, foresterie et autres affectations des terres. In Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre, 4 : 5.1- 5.73.
22. Global Forest watch, (2023, 2 février). <https://www.globalforestwatch.org>
23. Henin, S. (1976). Cours de physique du sol. *Initiations - documentations techniques*, 28 (1), ORSTOM Paris, 159 p.
24. Hulebo, H, Messing, I et Streen, E. (1992). Influence de la biomasse racinaire, du diamètre des racines et de la mortalité des racines sur la conductivité hydraulique des sols arides. *Ecologia mediterranea*, tome, 18 : 49-54.
25. Ifo, SA. (2010). Apports de carbone au sol et stocks dans deux types forestiers (forêt galerie et forêt secondaire) des plateaux Téké. Thèse pour l'obtention du grade de docteur de l'université Marien Ngouabi, *Faculté des sciences*, Ecologie végétale, *Brazzaville, Congo*, 194 p.
26. Ifo, SA et Binsangou, S. (2019). Variabilité spatiale du stock de carbone de la biomasse aérienne de la zone urbaine vers la forêt tropicale dense dans cinq localités de la république du Congo. Conférence OSFACO : Des images satellites pour la gestion durable des territoires en Afrique, Mar 2019, Cotonou, Bénin. *Hal*, 15 p.
27. Ifo, SA, Moundaga, AR et Yoka, J. (2022). Estimation des stocks de carbone organique dans les sols sous savane à *Hyparrhenia diplandra* (Hack) Stapf et forêt de terre ferme à *Petersianthus macrocarpus* (P. Beauv.) Liben dans la localité de Komono, département de la

- Lékoumou (République du Congo. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 16(5): 2436-2447
28. Jaja, N. (2016). Understanding the Texture of Your Soil for Agricultural Productivity. *Virginia Cooperative Extension, Publication CSES-162P*, 6 p.
 29. Kahn, F, (1982). La reconstitution de la forêt tropicale humide. Sud-Ouest de la Côte-d'Ivoire. *Mémoire ORSTOM*, Paris, 97, 150 p.
 30. Kimpolo, L, Ndzai SF et Koubouana F. (2021). Richesse floristique et stockage de carbone de La zone agricole de la forêt de Kissila dans le Mayombe Congolais. *European Scientific Journal, ESJ*, 17(40), 19 p. <https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n40p1>
 31. Kotto-Same, J, Woomer, P, Moukam, A et Zapfack, L. (1997). Carbon Dynamics in Slash-And-Burn Agriculture and Land Use Alternatives of the Humid Forest Zone in Cameroon. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 65: 245-256.
 32. Koubouana, F, Ifo, SA, Mayitoukou, LLB. et Ndinga, E. (2016). Diversité floristique et dynamique de reconstitution de la forêt du Parc Zoologique sous plantations à eucalyptus à Brazzaville, Congo. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 10(2) : 609-619.
 33. Koubouana, F, Ifo, SA, Ndzai, SF, Stoffenne, B et Mondzali-L. R. (20218). Étude comparative d'une forêt primaire et d'une forêt dégradée au Nord de la République du Congo par référence à la structure des forêts tropicales humides. *Rev. Sci. Tech. For. Environ. Bassin Congo*. 11: 11-25. DOI : <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.1436597>
 34. Lamine, S. (2007). Dynamique des racines fines dans des écosystèmes forestiers de sapin baumier (*Abies balsamea* (L) Mill.) et d'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.)) situés le long d'un gradient climatique. Mémoire effectué en vue de l'obtention du grade de maître en environnement (M. Env.). *Université de Sherbrooke, Faculté des sciences, Québec, Canada*, 66 p.
 35. Lewis SL, Sonke, B, Sunderland, T, Begne, SK, Lopez-Gonzalez, G, van der Heijden, GMF, Phillips, OL, Affum-Baffoe, K, Baker, TR, Banin, L, Bastin, JFB, Beeckman, H, Boeckx P, Bogaert, J, De Cannière, C, Chezeaux, E, Clark, CJ., Collins, M, Djagbletey, G, Djuikouo, MNK, Droissart, V, Doucet, JL, Ewango, CEN, Fauset, S, Feldpausch TR., Foli, EG, Gillet, JF, Hamilton, AC, Harris, DJ, Hart, TB, Haulleville, T, Hladik, A, Hufkens, K, Huygens, D, Jeanmart, P, Jeffery, KJ, Kearsley, E, Leal, ME, Lloyd, J, Lovett, JC, Makana, JR, Malhi, Y, Marshall, AR, Ojo, L, Peh, KS-H, Pickavance, G, Poulsen, JR, Reitsma, JM, Sheil, D, Simo, M, Steppe, K, Taedoum, HE, Talbot, J, Taplin, JRD, Taylor, D, Thomas, SC, Toirambe, B, Verbeeck, H,

- Vleminckx, J, White LJT, Willcock, S, Woell, H. et Zemagho, L. (2013). Above-ground biomass and structure of 260 African tropical forests. *Phil. Trans. R.. Soc. B*, 368, 20120295, 14 p. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2012.0295>
36. Lubini, AC, (2003). La gestion des forêts tropicales secondaires en Afrique: Réalité et perspectives. Document thématique: Sur les aspects écologiques des forêts secondaires en Afrique centrale et occidentale francophone. *Atelier FAO/ECLNV/GTZ Douala, Cameroun*, 17-21 nov. 2003. <http://www.fao.org/docrep/007/j2578f/J2578F08.htm#TopOfPage>
37. Mankessi, F., Malonga, KMG et Ifo, SA. (2022). Dynamique du carbone organique du sol et de l'azote dans une chronoséquence de plantation de *Acacia auriculiformis* A. Cunn. ex Benth. (*Fabaceae*), à Bambou-Mingali (République du Congo). *European Scientific Journal*, *ESJ*, 18 (8) : 172-189. <https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n8p172>
38. Marco, P, Henry, M, Blavet, D, Bernoux, M. (2010). Variation des stocks de carbone organique du sol après plantation forestière : essai de méta-analyse incluant quelques situations d'Amérique latine. *Bois et Forêts des Tropiques*, 305 (3) : 21-32.
39. Mayaux, P, Achard, F et Malingreau, JP. (1998). Global tropical forest area measurements derived from coarse resolution satellite imagery: a comparison with other approaches. *Environmental Conservation*, 25 : 37-52.
40. Mayaux, P, Gond, V, Massart, M, Pain-O, M, et Achard F. (2023). Evolution du couvert forestier du bassin du Congo mesurée par télédétection spatiale. *Bois et Forêts des Tropiques*, 277 (3) : 45-25.
41. Megevand, C, Mosnier, A, Hourticq, J, Sanders, K, Doetinchem, N et Streck, C. (2013). Dynamiques de déforestation dans le bassin du Congo : Réconcilier la croissance économique et la protection de la forêt, Washington, 179 p. www.worldbank.org
42. MAAARO. (2018). Manuel sur la fertilité du sol. Publication 611F, 236 P.
43. Mitja, D et Hladik, A. (1989). Aspects de la reconstitution de la végétation dans deux jachères en zone forestière africaine humide (Makokou, Gahon). *Acta OEcologica, Ecol, Gener*, 10 (1) : 75-94.
44. Missamba-Lola, AP, Matondo, R, Marien, JN, Samba-Kimbata, MJ, Gillet JF. (2015). Dynamique spatio-temporelle des recrus forestiers au bord des pistes secondaires : Cas des UFA-CIB dans la cuvette congolaise. *Rev.Sci.Tec. For. Env. Bas. Con.*, 4: 34-45.
45. Molinario, G, Hansen, M, Potapov, P, Tyukavina, A et Stehman, S. (2020). Contextualizing landscape-scale forest cover loss in the

- democratic republic of Congo (DRC) between 2000 and 2015, *Land*, 9, 23, 22 p. <https://doi.org/10.3390/land9010023>
46. Moutsamboté, J-M, (1985). Dynamique de reconstitution de la forêt Yombe (Dimonika, R.P. du Congo). Thèse 3^{ème} cycle, écologie, Université de Bordeaux III, écologie végétale, Bordeaux, 301p.
 47. Namri, M. (1996). Les stocks de carbone des sols du Congo : bilan spatial et recherche des facteurs de répartition. Mémoire de Maîtrise, Université Louis Pasteur, Strasbourg, UFR de Géographie, 119p.
 48. Ndzaï, SF, Koubouana, F, Kimpolo, L et Kimposso, EKO. (2021). Diversité floristique et estimation du stock de carbone organique des forêts adultes et des forêts secondaires du district de Dongou, Département de la Likouala, République du Congo. *Afrique Science*, 18(2) : 134 – 148.
 49. Ndzaï, S.F., (2022). Caractérisation des forêts de la zone d'Impfondo-Dongou, département de la Likouala, république du Congo. Thèse pour l'obtention du grade de Docteur, Université Marien Ngouabi, ENSAF, Botanique et écologie forestière, Brazzaville, Congo, 168p.
 50. Ngoufo, R, Zapfack, L, Tiomo, DE, Tsafack, NLS, Matsaguim, GCA, Chimi, DC, Lekeufack, A, Neckdem, MF, Kana, EC, Bouba NB et Njal, N. (2019). Évaluation et spatialisation du carbone stocké dans le massif forestier de Ngog-Mapubi (Cameroun). *Conférence OSFACO, 13-15 mars 2019, Cotonou, Bénin*. HAL Id, 25 p.
 51. ORSTOM, (1969). Atlas du Congo, 1969 : les sols du Congo, 5p.
 52. Pascal, J P. (2003). Description et dynamique des milieux forestiers : Notions sur les structure et la dynamique des forêts tropicales humides. *Rev. For. Fr. LV - numéro spécial 2003* :118-130.
 53. Randriamalala, RJ, Serpantié1, G et Carrière1, SM. (2007). Influence des pratiques culturales et du milieu sur la diversité des jachères d'origine forestière (Hautes-Terres, Madagascar). *Rev. Écol. (Terre Vie)*, 62 : 65-85.
 54. Razafimahatratra, H, Rabeharisoa, L et Albrecht A. (2008). Stocks de carbone du sol des zones de jachère du corridor forestier de Vohimana. *Terre Malgache*, 125-128.
 55. Rich M., S. et Watt M., (2013). Soil conditions and cereal root system architecture: review and considerations for linking Darwin and Weaver. *Journal of Experimental Botany*, 64(5): 1193–1208.
 56. Rogers, ED et Benfey, PN. (2015). Regulation of plant root system architecture: implication for crop advancement. *Current option in biotechnology*, 32 : 93-98.
 57. Rossi. M, André, J et Vallauri, D. (2015). Le carbone forestier en mouvements : éléments de réflexion pour une politique maximisant les atouts du bois. *REFORA*, 40p.

58. Safi, ME. (2016). 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). Memoir pour l'obtention du diplôme de Grade d'Ingénieur, Université De Kisangani, Faculté de Gestion des Ressources Naturelles Renouvelables (F.G.R.N.R), *Département des Eaux et Forêts*, 49p.
59. Thongo M, A. (2008). Etude du système racinaire de l'Eucalyptus en plantation tropicale : analyse architecturale, croissance et respiration. Thèse présentée pour obtenir les grades de Docteur de l'Université Henri Poincaré, Nancy I en Biologie végétale et forestière et de Docteur de l'Université Marien Ngouabi, Brazzaville en Biologie végétale, 181p.
60. Tayo, GKY. (2014). Dynamique de la biodiversité ligneuse et des stocks de carbone dans les systèmes agroforestiers à base de cacaoyer au centre Cameroun: cas de Ngomedzap. Mémoire d'Ingénieur des Eaux, Forêts et Chasses /Master professionnel en foresterie, Faculté d'Agronomie et des Sciences Agricoles, Université de Dschang, Cameroun, 91p.
61. Zanne, AE, Lopez-G, G, Coomes, DA, Ilic, J, Jansen S, Lewis, SL, Miller, RB, Swenson NG, Wiemann MC et Chave, J. (2009). Global wood density database. Dryad, Identifier: <http://hdl.handle.net/10255/dryad.235>