

Potentiel de séquestration de carbone des bois sacrés de la chaîne de Lama-Kouméa au Nord du Togo

Carbon sequestration potential of sacred groves of Lama-Kouméa chain in North-Togo

Sikbagou Kankpénangue^{1*}, Atato Abalo², Soussou Tatongueba¹

¹Pôle de Recherche et d'Expertise sur la Dynamique des Espaces et Sociétés (PREDES), département de Géographie, université de Kara, Kara, Togo

²Faculté des Sciences et Techniques (FaST), Université de Kara, Kara, Togo

*Auteur correspondant, kankpenanguesikbagou@gmail.com

Comment citer l'article : Sikbagou Kankpénangue, Atato Abalo, Soussou Tatongueba (2023). Potentiel de séquestration de carbone des bois sacrés de la chaîne de Lama-Kouméa au Nord du Togo. *Rev Ecosystèmes et Paysages (Togo)*, 3(2) : 1–14, e-ISSN (Online) : 2790-3230
DOI : <https://doi.org/10.59384/recopays.tg3212>

Reçu : 1 octobre 2023

Accepté : 15 décembre 2023

Publié : 30 décembre 2023



Copyright: Published under a Creative Commons Attribution (CC-BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Résumé

Les bois sacrés de la chaîne de Lama-Kouméa constituent un maillon important de la biodiversité dans le septentrion du Togo qui jouent un rôle important dans l'atténuation du changement climatique. C'est dans cette optique que la présente étude s'est fixée pour objectif d'évaluer le potentiel de séquestration de carbone des bois sacrés de la chaîne de Lama-Kouméa. Pour atteindre cet objectif, 45 placettes de 900 m² chacune, ont été installées dans huit (08) bois sacrés suivant la variation physiognomique de la végétation afin de réaliser des inventaires forestiers des ligneux. La méthode non destructible basée sur les modèles allométriques a été utilisée pour estimer la biomasse afin d'en déduire le stock de carbone. Les caractéristiques structurales des bois sacrés sont marquées par une densité moyenne du peuplement de 893 pieds/ha et une surface terrière de 187 m²/ha. La distribution des individus ligneux par classes de diamètres et hauteur révèle la prédominance des jeunes arbres. La biomasse totale estimée sur 1690 tiges de bois sacrés de diamètre ≥ 10 cm, s'élève à 4715 t/ha, et donne lieu à un stock de carbone de 2216 tC/ha soit 8132 tonnes de CO₂ atmosphérique séquestré. Considérant le rôle joué par ces ressources phytogénétiques dans la réduction des gaz à effet de serre dans l'atmosphère, il y a lieu de mener des actions en faveur de la préservation et la restauration de ces bois sacrés, notamment la mise en place d'un plan d'aménagement et de gestion participatif.

Mots clés

Séquestration de carbone ; biomasse ; bois sacrés ; chaîne de Lama-Kouméa, nord-Togo.

Abstract

The sacred groves of the Lama-Kouméa chain are an important link in the biodiversity of northern Togo and play an important role in mitigating climate change. With this in mind, the aim of this study was to assess the carbon sequestration potential of sacred groves in the Lama-Kouméa range. To achieve this objective, 45 plots of 900 m² each were set up in eight (08) sacred groves following the physiognomic variation of the vegetation in order to carry out forest inventories of woody species. The non-destructible method based on allometric models was used to estimate the biomass in order to deduce the carbon stock. The structural characteristics of the sacred groves are marked by an average stand density of 893 plants/ha and a basal area of 187 m²/ha. The distribution of woody individuals by diameter and height classes reveals the predominance of young trees. The

total estimated biomass of 1,690 stems of sacred wood with a diameter ≥ 10 cm was 4,715 t/ha, giving a carbon stock of 2,216 tC/ha, or 8,132 tons of sequestered atmospheric CO₂. Considering the role played by these plant genetic resources in reducing greenhouse gases in the atmosphere, there is a need to take action to preserve and restore these sacred groves, in particular by setting up a participatory development and management plan.

Keywords

Carbon sequestration; biomass; sacred groves; Lama-Kouméa range, north Togo

1. Introduction

Le changement climatique est actuellement l'une des préoccupations majeures de l'humanité. Il s'observe de façon globale par l'augmentation soutenue de la température du globe terrestre, entraînant les catastrophes naturelles (élévation du niveau de la mer) ; et des phénomènes climatiques extrêmes (inondations, vents violents, sécheresses) (GIEC, 2019). Ainsi, les scénarios de l'évolution du climat en Afrique de l'Ouest montrent l'accélération du changement climatique avec des phénomènes extrêmes fréquents et de grandes ampleurs comme des sécheresses, inondations (Madiodio, 2007). Particulièrement au Togo, selon le MERF (2015), la tendance climatique est marquée par une aridification dû à l'augmentation de la température et la réduction des pluies, mais avec un regain depuis 2005, ce qui explique les inondations récurrentes enregistrées ces dernières années dans le pays.

A la recherche de ses causes, Mbow (2009), estime que « le changement climatique peut être dû à des processus internes naturels ou des changements persistants d'origines anthropiques ». En effet, le changement climatique actuel observé, est d'origine anthropique et, est dû aux émissions additionnelles de gaz à effet de serre issus des activités humaines tels que l'industrialisation avec l'utilisation excessive d'énergie fossile (charbon, pétrole), les transports, la déforestation et l'exploitation démesurée des ressources naturelles (GIEC, 2019 ; Nilesh, 2019).

Pour faire face à cette situation, les recherches ont été menées et plusieurs approches ont été adoptées dont celle fondées sur les écosystèmes (Mbow, 2009). Ainsi, il s'est avéré que les écosystèmes forestiers constituent des puits de carbone et jouent un rôle prépondérant dans l'atténuation du changement climatique à travers leur fort potentiel de séquestration de carbone atmosphérique (GIEC, 2000). Ceci est rendu possible grâce à la photosynthèse qu'effectuent les plantes (Mbow, 2009). Cette séquestration pourrait contribuer à une réduction de 25 % de carbone atmosphérique si les mécanismes efficaces étaient mis en œuvre (Mbow, 2009) ; car, un hectare de forêt peut séquestrer une quantité de 2 à 5 tonnes de carbone par an (Negi *et al.*, 2003).

Le Togo, tout comme les autres pays de la sous-région ouest-africaine, dispose des forêts et bois sacrés sur l'ensemble de son territoire, qui sont des reliques de forêts protégées par la loi coutumière des communautés auxquelles elles appartiennent. Particulièrement sur la chaîne de Lama-Kouméa, qui représente notre champ d'étude, regorge un nombre important de reliques de végétation appelées « bois sacrés ». Ces bois sacrés, bien que restreintes, peuvent participer à l'atténuation de changement climatique par leur potentiel de séquestration de carbone.

Il faut noter que des études antérieures ont été menées sur les bois sacrés dans ce secteur notamment Boukpessi (2019), Pérézi (2002), Tchamié (2000), dont l'accent a été mis sur leur rôle dans la conservation de la biodiversité et leurs importances socioculturelles, mais leur importance pour l'atténuation du changement climatique n'a pas été abordé. Pour mieux conduire ce travail de recherche, il est nécessaire de se poser la question de savoir : quel est le potentiel de séquestration de carbone de la végétation ligneuse des bois sacrés de la chaîne de Lama-Kouméa ? Ainsi, l'objectif général poursuivi est d'évaluer le potentiel de séquestration du carbone de la végétation ligneuse des bois sacrés de la chaîne de Lama-Kouméa. Il s'agit spécifiquement d'estimer la biomasse vivante, également le stock de carbone de la végétation ligneuse des bois sacrés de la chaîne de Lama-Kouméa afin de ressortir le rôle de ces bois sacrés dans l'atténuation des changements climatiques à travers leur potentiel de séquestration de carbone.

2. Matériel et Méthode

2.1. Description du milieu d'étude

La chaîne de Lama-Kouméa est située entre 09°34' et 09°44' de latitude Nord, et entre 1°08' et 1°16' de Longitude Est (Figure 1). Elle constitue la grande unité du complexe basique des massifs Kabyè, une sous unité de la chaîne des Dahomeyides, située dans la zone de suture (Sabi, 2007 ; Bawa, 2012 ; Banassim *et al.*, 2018), avec des sols qui est le résultat de la nature du substrat notamment les sols ferrugineux tropicaux, sols peu évolués, vertisols, sols ferralitique (Faure, 1985 ; Poss, 1996).

La zone d'étude Jouit d'un climat de type soudano-guinéen marqué une succession de deux grandes saisons à savoir : la saison pluvieuse (de mai à octobre) et la saison sèche (de Novembre à avril). La normale pluviométrique annuelle est de 1250 mm avec

une amplitude moyennes mensuelle faibles (inférieur à 6° C) dont les maximas ($\geq 30^{\circ}$ C), contres des écarte thermiques journaliers élevés (les maximas $\geq 37^{\circ}$ C et des minimas $< 20^{\circ}$ C).

Selon la subdivision écologique du Togo réalisée par Ern (1979), le secteur d'étude se localise dans la zone écologique II, qui est la zone par excellence de la forêt dense sèche à *Terminalia leiocarpus* ou à *Monotes kerstingii* et *Uapaca togoensis* et des forêts claires à *Isobertia doka* et *Isobertia tomentosa*. On y rencontre aussi des savanes, les forêts galeries et les parcs agroforestiers.

Malgré le relief accidenté de la zone, la population essentiellement composée de Kabyè, est parvenue à dompter cet obstacle pour exercer l'agriculture comme activité principale. La culture en terrasse, et la mise en place des cordons pierreux sont les principales techniques culturales adoptées sur les versants.

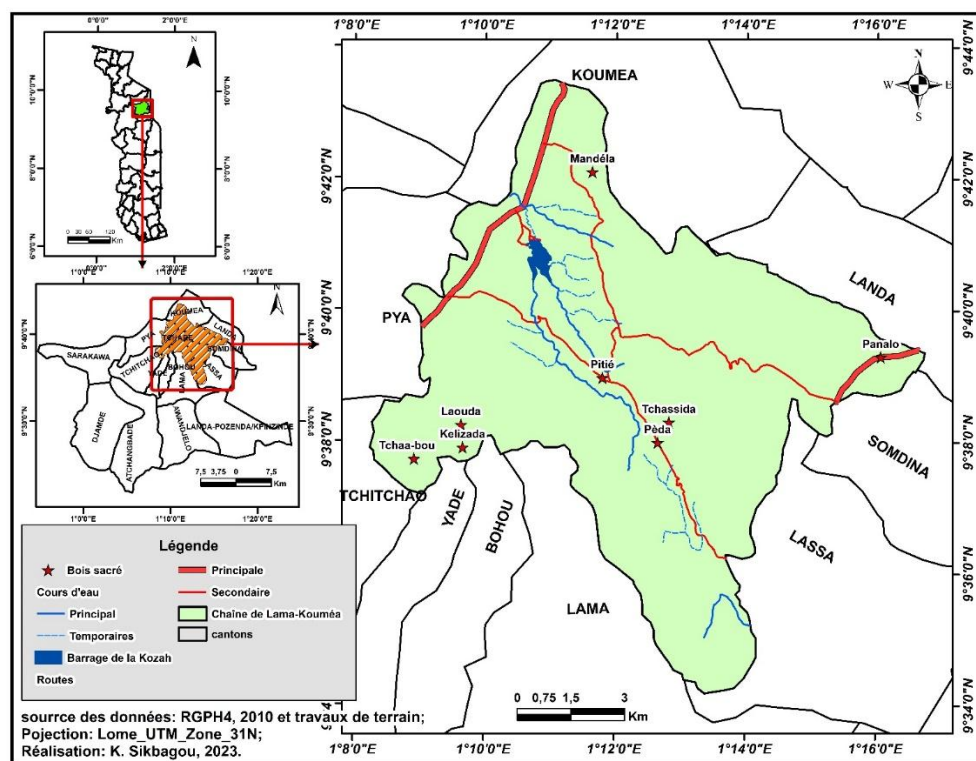


Figure 1. Carte de présentation de la zone d'étude

2.2. Collecte des données

Choix des sites d'étude et échantillonnage

L'identification des bois sacrés de la chaîne de Lama-Kouméa a été effectuée lors de la phase exploratoire de terrain. Cette phase avait consisté à la consultation des responsables administratifs (chefs cantons, chefs village) et coutumiers (prêtres traditionnels) pour l'identification des bois sacrés afin de négocier l'accès. À l'issue de cette phase, douze (12) bois sacrés ont pu être identifiés dans les cantons traversés par la chaîne de Lama-Kouméa. Mais, la collecte des données s'est portée sur huit (08) bois sacrés qui se retrouvent dans cinq cantons, tous situés dans la préfecture de la Kozah. Les bois sacrés ont été choisis sur la base de la prédominance d'espèces primitives ou endogènes. D'autres facteurs fondamentaux ont concouru notamment les facilités d'accès au bois sacrés, les ressources disponibles pour les travaux de terrain.

La détermination de superficies de chaque bois sacré sur le terrain a été effectuée en faisant le tour suivant les limites de ce dernier mini du GPS GARMIN N° 2. Ensuite, des placettes de 30 m × 30 m ont été installées en tenant compte de l'homogénéité de type de végétation au sein de chaque bois sacré (AMCC / GCCA, 2013 ; Atato, 2021 ; Obossou, 2021). Ce choix est expliqué essentiellement par les aspects pratiques de mise en place des carrés et des rectangles sur le terrain (Houéto *et al.*, 2013 ; Salako *et al.*, 2013). Ainsi, il est plus facile d'installer une placette carrée de 900 m² plutôt que 1000 m² (Thiombiano *et al.*, 2016). Ces placettes sont installées en tenant compte de l'homogénéité de type de végétation au sein de chaque bois sacré (AMCC / GCCA, 2013 ; Atato, 2021). En fonction de la superficie et de la variation phytosociologique de la végétation, le nombre de placettes est

variable selon les bois sacrés, permettant de déterminer le taux d'échantillonnage général et par bois sacré (Tableau 1). Ainsi, dans les huit (08) bois sacrés étudiés, 45 placettes ont été installées avec un taux d'échantillonnage général de 67,5 %. L'inventaire forestier a été réalisé à l'intérieur de chaque placette.

Tableau 1 : Taux d'échantillonnage des bois sacrés

Bois sacrés	Surface en ha	Surface en m ²	Nombre de placettes de 900 m ²	surface inventoriée (m ²)	Taux d'échantillonnage (%)
Tchaa-bou	6	60000	16	14400	24
Mandela	4,5	45000	9	8100	13,5
Kelizada	1,5	15000	6	5400	9
Laouda	0,49	4900	4	3600	6
Pitié	1,25	12500	3	2700	4,5
Pèda	0,53	5300	3	2700	4,5
Panalo	0,43	4300	2	1800	3
Tchassida	0,41	4100	2	1800	3
TOTAL	15,11	151100	45	40500	67,5

Inventaires forestiers

L'évaluation du potentiel de la séquestration de carbone peut se faire selon plusieurs méthodes. Etant donné que le compartiment d'estimation de carbone choisis pour cette étude porte uniquement sur les ligneux vivants, l'inventaire forestier a été adopté. Il s'est agi du recensement des individus des espèces ligneuses (renseignement de nom scientifique) et la mesure des paramètres dendrométriques (hauteur, circonférence à 1.30 du sol). La hauteur a été estimée visuellement en tenant compte de la hauteur de la tige la plus haute de l'arbre et en se plaçant à une certaine distance du tronc permettant à l'opérateur de percevoir le sommet de la cime (Tsoumou, 2016), et la circonférence à 1,30 m du sol à l'aide d'un ruban pi qui a été ensuite convertie en diamètre à hauteur de poitrine (DBH).

Les mesures ont concerné uniquement les ligneux dont le tronc a un diamètre supérieur ou égal à 10 cm (Mbow, 2009). Aussi, l'inventaire forestier pour le calcul de la biomasse et du stock de carbone n'a pris en compte que les ligneux vivants sur pied. Les arbres morts sur pied ou couchés (nécrosasse), le sous-bois (les herbacées et les ligneux bas), la litière et la matière organique du sol ont été exclus. Pour le cas des ligneux fourchus, il était considéré comme un seul individu, ceux dont la fourche est au-dessus de 1,30 m du sol. Par contre, les ligneux dont la fourche était en dessous de 1,30 m du sol, les différentes fourches ont été mesurées.

2.3. Analyse des données

Calcul des paramètres dendrométriques

Densité du peuplement ligneux : $D = n/S \times 10000$; avec : D : densité (en arbres/ha), n : nombre d'individus présentes sur une surface considérée et S : surface considérée (ha)

Calcul de la surface terrière

Elle exprime la somme des sections transversales à 1.30 m du sol (ou 0.30 m au-dessus des contreforts) de tous les arbres du peuplement ramenés à l'hectare. Elle se détermine par la formule suivante :

$G = \sum \pi DBH^2 / 4$; Avec G : la surface terrière (m²/ha), DBH : le diamètre à hauteur de poitrine (1,30m du sol) des arbres exprimés en mètre (m)

Calcul du diamètre moyen : $Dm = \sum d / n$; Avec : Dm : diamètre moyen ; d : diamètre d'un arbre ; n : effectif des arbres mesurés

Calcul de la hauteur moyenne : $Hm = \sum h / n$; Avec : Hm : hauteur moyenne ; h : hauteur d'un arbre ; n : effectif des arbres mesurés.

Calcul de la biomasse

L'évaluation du potentiel de séquestration de carbone des écosystèmes forestiers se base sur la détermination de sa biomasse. Dans cette étude Les méthodes non destructibles ont été utilisées pour calculer la biomasse et les stocks de carbone qui consistent à l'utilisation des équations allométriques adaptées à la zone d'étude (AMCC / GCCA, 2013). Ces équations qui donnent la

relation statistique entre les mesures dendrométriques de l'arbre (le diamètre et la hauteur) et la biomasse sèche de l'arbre (McGhee, 2016), sont prédéfinies pour le milieu tropical par certains chercheurs dont chaque équation est adaptée à des types de formation végétale précise.

La biomasse est le poids de matière sèche de l'ensemble des organes vivants des plantes, y compris leurs éléments non organiques (Ilboudo, 2018). Ainsi, la biomasse totale d'un ligneux vivant est constituée de la biomasse aérienne (AGB) et la biomasse souterraine (BGB).

De façon pratique, l'ensemble des données dendrométrique collecté est saisi dans le tableur Excel et les différents traitements ont été effectués. Ainsi, la circonférence de chaque individu ligneux inventorié a été convertie en diamètre à hauteur de poitrine

suivant la formule : $DBH = \frac{C}{\pi}$. Pour les ligneux fourchues en dessus de 1.30 m, le diamètre quadratique (d) a été calculé suivant

la formule : $d = \sqrt{\sum w_i d_i^2}$; d_i étant le diamètre de la fourche i (Ilboudo, 2018). Ces paramètres dendrométriques permettent de calculer la biomasse.

Biomasse aérienne (AGB)

Pour estimer la biomasse aérienne ligneuse, le modèle pantropical de Chave *et al.* (2014) a été utilisé dans les formations végétales tropicales. Ce modèle est le suivant :

$$AGB = 0,0673 \times (\rho D^2 H)^{0,97}$$

Avec AGB : biomasse aérienne ou biomasse épigée (kg), D : diamètre à hauteur de poitrine (cm), H : hauteur totale de l'individu (m) et ρ : densité spécifique (g.cm⁻³). Les valeurs de la densité spécifique (ρ) pour la majorité des espèces ligneuses du secteur n'étant pas disponibles, la valeur moyenne par défaut recommandée de Reyes *et al.* (1992), qui est $\rho = 0,58 \text{ g.cm}^{-3}$ (Issifou *et al.*, 2017).

Biomasse souterraine (BGB)

Elle est calculée à partir de l'équation allométrique développée par Cairns *et al.* (1997). $BGB = \text{Expo} [-1.0587 + 0.8836 \times \ln(AGB)]$

Avec BGB : biomasse souterraine de l'arbre ou biomasse racinaire (kg), AGB : biomasse aérienne de l'arbre (kg).

Biomasse totale (TGB)

La biomasse totale d'un arbre est estimée en faisant la somme de la biomasse aérienne et celle souterraine. Sa formule s'écrit : $TGB = AGB + BGB$

Evaluation du potentiel de séquestration de carbone

Calcul du stock de carbone (SC)

La biomasse totale estimée est en fin convertie en stock de carbone (SC) en la multipliant par le ratio de carbone (CF) conformément à la recommandation du GIEC (2006) avec comme le ratio de carbone par défaut de 0,47, toutes espèces confondues, suivant la formule : $SC = BT \times CF$. le stock de carbone total est obtenu en faisant la somme de stock de carbone des huit (8) bois sacrés étudiés

Calcul de l'équivalent de CO₂ atmosphérique séquestré (EqC)

L'estimation de l'équivalent de quantité de carbone en CO₂ atmosphérique (EqC) des bois sacrés s'est effectuée en multipliant le volume de carbone par 3,67 (GIEC, 2006). Ainsi, cette opération s'exprime par la formule suivante : $EqC = SC \times 3,67$.

3. Résultats

3.1. Les caractéristiques dendrométriques des bois sacrés

La densité et surface terrière

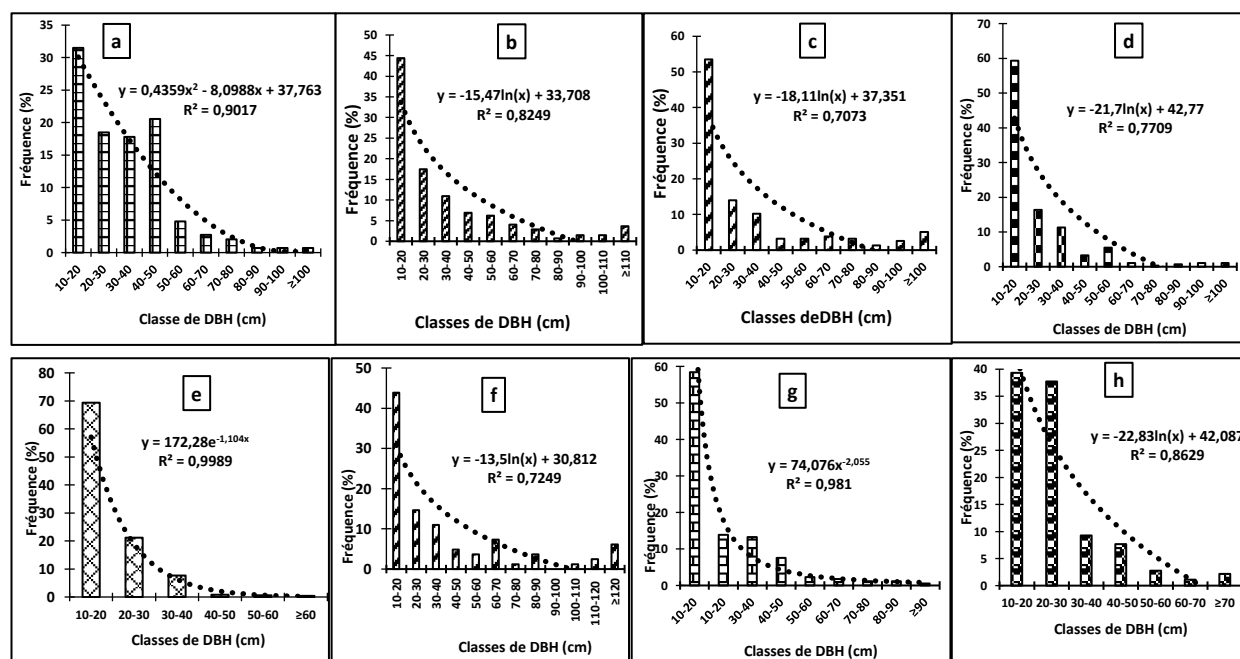
Les bois sacrés de la chaîne de Lama-Kouméa sont caractérisés sur la plan structural par une densité moyenne du peuplement ligneux de 893 Pieds/ha et une surface terrière 187 m²/ha. Le diamètre moyen et la hauteur moyenne de l'ensemble des bois sacrés sont respectivement de 63 cm et 10 m. Cependant cette caractérisation générale cache des disparités entre les bois sacrés. Ainsi, en termes de densité, le bois sacré de Panalo possède un nombre plus important de pied à l'hectare (1328 pieds/ha), alors que le bois sacré Mandela possède la plus faible densité (519 pieds/ha). Pour la surface terrière le bois sacré de Mandela dispose la plus forte valeur (52 m²/ha) tandis que Pèda possède la plus faible surface terrière (13 m²/ha). Le diamètre moyen et la hauteur moyenne les plus élevés sont retrouvés dans le bois sacré Tchassida respectivement 99 cm et 12 m, alors que les plus faibles se rencontre à Tchaa-bou respectivement 37 cm et 7 m.

Tableau 2. Paramètres dendrométriques des bois sacrés de la chaîne de Lama-Kouméa

Bois sacrés	Nombre d'individu	Densité (Ni/ha)	G (m ² /ha)	Diamètre moyen (cm)	Hauteur moyenne (m)
Tchassida	107	594	19	99	12
Laouda	383	1036	33	54	9
Panalo	239	1328	16	68	11
Mandela	420	519	52	78	11
Pitie	287	1063	13	54	10
Kelizada	606	1122	25	44	9
Peda	205	759	13	73	10
Tchaa-bou	1042	722	17	37	7
Ensemble des bois sacrés	3289	893	187	63	10

Distribution des individus par classes de diamètres

La répartition des individus ligneux des huit (08) bois sacrés étudiés dans la chaîne de Lama-Kouméa est marquée par la prédominance des individus de petit diamètre. Ainsi il est constaté que suivant l'évolution de la fréquence des individus par classe de diamètre, elle décroît des classes de diamètres faible vers les classes de diamètre important. Ceci, conduit à une courbe de tendance évolutive des fréquences en forme de « j » renversé. Cependant, malgré cette tendance globale, se dessine des variations mineures entre les bois sacrés. Il s'agit notamment du bois sacré de Panalo dont l'évolution des fréquences des individus est quasi constante des classes de 10-20 jusqu'à la classe 40-50 avant de décroître vers les classes de grand diamètre. Le coefficient de détermination (R^2) de la courbe de tendance de l'évolution de la fréquence par classes de diamètre varie de 0.7 à 0.9 entre les bois sacrés.

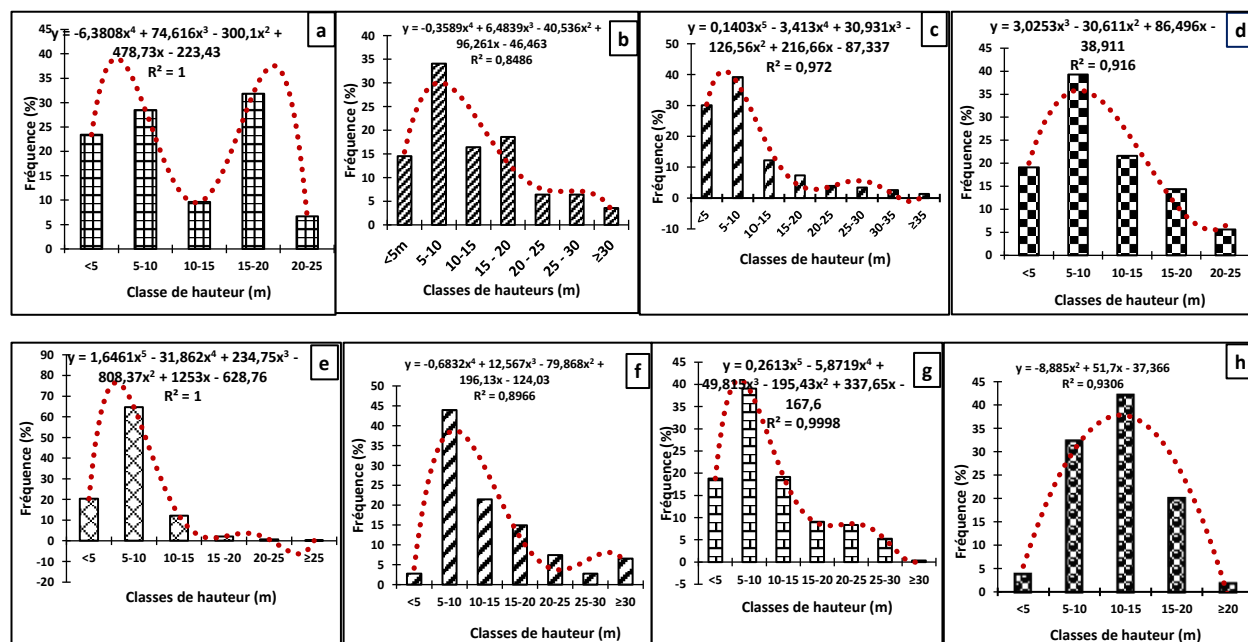


a = Panalo ; b = Mandela ; c = Laouda ; d = Kelizada ; e= Tchaa-bou ; f = Tchassida ; g = Pitié ; h = Pèda

Figure 2. Structure diamétrique des bois sacrés de la chaîne de Lama-Kouméa

Distribution des individus par classes de hauteur

La distribution des individus des espèces ligneuses de bois sacrés en fonction des classes de hauteur montre une forte concentration des tiges au niveau de classes de petite hauteur avec une décroissance des effectifs vers les classes à grandes hauteurs. Ceci traduit la prépondérance des individus de petite taille. Cette tendance générale de la régression de la fréquence avec l'augmentation de la hauteur n'est pas respectée dans le bois sacré de Panalo. Ainsi, il est constaté une proportion importante des arbres adultes. Malgré cette tendance générale de la fréquence avec l'augmentation de la hauteur, le bois sacré de Panalo présente une proportion importante des arbres adultes. Ce qui explique l'allure irrégulière de la courbe de tendance avec un coefficient de détermination $R^2=1$.



a = Panalo ; b = Mandela ; c = Laouda ; d = Kelizada ; e= Tchaa-bou ; f = Tchassida ; g = Pitié ; h = Pèda

Figure 3. Structure en hauteur des bois sacrés de la chaîne de Lama-Kouméa

3.2. Potentiel de séquestration de carbone des bois sacrés de la chaîne de Lama-Kouméa

Biomasse et carbone séquestré

La biomasse des bois sacrés, exprimée en tonne par hectare (t/ha) a pris en compte deux compartiments à savoir la biomasse aérienne (AGB) et biomasse racinaire ou souterraine (BGB). Ces deux compartiments s'associent pour donner la biomasse totale (TGB). Ainsi, il ressort que l'ensemble des huit (08) bois sacrés ont produit une quantité totale de 4715 t/ha de biomasse dans les arbres vivants sur pied, soit 3743t/ha de biomasse aérienne (AGB) et 972t/ha de biomasse racinaire (BGB). Cette quantité de biomasse est estimée sur 1690 arbres de diamètre à hauteur de poitrine (DHP) supérieure ou égale à 10 cm.

Si l'on porte un regard comparatif de la production de la biomasse entre compartiments, il est observé une nette supériorité de la biomasse aérienne sur la biomasse racinaire en termes de quantité. Il faut aussi souligner la disparité de production de biomasse entre les différents bois sacrés en termes de production de biomasse totale.

En termes de séquestration de carbone, la végétation ligneuse des bois sacrés de la chaîne de Lama-Kouméa a séquestré une quantité de carbone de 2216 tC/ha, soit 8132 t de CO_2 atmosphérique.

Tableau 3. Présentation de la biomasse des bois sacrés de la chaîne de Lama-Kouméa

Bois sacrés	Effectif d'individus (≥ 10 cm)	AGB (t/ha)	BGB (t/ha)	TGB (t/ha)	SC (tC/ha)	Eq C02 (t)
Tchassida	82	919	205	1125	529	1940
Laouda	146	835	197	1032	485	1780
Panalo	138	535	149	684	321	1180

Mandela	265	520	142	663	312	1143
Pitié	174	348	98	446	210	769
Kelizada	251	280	82	362	170	624
Peda	178	258	78	336	158	580
Tchaa-bou	456	47	20	67	31	115
Total	1690	3743	972	4715	2216	8132

Une analyse comparative de la séquestration de carbone a montré une variabilité entre les bois sacrés étudiés (Figure 3). Ainsi, il ressort que le stock de carbone est plus élevé dans le bois sacré Tchassida avec 529 tC/ha soit 23,9% du stock total des bois sacrés suivi de Laouda qui stocke 485 tC/ha (21,9%). Par contre le BS Tchaa-bou enregistre le plus faible stock de carbone et concentre seulement 31tC/ha dans sa végétation ligneuse qui équivaut à une proportion de 1,4% du stock total. Les stocks moyens sont rencontrés dans les bois sacrés Kelizada, Panalo, Mandela, Pitie et Pèda qui emmagasinent des tonnes de carbone par hectare respectives de 321 (14,5%), 312 (14,1%), 210 (9,5%), 170 (7,7%) et 158 (7,1%).

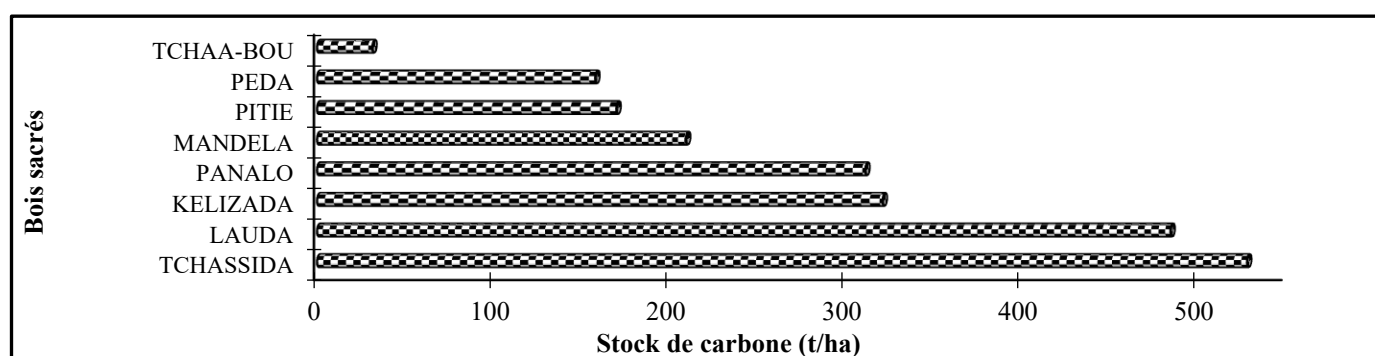


Figure 4. Variabilité de la séquestration de carbone entre les bois sacrés

Variabilité de biomasse en fonction du DBH et de la hauteur

La tendance générale de l'évolution de la biomasse en fonction du DBH décrit une fluctuation en dents de scie. Mais de façon détaillée, elle décrit une évolution en trois séries dont la première va de la classe de DBH 10-20 (164 t/ha) à la classe 40-50 (431 t/ha), la seconde de la classe 50-60 (359 t/ha) à la classe 110-120 (230 t/ha) et la dernière de la classe 120-130 (329 t/ha) à ≥ 220 (269 t/ha). En effet la première série montre une augmentation de la biomasse avec l'augmentation du diamètre des arbres (DBH) jusqu'au niveau limité de 50cm. La seconde série présente une fluctuation avec de faible écart entre les valeurs de biomasse totale et les classes de diamètre. La dernière série est marquée par des écarts très prononcés des valeurs de biomasse totale entre les différentes classes de DBH dont les plus fortes valeurs se retrouvent dans les classes 210-220cm (342 t/ha), 120-130cm (329 t/ha) et la classe de 220cm et plus (269 t/ha). Les valeurs moyennes de biomasse totale sont détenues par les classes 150-160cm (230 t/ha), 190-200cm (184 t/ha), et 200-210cm (132 t/ha). Les classes 160-170cm (62 t/ha), 170-180cm (36 t/ha) et 130-140cm (32 t/ha) enregistrent les plus faibles quantités de biomasse totale de la série.

L'évolution de la biomasse en fonction des classes de hauteur indique deux phases. La première phase est marquée par une croissance de la quantité de biomasse des classes à individus de petite taille vers les classes à individus de taille moyenne (la classe de moins de 5m à la classe de 15-20m). La seconde phase décrit une évolution irrégulière des classes moyennes vers les classes supérieures (de la classe 20-25m à la classe des 35m et plus) avec un pic de biomasse observé dans la classe 30-35m (1356,64t/ha) suivi des classes 20-25m (940,87t/ha) et 25-30m (804,58t/ha) qui enregistrent des valeurs moyennes de biomasse totale (TGB) et la classe des 35m et plus occupe la plus faible quantité de biomasse de la phase avec 250,92t/ha.

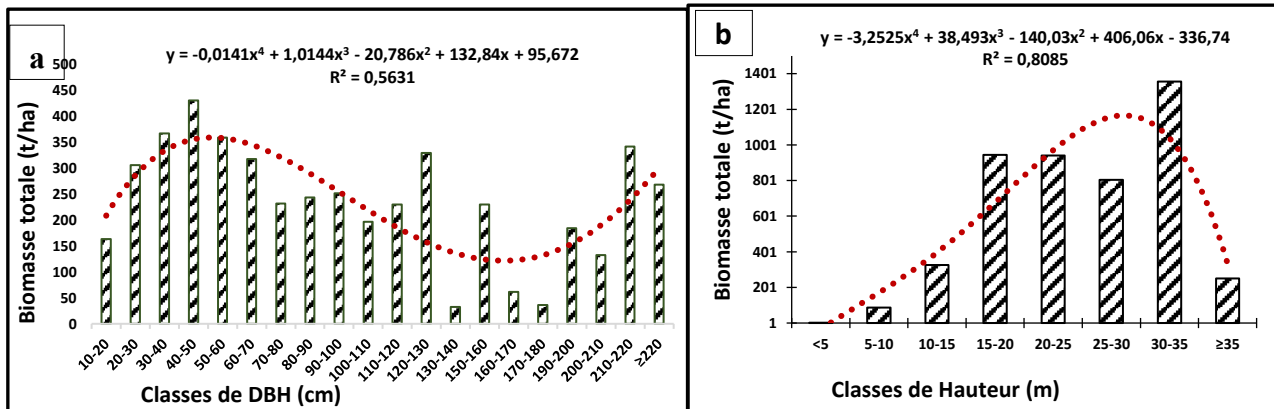


Figure 5. Répartition de la biomasse totale par classes de DBH (a) et de hauteur (b)

Relation entre biomasse et les paramètres dendrométriques

L'examen de la figure 5 indique une bonne relation de l'évolution de la biomasse totale en fonction du DBH (a) et de hauteur (b). Ainsi, la courbe de tendance suivant l'évolution en puissance est croissante avec un coefficient de détermination $R^2=0,88$ ou 88%. Donc, la variation de la valeur de la biomasse totale dépend à 88 % de la valeur du DBH. Aussi, les nuages de points qui représentent la biomasse totale montre une densification au niveau des petits diamètres et une dispersion progressive en forme de trompette vers les diamètres élevés. Ceci traduit une régularité dans la relation TGB-DBH avec une variation de la TGB qui augmente lentement jusqu'au DBH de 110cm, au-delà duquel cette variation croît significativement. Cette dispersion des nuages de points pour les arbres de DBH 110 cm témoigne d'une certaine irrégularité dans la relation entre la biomasse et les gros arbres. La relation entre la biomasse et la hauteur indique une distribution des nuages de points en deux phases suivant l'évolution de la hauteur. La première phase est comprise entre 2 m et 20 m, et marquée par une concentration des points avant de se disperser graduellement au-delà de 20m jusqu'à 35m et plus qui constitue la seconde phase. Ce qui traduit une variation lente des valeurs de la biomasse dans les arbres de hauteur basse à hauteur moyenne, alors que la variation est poussée dans les arbres de hauteur élevée. Les estimations connaissent un fort biais dans les arbres de grande hauteur. Le coefficient de détermination $R^2= 0,73$ est statistiquement satisfaisant. Par conséquent, les variations de la hauteur expliquent à 73 % les variations de la biomasse.

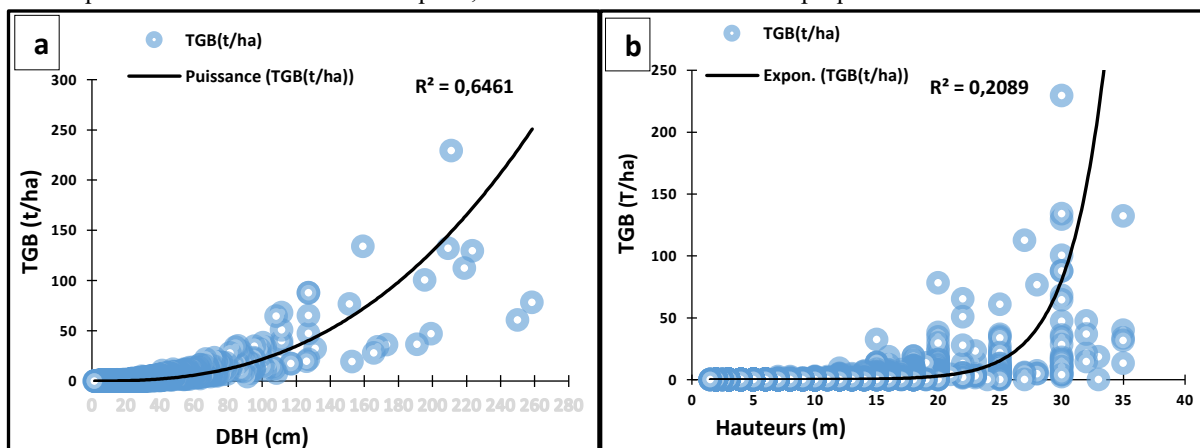


Figure 6. Relation entre Biomasse-diamètre (a) et biomasse-hauteur (b)

4. Discussion

4.1. Caractéristiques dendrométriques des bois sacrés

Les résultats montrent que la densité moyenne du peuplement de l'ensemble des bois sacrés s'élève à 893 pieds/ha. Cette densité est comparable à celle trouvée par Tchadéi (2013) dans les bois sacrés de la Binah (865 pieds/ha) et de Tébonou (2011) dans les bois sacrés d'Alédjo-kadara (718 pieds/ha). Cette concordance peut s'expliquer l'appartenance de ces deux recherches à la zone écologique II.

L'analyse des paramètres dendrométrique montre une variation des bois sacrés. Ceci en raison du type de végétation caractérisant chaque bois sacrés, qui aussi émane des conditions du milieu auquel ils font face. Selon Kazimna & Boukpepsi (2020), « les paramètres structuraux des groupements végétaux à savoir les forêts denses sèches, galeries forestières, savanes arborées et arbustives, savanes herbeuses, savanes parcs et les plantations varient en fonction des conditions écologiques et anthropiques du milieu où ils se développent ». Ainsi, les bois sacrés de la chaîne de Lama-Kouméa subissent de manière diverses les effets des facteurs externes à savoir le prélèvement par la population, la topographie, la nature du substrat et présentent des physionomies différentes. C'est ce qui justifie la plus forte surface terrière du bois sacré de Mandela (52 m²/ha), et de Diamètre moyen qui est constitué d'une végétation de forêt dense sèche, avec la prédominance des ligneux de grands diamètre (*Andonsonia digitata*, *Antiaris africana*...). Alors que le bois sacré de Pèda, constitué d'une végétation savanicole, a la plus faible surface terrière (13 m²/ha). Donc la végétation de forêt dense sèche bénéficie des conditions pluviométriques et pédologiques favorables. Cette conclusion est partagée par Kazimna & Boukpepsi (2020) qui souligne que la physionomie des formations végétales dépend du degré de fertilité du sol et de la disponibilité des ressources en eau.

La structure diamétrique des individus ligneux décrivant une courbe en « J renversé » et la structure en hauteur, révèlent une prédominance des jeunes arbres. Cette prédominance des jeunes sujets a été signalée par Atakpama *et al.* (2023) dans le parc national Fazao-Malfakassa au Togo et Ilboundo (2018) dans son étude sur le site de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts (ENEF) dans la zone soudanienne du Burkina Faso. Ces paramètres permettent d'évaluer la maturité de la végétation des bois sacrés. Cette même conclusion a été tirée par Kombate *et al.* (2019). Ainsi, l'état mature du bois sacré de Panalo fait qu'on assiste à un nombre important des ligneux adultes. Reste à savoir s'il y a suffisamment de la régénération naturelle de ces ligneux pour assurer la relève. Les bois sacrés à dominance jeune arbres possèdent un avenir assuré. Donc la végétation de ces bois sacrés est susceptible de se renouveler par la régénération naturelle (Mbayngoné, 2008). Ainsi, ces bois sacrés sont à majorité constitués de savanes boisées qui sont en transition vers la forêt dense sèche en raison de leur statut de protection. Mais, cette tendance générale de la structure de la végétation cache un processus de dégradation qui affecte certaines espèces utilisées (Ilboundo, 2018).

4.2. Potentiel de séquestration de carbone des bois sacrés

Les résultats de cette recherche ont révélé que les bois sacrés de la chaîne de Lama-Kouméa renferment une quantité de biomasse totale (TGB) de 4715 t/ha, donnant lieu à un stock de 2216 tC/ha de carbone, ce qui équivaut à 8132 t de CO₂ atmosphérique. En effet, la quantité de biomasse produite par ces bois sacrés est plus importante que celle estimée par Abani (2015) dans la forêt secondaire de la Réserve Forestière de Voko (Province de la Tshopo, RD Congo) avec la biomasse totale de 281,7 t/ha. Le statut de gestion de ces différents écosystèmes pourrait être à l'origine de ces différences notoires. Ce point de vue est partagé par Kombate *et al.* (2019). Parallèlement, ces résultats sont en désaccord avec ceux de Folega *et al.* (2020) qui a estimé 2,09 t/ha de biomasse dans l'emprise urbaine de la ville de Dapaong. L'on pourrait l'attribuer à la différence du milieu géographique, notamment le milieu urbain à forte emprise humaine. Il en est de même que les résultats de recherches de Kazimna (2020) avec 43,15 t/ha de biomasse, qui, bien que menées dans la même zone, est en inadéquation avec nos résultats. Ceci peut être lié à la méthode choisie, notamment l'équation allométrique utilisée. Cette conclusion est soutenue par Gomgnimbou *et al.* (2019). Par contre la quantité de biomasse estimée dans la végétation ligneuse des sites étudiés est inférieure à celle évaluée dans la forêt classée de Wari-Marou au Bénin par Issifou (2019) qui s'élève à 7394,63 t/ha.

Ensuite, le tonnage par hectare de carbone enregistré (2216 tC/ha) dans les bois sacrés de la chaîne de Lama-Kouméa est moins important que le stock de la forêt de Guadeloupe (377,09 tC/ha) estimé par Dorvil (2010) et les forêts d'Afrique subsahariennes du Ghana (355 tC/ha), évalué par Henry (2011). La différence des conditions bioclimatique pourrait être à l'origine de ces disparités notoires. Ainsi, ces deux précédentes recherches sont conduites dans le milieu purement forestier à condition bioclimatique plus favorable. Par contre ce stock est supérieur au stock trouvé par Kombaté *et al.* (2019) sur le plateau d'Akposso qui s'évalue à 35,47 tC/ha. Il en est de même pour la réserve scientifique de Lamto (Côte d'Ivoire) avec un stock de carbone évalué à 22,21 tC/ha par Gueulou (2020). Cet écart entre les stocks peut s'expliquer par des différences méthodologiques et de la structure de la couverture végétale. Cette conclusion est partagée par Foléga *et al.* (2020) qui souligne que les différences résulteraient de la démarche méthodologique utilisée lors de la collecte des données. Dans le même sens, Anobla & N'Dja (2016) attribue les écarts de résultats à la méthode utilisée pour les mesures de diamètre et de hauteur.

Concernant l'équivalent de CO₂ atmosphérique séquestré, les résultats de cette recherche sont supérieurs à ceux de Ilboundo (2018) qui a évalué 7 144,11 tonnes de CO₂ dans la végétation de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts (ENEF) au Burkina-Faso. Cette différence de séquestration pourrait s'expliquer d'abord par la différence de zone bioclimatique. Notre zone se trouve dans un climat soudano-guinéen alors que celui de Ilboundo (2018) jouit d'un climat soudanien. Ensuite, la présente étude s'est limitée à la végétation ligneuse avec l'utilisation du modèle allométrique de Chave *et al.* (2014), modèle qui prend en compte lors du calcul le diamètre, la hauteur et la densité spécifique, alors que celui-ci a inclus la végétation ligneuse et herbacée avec comme

model, celui de Mbow (2009) qui ne nécessite que le diamètre des arbres. Ce résultat est également supérieur à celui de Nilesh (2019) dans les forêts sacrées de Mandvi Tehsil dans le district de Kachchh, Gujarat (Inde) 175.47 tonnes de carbone.

L'analyse comparative de la quantité de biomasse, le stock de carbone ainsi que l'équivalent de CO₂ atmosphérique entre les bois sacrés a permis de constater une nette variation avec le bois sacré. Ainsi, les plus fortes quantités de biomasse sont enregistrées par les bois sacrés Tchassida et Laouda. Ceci pourrait s'expliquer par le taux élevé d'individus ligneux à grand diamètre. C'est sur cette même conclusion qu'est parvenu Gomgnimbou *et al.* (2019), dans son article sur le potentiel de séquestration du carbone par les espaces verts aménagés urbains de la ville de Bobo-Dioulasso au Burkina Faso, qui estime que « l'important pool d'individus de gros diamètres pourrait justifier la supériorité de son volume de carbone en comparaison aux autres ». Par contre le bois sacré Tchaa-bou à végétation savanicole, possède le plus faible taux de production de biomasse. Cela pourrait être dû à la prédominance des sujets de petit diamètre. Ceci a été déjà démontré par Ouedraogo *et al.* (2019), qui estime que « la valeur de la biomasse et de carbone dans la savane est faible du fait de la prédominance des ligneux de petits diamètres ». Ainsi, les arbres qui existent dans les savanes présentent de petits diamètres et de petites tailles (Folega *et al.* 2021). Donc les stocks de carbone dépendent de plusieurs paramètres qui sont entre autres la qualité et la quantité des arbres (Amougou *et al.*, 2016).

La relation entre la biomasse-diamètre et biomasse-hauteur est statistiquement significative avec respectivement un coefficient de détermination $R^2 = 0,88$ et $R^2 = 0,73$. Ceci traduit une forte relation entre ces paramètres dendrométriques et la quantité de biomasse produite. Cette relation est similaire à celle établie par Fané *et al.* (2022) entre la circonférence et le stock de carbone ($R^2 = 0,70$), qui estime que « plus la circonférence augmente, plus le potentiel de séquestration de carbone est important ».

Mais, il faut souligner que la dispersion des nuages de points qui représentent la biomasse au niveau des grands arbres en termes de diamètres et en termes de hauteur montre que cette forte relation se limite aux arbres jeunes. Donc les prévisions pour une planification sur la production de biomasse par les ligneux ne peuvent se faire que pour les petits et moyens arbres, c'est-à-dire des jeunes ligneux. Issifou *et al.* (2017) sont parvenus à cette même conclusion dans son étude sur la forêt classée de Wari-Marou au Centre-Bénin, qui souligne que les arbres de gros diamètre et de grande taille ne sont pas de très bons prédicteurs de biomasse. La distribution de la biomasse par classe de diamètres et par classe de hauteurs confirme cette réalité de forte dépendance de la biomasse au niveau des arbres jeunes. Ainsi, elle se traduit par l'allure croissante de la courbe de tangence des individus jeunes jusqu'à maturité et fluctuation, voir décroissance des individus matures vers les individus vieux. Cette tendance montre que les arbres accroissent leur quantité de biomasse jusqu'à une certaine maturité avant de connaître une décroissance vers la vieillesse. La forte intensité de séquestration de carbone des jeunes arbres au détriment des arbres adultes pourrait s'expliquer par le fait que les jeunes plants absorbent une quantité importante de CO₂ pour assurer leur croissance. Outre cela, les arbres adultes sont victimes de prélèvement par l'homme pour diverses fins, mais aussi, ils subissent également des intempéries naturelles notamment des vents violents qui occasionnent des phénomènes de chablis.

5. Conclusion

Les résultats de cette recherche montrent le rôle que jouent les bois sacrés de la Chaîne de Lama-Kouméa dans l'atténuation du changement climatique. Ils ont permis de comprendre l'apport de chaque bois sacré de la chaîne de Lama-Kouméa dans la séquestration du carbone atmosphérique. Ainsi, l'ensemble des bois sacrés ont produit une quantité importante de biomasse avec une séquestration variable et importante de carbone atmosphérique. La relation biomasse-diamètre des arbres et biomasse-hauteur des arbres révèle que la planification pour la séquestration de carbone de ligneux de ces bois sacrés, ne peut se faire que sur les sujets jeunes et moyens, compte tenu de l'irrégularité de la relation de biomasse avec les grands arbres qui peuvent conduire à un biais des prévisions si l'on s'en tient compte. Au vu du rôle très important de ces bois sacrés dans l'atténuation du changement climatique, il est nécessaire que des actions soient menées en faveur du renforcement de la préservation de ces derniers, mais aussi la création de nouveaux espaces de boisement notamment des forêts communautaires planifiées afin d'accroître le taux de séquestration de carbone dans la zone d'étude.

Remerciement

Les auteurs remercient les populations environnantes des bois sacrés de la chaîne de Lama-Kouméa. Les remerciements sont également adressés aux autorités administratives et coutumières pour l'accueil et l'autorisation d'inventorier ces lieux sacrés.

Contribution des auteurs

Contribution des auteurs

Rôle du contributeur

Conceptualisation

Noms des auteurs

Sikbagou Kankpénangue

Gestion des données	Sikbagou Kankpénangue
Analyse formelle	Sikbagou Kankpénangue & Atato Abalo
Acquisition du financement	Sikbagou Kankpénangue
Enquête et investigation	Sikbagou Kankpénangue & Atato Abalo
Méthodologie	Sikbagou Kankpénangue
Gestion de projet	Sikbagou Kankpénangue
Ressources	Sikbagou Kankpénangue & Atato Abalo
Logiciels	Sikbagou Kankpénangue
Supervision	Atato Abalo
Validation	Atato Abalo & Soussou Tatongueba
Visualisation	Atato Abalo & Soussou Tatongueba
Écriture – Préparation	Sikbagou Kankpénangue
Écriture – Révision	Sikbagou Kankpénangue

Références

- Abani S Z J (2015) Application des mesures dendrométriques pour l'estimation de la biomasse aérienne dans la forêt secondaire de la Réserve Forestière de Voko (Province de la Tshopo, RD Congo), Mémoire du diplôme d'ingénieur en Gestion des Ressources Naturelles Renouvelables, Université de Kisangani, 32 p.
- AMCC / GCCA (2013) Guide de mesure et de suivi du Carbone dans le système sol-végétation des formations forestières et agroforestières en Afrique de l'ouest 46 p.
- Amougou J A, Bembong Ebokona L D, Batha R A S, Mala A W, Ngono H (2016) Estimation du stock de carbone dans deux unités de terre en zone de savane du Cameroun *Revue de Géographie, d'Aménagement Régional et du Développement des Suds* Regardsuds 2 : 28–45. <https://regardsuds.org/1827-2>
- Anobla A O M M & N'Dja K. J (2016) Dynamique de la végétation de Bamo et stocks de carbone dans la mosaïque de végétation, *European Scientific Journal* June, edition vol.12, No.18 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431, pp. 359-374.
- Atakpama W, Kombate B, Klevor K J A, Folega F , Batawila K , Akpagana K (2023) Feu de végétation et diversité des formations végétales du Parc national Fazao-Malfakassa au Togo, *Revue Ecosystèmes et Paysages* 03(1): 48 –65pp doi: <https://doi.org/10.59384/recopays2023-3-1>
- Atato A, Woegan Y A, Dourma M, Wala K, Batawila K, Akpagana K (2021) Distribution et disponibilité des espèces spontanées à fruits alimentaires quatre zones écologiques du Togo, *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.*9(1), 73-81
- Banassim T (2015) *Etude des risques de mouvements de terrain dans le massif kabyè et ses environs au nord-est du Togo* thèse de Doctorat à l'Université de Lomé 307 pages
- Bawa D (2012) Le nord-Togo : géomorphologie et dynamique actuelle des unités du socle du nord-est, Thèse de doctorat à l'Université Lomé, 528 p.
- Boukpepsi T (2019) Caractéristiques floristiques et structurales et importance socioculturelle des bois sacrés en pays Kabyè (Nord-Togo) *Annales de l'Université de Moundou Série A - Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines* Vol.6(2) Déc. 2019 ISSN 2304-1056
- Cairns A M, Helmer H E B S & BAUMGARDNER A G (1997) Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia* 111, 1-11.
- CCNUCC (1992) Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques articles et définitions NU New York
- Chave J, Mechain R M, Burkez A, Chidumayo E, Colgan S M, Delitti C B W Duque A, Eid T, Fearnside M P, Goodman C R, Henry M, Martinez-yrizar A, Mugasha A W, Muller-landau C H, Mencuccini M, Nelson W B, Ngomanda A, Nogueira M E, Ortiz-Malavassi E, Pelissier R, Ploton P, Ryan M C, Saldarriaga G J, Vieilledent G (2014) Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees, *Global Change Biology* (2014) 20, doi:10.1111/gcb.12629, pp. 3177-319
- Dorvil W (2010) Evaluation de la biomasse et des stocks de carbone sur des placettes forestières en forêts tropicales humides de Guadeloupe. Mémoire DE Master en Sciences et Technologies, Université des Antilles et de la Guyane, 44 p.
- Ern H (1979) Die Vegetation Togos. Gliederung, Gefährdung Erhaltung. *Willdenowia*, 9: 295-312.
- Ewe D V (2016) Diversité floristique et stock de carbone des plantations à anacardium (anacardiaceae) dans la région du nord Cameroun : cas de Ngong Agronomiques 20- Spécial Projet Undesert-UE, pp. 79–98.
- Fané S, Maharazu A Y, Yorombe Y K, Dembélé F, Karembe M (2022) Séquestration de carbone par les arbres des systèmes agroforestiers en zone soudanienne de la Région de Dioïla au Mali Conference Paper.

- Faure P (1985) Les sols de la Kara nord-est-Togo relations avec l'environnement, Carte pédologique à 1/50 000 Paris Editions de l'ORSTOM Collection travaux et documents no 183, 281pages.
- Folega A A, Folega F, Woegan A Y, Wala Kp, Akpagana K (2021) Dynamique des émissions de gaz à effet de serre liées au secteur foresterie et autres affectations des terres (FAT) dans le paysage du socle Eburnéen au Togo Rev Écosystèmes et Paysages (Togo) No 01 vol 01 pp.58-72
- Folega F, Kombate B, Konate D, Kanda M, Wala K & Akpagana K (2020) Inventaire et séquestration de carbone de la végétation de l'emprise urbaine de la ville de Dapaong, Togo, Revue espace Géographique et Société Marocaine, n° 41/42, pp. 273-289. <https://www.researchgate.net/publication/345726456>
- GIEC (2006) Guide pour l'inventaire national des gaz à effet de serre agriculture foresterie et autre usage des terres Institute for Global Environmental Strategies Japon pp. 46 – 52
- GIEC (2019) Rapport spécial du GIEC sur les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1,5 °C par rapport aux niveaux préindustriels et les trajectoires associées d'émissions mondiales de gaz à effet de serre dans le contexte du renforcement de la parade mondiale au changement climatique, du développement durable et de la lutte contre la pauvreté Résumé à l'intention des décideurs, 26 p.
- Gueulou N, Douffi K G, Soro Y, Kone M, & Bakayoko A (2020) Evaluation de la couverture forestière et du stock de carbone forestier de la réserve scientifique de Lamto (Côte d'Ivoire) International Journal of Innovation and Applied Studies ISSN 2028-9324 Vol. 28 No. 3 Feb. 2020, pp. 682-689
- Henry M, Picard N, Trotta C, Manlay R J, Valentini R, Bernoux M, Saint-André L (2011) Estimating tree biomass of sub-Saharan African forests: a review of available allometric equations, *Silva Fennica* 45(3B), pp. 477-569. www.metla.fi.
- Houeto G, Glele kakaï R, Salako K V, Assogbadjo A, Fandohan B, Sinsin B & Palm R (2013) Effect of inventory plot patterns in the floristic analysis of tropical woodland and dense forest African Journal of Ecology 52(3), pp. 257-264
- Ilboudo D (2018) Evaluation de la biomasse et du potentiel de séquestration de carbone par les petites formations forestières des savanes en zone soudanienne du Burkina Faso : cas du site de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts (ENEF) Mémoire du diplôme d'ingénieur du développement rural, université nazi boni (UNB) 80 p.
- Issifou Moumouni Y, Arouna O, Toko Issaka N, Toko Imorou I, Zakari S, Djaouga M (2017) Estimation de la variabilité de la biomasse aérienne ligneuse en forêt tropicale sèche : cas de la forêt classée de Wari-Marou au Centre-Bénin Revue de géographie du Laboratoire Leïdi « DTD » -ISSN 0851– 2515 –N°17, pp 38-56
- Kazimna M & BoukpeSSI T, (2020) Paramètres structuraux et potentiel de séquestration du carbone dans les paysages végétaux des massifs Kabyè La revue de Géographie de l'Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa (Côte d'Ivoire) <https://www.revuegeo-univdaloa.net>
- Kombate B, Dourma M, Folega F, Woegan A Y, Wala K et Akpagana K (2019) Structure et potentiel de séquestration du carbone des formations boisées du plateau Akposso en zone subhumide au Togo Afrique science 15(2) (2019) pp. 70-79 , <http://www.afriquescience.net>
- Madiodio N (2007) Eléments de stratégie régionale d'adaptation au changement climatique basée sur l'approche de partage des risques en Afrique de l'ouest, Programme Adaptation au Changement Climatique en Afrique, 62 p.
- Mbayngoné E (2008) Flore et végétation de la réserve partielle de faune de Pama Sud-Est du Burkina Faso Thèse de Doctorat. Spécialité : Sciences Biologiques Appliquées, UFR/SVT, Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 137 p.
- Mbow C (2009). Potentiel et dynamique des stocks de carbone des savanes soudano-guinéennes du Sénégal. Thèse de Doctorat d'Etat des Sciences. Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD), Dakar, Sénégal, 291 p. <https://www.memoireonline.com/02/13/691>
- Meghee W, Saigle W, Padonou E A & Lykke A M (2016) Méthodes de calcul de la biomasse et du carbone des arbres en Afrique de l'ouest, Annales des Sciences Agronomiques 20 - spécial Projet Undesert-UE, ISSN 1659-5009, pp. 79-98
- MERF (2015) Troisième communication nationale sur les changements climatiques, 136 p
- MulongoY K J et Cung A (2011) Les approches d'atténuation et d'adaptation aux changements climatiques fondées sur les écosystèmes Lavoisier Revue juridique de l'environnement n°5 spécial pp. 29-34. <https://www.cairn.info>
- Negi J D S, Chauhan P S & Negi M (2003) Evidences of climate change and its impact on structure en fonction of forest ecosystems in and around doon vally, Indian forester, 129 (6), pp. 757-769.
- Nilesh C, Goswami D, Kachhot J, Alpesh M, Mehta P K (2019) Carbon sequestration: A Method to Conserve Environment- A Case study of Mandvi Tehsil, Kachchh District, Gujarat, Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR), Volume 6, pp. 236-240. www.jetir.org.
- Obossou K F (2021) Evaluation des impacts des activités anthropiques sur les ressources végétales de la forêt communautaire d'AHOUANHOZOUKAN au sud-Benin, Thèse de Doctorat en Ecologie-Environnement, Université d'Abomey-Calavi, 142 p.
- Ouedraogo O W, Gomgnimbou K P A, Santi S, Ilboudo D et Toguyeni A (2019) Quantification de la Biomasse et stockage du carbone du massif forestier de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts de Dindéresso province du Houet au Burkina Faso, Int. J. Biol. Chem. Sci. 13(7), ISSN 1997-342X (Online), pp. 3276-3288. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v13i7.24>
- Perezi T M (2002) Pratiques locales de conservation de la biodiversité : cas des bois sacrés dans la Kozah (nord-Togo). Mémoire de DEA, U.L., 64p.

- Poss R (1996) Etude morphopédologique du Nord Togo à 1/500 000. Edition de l'O.R.S.T.O.M., Colin, Notice explicative n°109, Paris, 142 p.
- Reyes G, Brown S, Chapman J, Lugo A (1992) Wood densities of tropical tree species. United States Department of Agriculture Forest Service Southern Forest Experimental Station, New Orleans, Louisiana. General Technical Report SO-88, 15 pages.
- Sabi, B E (2007) Etude pétrologique et structurale du massif Kabyè, Nord-Togo. Thèse de Doc. Univ. Lomé, 546 p.
- Salako V K, Glèlè Kakaï R, Assogbadjo A E, Fandohan B, Houinato M & Palm R (2013) Efficiency of inventory plots patterns in the quantitative analysis of vegetation: case study of tropical woodland and dense forest in Benin Southern forests 75 (3) pp. 137-143
- Tchamie T T K, (2000) Evolution de la flore des bois sacrés des massifs kabyè et des régions environnantes (Togo). LEJEUNA, Rev. Bot., nouvelle série N° 164.
- Thiombiano A, Glele Kakaï R, Bayen P, Boussim J I & Mahamane A (2016) Méthodes et dispositifs d'inventaires forestiers en Afrique de l'ouest : état des lieux et propositions pour une harmonisation Annales des Sciences Agronomiques 20 - spécial Projet Undesert-UE pp. 15-31
- Tsoumou B R, Lumande K J, Kampe J P, & Nzila J D (2016) Estimation de la quantité de carbone séquestré par la Forêt Modèle de Dimonika (Sud-ouest de la République du Congo) Revue Scientifique et Technique Forêt & Environnement du Bassin du Congo, vol.6, pp. 39-45