

ESTIMATION DU STOCK DE CARBONE DES SYSTEMES AGROFORESTIERS DANS LA COMMUNE DE N'DALI AU NORD-EST DU BENIN

Résumé

Les systèmes agroforestiers (SAF) sont reconnus pour leur rôle essentiel dans la résilience agricole et l'atténuation du changement climatique, notamment par la séquestration du carbone. La présente recherche a pour objectif d'estimer le stock de carbone des principaux SAF présents dans la Commune de N'Dali.

Une démarche reposant sur un inventaire floristique dans l'aire de répartition des systèmes agroforestiers suivant la méthode sigmatiste de Braun-Branquet a été adoptée. 150 placeaux circulaires de 18 m de rayon ont été installés dans les parcs agroforestiers, les haies, les jachères, les jardins de case et les plantations (systèmes Taungya). Les données collectées ont permis de déterminer d'estimer la biomasse aérienne et racinaire afin de calculer le stock de carbone à l'aide des logiciels appropriés (Excel, SPSS).

Les résultats obtenus ont révélé que le stock de carbone varie significativement au seuil de $p < 0,001$ d'un SAF à l'autre. Les parcs agroforestiers stockent la plus grande quantité de carbone (39,23 tonnes), suivis par les jachères (27,49 tonnes) et les plantations (20,54 tonnes). Les jardins de case (3,65 tonnes) et les haies (2,23 tonnes) présentent des stocks de carbone plus faibles en valeur absolue, mais leur rôle écologique dans le paysage est important. La quantité équivalente CO_2 stockée suit le même gradient, avec les parcs agroforestiers ayant le plus fort potentiel de séquestration de CO_2 ($19\,605,99 \pm 16\,602,05 \text{ t.Eq CO}_2/\text{ha}$). Un résultat clé de cette étude est la forte corrélation entre le stock de carbone et l'importance écologique des espèces dans tous les SAF, avec des coefficients de détermination supérieurs à 0,79 ($R^2 = 1$ pour les haies, $R^2 = 0,98$ pour les parcs agroforestiers). Cette relation suggère que les espèces écologiquement importantes sont aussi celles qui contribuent le plus à la séquestration du carbone. Aussi, le stock de carbone augmente-t-il de manière significative avec le diamètre des arbres, les individus de grand diamètre contribuant de manière disproportionnée au stockage global.

Cette étude souligne le rôle crucial des systèmes agroforestiers comme puits de carbone dans la Commune de N'Dali, contribuant ainsi à l'atténuation du changement climatique et à la résilience des ménages ruraux. Pour une lutte efficace contre le changement climatique, la promotion des parcs agroforestiers, jachères et haies, combinée à des pratiques de gestion durable, représente une stratégie prometteuse pour renforcer la résilience climatique locale.

Mots clés: système agroforestier, stock de carbone, potentiel de séquestration, changement climatique

Abstract

Agroforestry systems (AFS) are recognized for their essential role in agricultural resilience and climate change mitigation, particularly through carbon sequestration. This study aims to estimate the carbon stock of the main AFS present in the Commune of N'Dali.

We adopted an approach based on a floristic inventory within the distribution area of agroforestry systems using the Braun-Blanquet sigmatist method. We established 150 circular plots, each with an 18m radius, across agroforestry parks, hedges, fallows, home gardens, and

plantations (Taungya systems). The collected data allowed us to estimate aboveground and root biomass in order to calculate carbon stock using appropriate software (Excel, SPSS). The results showed that carbon stock varies significantly at the $p < 0.001$ level between AFSs. Agroforestry parks store the largest amount of carbon (39.23 tons), followed by fallows (27.49 tons) and plantations (20.54 tons). Home gardens (3.65 tons) and hedges (2.23 tons) have lower absolute carbon stocks, but their ecological role in the landscape is significant. The equivalent CO₂ quantity stored follows the same gradient, with agroforestry parks having the highest CO₂ sequestration potential ($19,605.99 \pm 16,602.05 \text{ t.EqCO}_2/\text{ha}$). A key finding of this study is the strong correlation between carbon stock and the ecological importance of species in all AFSs, with determination coefficients greater than 0.79 ($R^2 = 1$ for hedges, $R^2 = 0.98$ for agroforestry parks). This relationship suggests that ecologically important species also contribute the most to carbon sequestration. Furthermore, carbon stock increases significantly with tree diameter, with large-diameter individuals contributing disproportionately to overall storage. This study highlights the crucial role of agroforestry systems as carbon sinks in the Commune of N'Dali, thereby contributing to climate change mitigation and the resilience of rural households. For effective climate change mitigation, promoting agroforestry parks, fallows, and hedges, combined with sustainable management practices, represents a promising strategy to strengthen local climate resilience.

Key words: agroforestry system, carbon stock, sequestration potential, climate change

Introduction

Le changement climatique est l'un des défis environnementaux majeurs de notre siècle, principalement alimenté par l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère, notamment le dioxyde de carbone (CO₂) (IPCC, 2019, p.18). Pour atténuer ces impacts, la séquestration du carbone dans les écosystèmes terrestres est reconnue comme une stratégie essentielle. Dans ce contexte, les systèmes agroforestiers (SAF) émergent comme des solutions prometteuses, combinant la production agricole et forestière sur une même parcelle, offrant ainsi des services écosystémiques multiples, y compris le stockage de carbone (E. Torquebiau, 2000, p.1010).

Les SAF sont des pratiques agricoles durables qui intègrent délibérément des arbres et arbustes dans les systèmes de production agricole et/ou animale. Leur diversité structurale et fonctionnelle leur confère une grande capacité à stocker le carbone à la fois dans la biomasse aérienne et souterraine et dans le sol (F. Montagnini et R. Nair, 2004, p.291). L'agroforesterie est un système de production qui permet une meilleure conservation des écosystèmes, et par conséquent, un pourvoyeur majeur des Services Ecosystémiques (F. Gómez-Delgado *et al.* 2011, p.370). Les systèmes agroforestiers jouent un rôle important dans la séquestration du carbone (L. F. Temgoua, 2018, p.64). Aussi l'intégration de la culture arboricole à grande échelle dans les paysages agricoles créerait-il un puits de carbone efficace tout en assurant une production alimentaire durable, et contribuerait également à l'adaptation aux changements climatiques (A. Woodfine, 2008, p.61).

Au-delà de la séquestration du carbone, les SAF contribuent à la résilience des communautés rurales face aux aléas climatiques en diversifiant les revenus, en améliorant la fertilité des sols, en protégeant contre l'érosion et en fournissant des produits ligneux et non ligneux

essentiels (D. P. Garrity, 2004, p.14). Non seulement des combinaisons appropriées de cultures, animaux et arbres dans les systèmes agroforestiers peuvent accroître les rendements des exploitations, mais elles peuvent également favoriser la résilience écologique et sociale face au changement, parce que les diverses composantes de tels systèmes, de même que leurs interactions, répondront de manière diversifiée aux perturbations (I. Steffan-Dewenter *et al.*, 2007, p.4975). Une diversité d'espèces et de fonctions au sein de systèmes de production intégrés constitue par conséquent une stratégie de réduction des risques, et l'agroforesterie peut apporter des contributions essentielles, tant à l'adaptation au changement climatique qu'à l'atténuation de ses effets (T. Thorlakson et H. Neufeldt, 2012, p.4).

Malgré le potentiel avéré des systèmes agroforestiers dans la séquestration du carbone, les estimations de leurs stocks varient considérablement en fonction de la région, du type de SAF, de la durée de l'établissement et des méthodes de calcul. En Afrique de l'Ouest, où l'agriculture est la pierre angulaire de l'économie et où les impacts du changement climatique sont de plus en plus ressentis, la quantification précise du carbone stocké dans ces systèmes est cruciale pour l'élaboration de politiques d'atténuation et d'adaptation efficaces (J. Bayala *et al.*, 2014, p.29).

La Commune de N'Dali, située au Nord-Est du Bénin, est représentative des paysages agricoles ouest-africains, caractérisés par une mosaïque de systèmes de production et une forte dépendance aux ressources naturelles. Comprendre la distribution et les niveaux de stock de carbone au sein de ses différents systèmes agroforestiers est donc essentiel pour identifier les pratiques les plus efficaces en matière de stockage de carbone et pour soutenir les efforts locaux et nationaux de lutte contre le changement climatique. La présente recherche vise à estimer le stock de carbone des différents systèmes agroforestiers présents dans la Commune de N'Dali. Spécifiquement, elle cherche à : (1) quantifier les stocks de carbone des haies, parcs agroforestiers, jachères, jardins de case et plantations ; (2) analyser la relation entre le diamètre des arbres et le stock de carbone ; et (3) évaluer le potentiel de réchauffement global (PRG) de ces systèmes. Les résultats de cette recherche contribueront à une meilleure compréhension du rôle des systèmes agroforestiers locaux dans l'atténuation du changement climatique et informeront les stratégies de gestion durable des terres pour une résilience accrue des ménages agricoles.

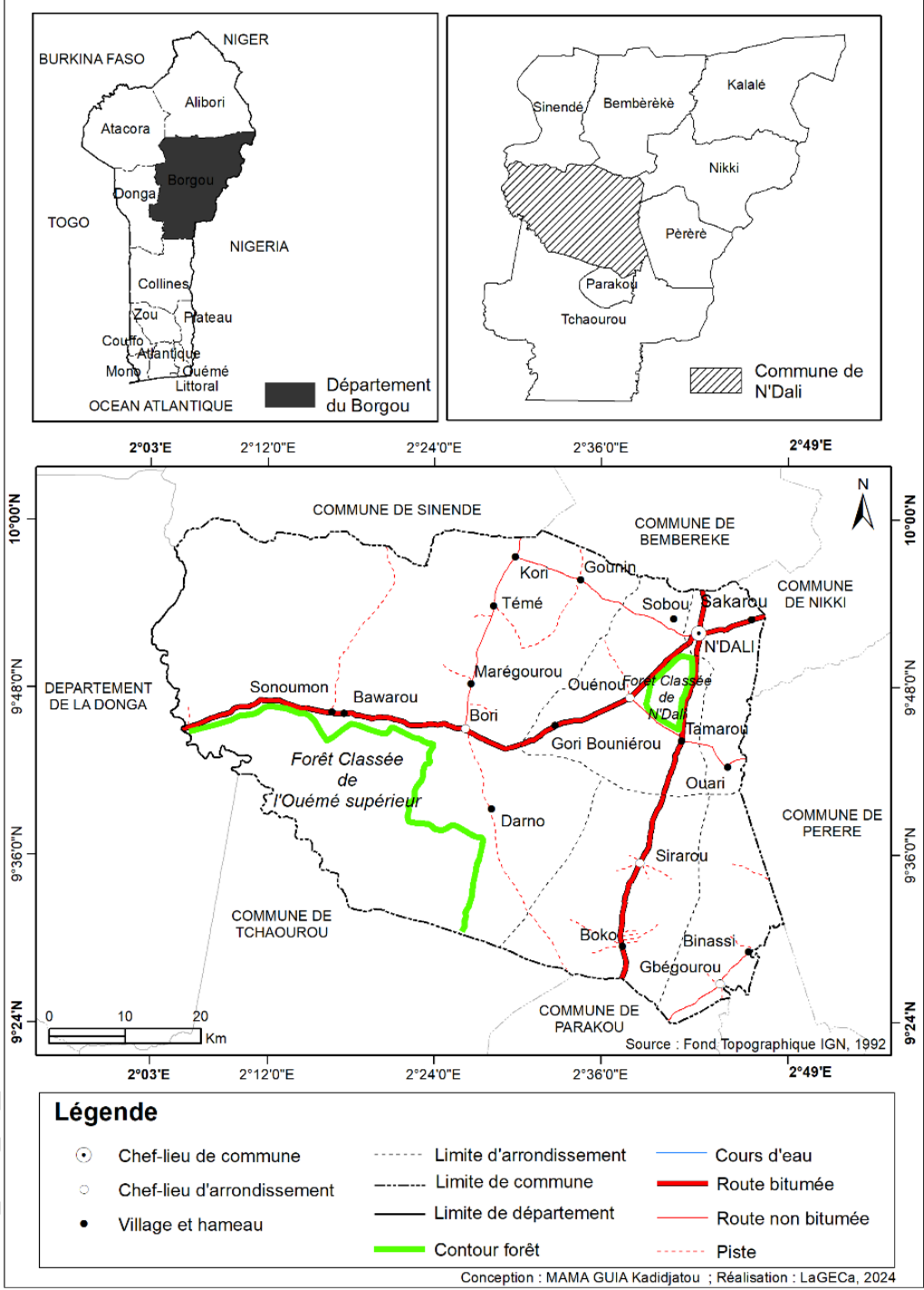
1. Matériel/Outils et méthodes

1.1. Matériel/Outils

1.1.1. Milieu d'étude

La Commune de N'Dali est située dans le Département du Borgou, entre 9°15' et 10° de latitude Nord et 2° et 2° 50' de longitude Est (figure 1). Elle est soumise à l'influence du climat sud-soudanien uni-modal caractérisé par une saison sèche (novembre à mars) et une saison pluvieuse (avril à octobre). La pluviométrie moyenne varie entre 1100-1200 mm pouvant descendre jusqu'à 900 mm (N. Ollabode *et al.*, 2017, p.36), ce qui constitue un facteur important pour le développement des systèmes agroforestiers. Les sols de la Commune de N'Dali sont : ferrugineux, ferralitiques, minéraux, et des sols hydromorphes dans les bas-fonds permettant ainsi la mise en place de plusieurs spéculations. L'agriculture est d'ailleurs la principale activité d'occupation de la population active de la commune. Le diagnostic engagé dans le cadre du Plan de Contingence Communale montre que plus de 90 %

de la population active de la Commune vit de l’agriculture qui représente plus de 75 % du secteur primaire (PCC, 2023, p.7). D’où le besoin de développer des techniques culturales durables pour l’intérêt de la population.



1.1.2. Outils

Le matériel et les outils de collecte utilisés pour l’inventaire forestier sont les suivants : le compas forestier pour les mesures de diamètre des arbres, un penta décamètre pour la délimitation des placeaux ; d’une bande fluorescente pour matérialiser les limites des

placeaux ; d'un coupe-coupe pour l'ouverture des layons et la confection des piquets de coins ; d'un ruban circonférentiel pour la mesure des circonférences (dbh) des arbres ; d'un GPS (Global Positioning System), pour le géoréférencement des placeaux, un clinomètre pour la mesure de la hauteur totale des arbres et enfin des fiches d'inventaire floristique.

1.2. Méthodes

1.2.1. Collecte des données

Le choix de l'emplacement des relevés phytosociologiques est justifié par deux niveaux de perception successifs selon J-M. Géhu, (1980, p.462). Le premier niveau de perception à l'échelle paysagère a permis de choisir les éléments majeurs, significatifs, représentatifs et répétitifs du paysage végétal (formations végétales) de l'étudier. La deuxième vision à l'intérieur de l'élément paysager choisi a guidé le choix de l'emplacement du relevé et de ses limites. L'homogénéité floristique et l'homogénéité écologique de la station sont les critères fondamentaux de ce choix d'emplacement et de limites du relevé.

L'échantillonnage utilisé pour la collecte des données est de type stratifié et aléatoire. Les strates sont constituées des systèmes agroforestiers (Parcs agroforestiers, plantation, haie, jardin de case et jachère). Dans chaque système agrosystème, un inventaire forestier a été fait et a permis d'identifier les différentes espèces constitutives des systèmes agroforestiers. Dans l'ensemble de la zone d'étude, 150 relevés de végétation ont été effectués dans les parcs agroforestiers, les jachères, les jardins de case, les haies et les plantations. Le nombre de relevés par système agroforestier a été déterminé sur la base des fréquences de citation de ces systèmes auprès des ménages agricoles (Tableau I).

Tableau I : Nombre de placeaux par type de systèmes agroforestiers

Types de systèmes agroforestiers	Nombre de placeaux
Parc agroforestier	76
Jardin de case	16
Jachère	21
Haie vive	12
Plantation (taungya)	25
Total	150

Source : Travaux de terrain, mars 2024

L'inventaire est réalisé sur des placeaux circulaires de 18m de rayon soit 1018 m². Les relevés phytosociologiques ont été effectués en se référant à la méthode sigmatiste de Braun-Blanquet (1932) qui stipule que les aires de relevés doivent être suffisamment homogènes sur le plan floristique et topographique (O. Arouna, 2013, p.40). Dans chaque relevé, un recensement exhaustif des ligneux ayant un dbh ≥ 10 cm a été effectué. A l'intérieur de ces placeaux, les données dendrométriques ont été collectées. Elles ont concerné le nombre d'individus de chaque espèce, la circonférence des ligneux et la hauteur des arbres de la strate arborescente. Le diamètre de chaque arbre / arbuste, a été mesuré à 1,30 m du sol pour ceux dont la circonférence est supérieure ou égale à 30 cm ($C \geq 30$ cm). Quant à la mesure des hauteurs, en utilisant le clisimètre, on prend l'angle supérieur (Visée haut) et l'angle inférieur (Visée bas) au moyen du clisimètre. La distance horizontale ou distance de visée (entre l'opérateur et le pied de l'arbre) est mesurée au moyen du penta-décamètre tenu à l'horizontale. Les calculs

ont été effectués au laboratoire pour déterminer la hauteur des arbres selon la formule suivante :

$H = d \times (\tan \alpha_1 + \tan \alpha_2)$; Avec d : distance de l'opérateur par rapport à l'arbre à mesurer (m), α_1 et α_2 : angles de visée correspondant successivement au sommet et au pied de l'arbre.

1.2.2. Traitement des données et analyse des résultats

Plusieurs modèles permettent d'estimer la biomasse de l'arbre à partir des équations allométriques d'estimation directe de la biomasse utilisant les prédicteurs tels que le diamètre, la hauteur, les dimensions du houppier, le volume et la biomasse de l'arbre. Ce qui fait dire J. Chave *et al.*, (2005, p.92) que les prédicteurs les plus importants de la biomasse sont : le diamètre du tronc, la densité du bois et la hauteur totale. L'estimation de la biomasse d'un arbre s'accompagne toujours d'une erreur qui correspond à l'écart entre les valeurs de biomasse observées et les valeurs prédites par le modèle allométrique. Il existe quatre niveaux d'incertitudes dans les estimations de biomasse à partir de données de terrain (J. Chave *et al.*, 2004, p.210) :

- ✓ erreurs liées aux mesures (biomasse, paramètres dendrométriques) ;
- ✓ choix du modèle allométrique ;
- ✓ représentativité de l'échantillon ;
- ✓ application à une forêt de caractéristiques différentes.

La principale source d'erreur dans l'évaluation de la biomasse et du carbone contenue dans les forêts tropicales à partir de données d'inventaire est liée au choix du modèle allométrique (Q. Molto *et al.*, 2012, p.143). Cette erreur est supérieure à 20 % selon J. Chave *et al.*, (2004, p.413). En Afrique tropicale, il a été constaté que le choix de l'équation allométrique (pan-tropicales ou locales) contribue à environ 76 % de l'erreur totale dans les estimations de la biomasse de l'arbre (M. Moundounga *et al.*, 2014, p.866). De plus, les équations pan-tropicales ont tendance à surestimer la biomasse quand elles utilisées au niveau local, alors les équations locales sous-estiment la biomasse au niveau régional ou global. C'est pourquoi cette étude a opté pour les équations locales afin de limiter les biais liés au choix de modèle.

Biomasse aérienne ligneuse

Le secteur étant situé dans le domaine soudanien où règne un climat tropical avec une pluviométrie moyenne inférieure à 1 500 mm/an, l'équation allométrique de L. G. K. Nakou (2014, p.32) a été utilisée pour l'estimation de la biomasse aérienne ligneuse. C'est un modèle des régions soudano-guinéennes du Bénin. Ce modèle a pour formule :

$Ba = 1,3087 \times 10^{-4} \times D^{2,4949} \times \rho^{1,1804}$; Avec AIC = 101,8 ; RSE = 0,258 ; Ba = Biomasse aérienne ligneuse en tonne (t) ; D = Diamètre de l'arbre en cm à 1,3 m, ρ = densité spécifique en g.m⁻³ ; AIC = critère théorique de l'information minimale ; RES = erreur standard résiduelle.

Cette équation dépend explicitement de la densité spécifique du bois. Les densités spécifiques moyennes ont été obtenues grâce aux bases de données de Global wood density database®, tropix® cirad, les bases de données du World Agroforestry Center (WAC) et celle de A. Zanne *et al.*, (2009, p.844). La densité spécifique est de manière générale mieux connue pour les arbres exploitables par les compagnies forestières. Pour les espèces dont les valeurs de la densité spécifique (ρ) ne sont pas disponibles, il a été choisi une valeur par défaut de la

densité spécifique moyenne ($\rho = 0,58 \text{ t.cm}^{-3}$ pour les forêts tropicales d'Afrique), comme le recommandent G. Reyes *et al.*, (1992, p.723).

Biomasse racinaire (BGB)

La biomasse racinaire (Br) est déduite à partir de la biomasse aérienne. Son estimation s'est faite avec le facteur de réduction (R) de K. Mokany *et al.*, (2006, p.90). La biomasse racinaire est définie à travers la formule : $BGB = AGB \times R$; Avec : BGB = biomasse souterraine ; AGB = biomasse aérienne ; R : facteur de conversion de la biomasse aérienne en biomasse souterraine. Ce facteur est égal à 0,24.

Biomasse totale (BT)

La biomasse totale (BT) représente la somme de la biomasse aérienne et de la biomasse racinaire. Elle est donnée par la formule : $BT = AGB + BGB$; Avec AGB : Biomasse aérienne ligneuse, BGB : Biomasse racinaire

Stock de carbone (C)

La quantité de carbone stockée par unité de végétation et pour la forêt a été calculée en utilisant le coefficient de réduction proposé par S. G. Gendehou *et al.*, (2012, p.6069). Ce coefficient est de 0,487 tonnes de carbone/tonne de matière sèche (C. Goussanou *et al.*, 2016, p.6). La quantité totale de carbone séquestrée a été obtenue à partir de la formule : $C = B \times f_{C(B-C)}$; Avec Ba : Biomasse aérienne totale en tonne de matière sèche, C : Quantité totale de carbone séquestrée en tonne, $f_{C(B-C)}$: Facteur de conversion de la biomasse en carbone.

Pour estimer le stock de carbone (C), le facteur de conversion de S. G. Guendehou *et al.*, (2012, p.6069) a été utilisé. Ce facteur a pour valeur 0,487.

Quantité équivalente de CO₂ (.EqCO₂)

Les plantes assimilent le CO₂ atmosphérique et le transforment sous l'effet de la lumière en sucres dans les feuilles, tiges, branches, écorces, cotylédons, bourgeons et fruits (R. Waring *et al.*, 1998, p.293). La quantité de dioxyde de carbone séquestré a été obtenue à partir de la formule (G. Hernandez *et al.*, 2008, p.394) : $CO_{2(T)} = C \times f_{C(C-CO_2)}$ avec

$f_{C(C-CO_2)} = \frac{M(CO_2)}{M(C)} \approx \frac{44}{12} \approx 3,67$ CO₂(T) : Quantité totale de dioxyde de carbone piégé en tonne, C : Quantité totale de carbone séquestré en tonne, $f_{C(C-CO_2)}$: Facteur de conversion du stock de carbone en dioxyde de carbone, M(CO₂) : Masse molaire moléculaire du CO₂, M(C) : Masse molaire atomique du carbone. Une tonne de carbone équivaut donc à 3,67 tonnes de CO₂.

Valeur monétaire du CO₂eq

Pour évaluer la valeur monétaire de ces systèmes, la quantité équivalente de CO₂ est multiplié par la valeur du service écologique estimée à 10 USD.t CO₂eq (C. Ramstein *et al.*, 2019, p.44). $V = CO_{2eq} \times 10 \text{ USD}$

1.2.3. Analyse statistique des données

Les valeurs de biomasse, de carbone et de dioxyde de carbone obtenues ont été comparées entre classes de diamètre au sein de chaque unité de végétation et entre systèmes agroforestiers. Pour ce faire, la normalité des séries de données a été vérifiée en utilisant le test de normalité de Shapiro-Wilk (1965). Quant à l'égalité des variances des séries de données, elle a été vérifiée à partir du test de M. Bartlett (1937, p.276). Lorsque les deux conditions précédentes ne sont pas réunies une transformation logarithmique des données a été opérée. Une analyse de variance (ANOVA) a été appliquée sur les différentes variables au seuil de 5 %. Lorsqu'il existe de différences significatives entre les moyennes, le test de structuration de H. Scheffe (1959, p.169) a été réalisé pour rassembler les modalités en des groupes statistiquement homogènes. La persistance d'une forte asymétrie dans les séries de données après transformation A conduit à l'utilisation du test de Kruskal-Wallis dans certains cas. Les packages stats (R Core Team, 2016) et agricolae du logiciel R 3.3.1 (R Core Team, 2016) ont été utilisés pour toutes les analyses.

2. Résultats

2.1. Estimation du stock de carbone des ligneux des systèmes agroforestiers

Stock de carbone dans les systèmes agroforestiers dans la commune de N'Dali

La figure 4 montre le stock de carbone dans les systèmes agroforestiers dans la commune de N'Dali.

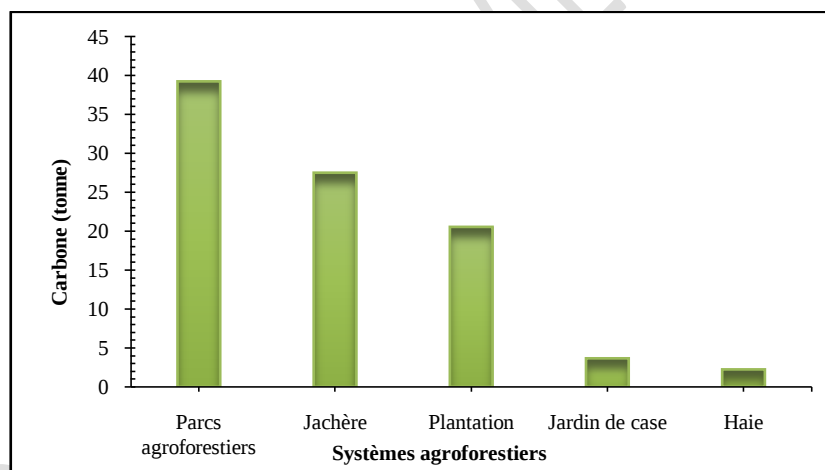


Figure 2 : Stock de carbone dans les systèmes agroforestiers dans la commune de N'Dali

Source : Résultats de traitement des données de terrain, Avril, 2025

L'analyse de la figure 4 montre que le stock de carbone varie d'un système agroforestier à un autre au seuil de $p < 0,001$. En effet, les parcs agroforestiers stockent la plus grande quantité de carbone dans le secteur d'étude. Cette quantité est de 39,23 tonnes. Les jachères et les plantations également ont un fort potentiel de stockage de carbone. Pour le premier, le stock est de 27,49 tonnes et pour le second, il est de 20,54 tonnes. On observe la plus faible valeur de carbone dans les haies avec 2,23 tonnes. Les jardins de case stockent 3,65 tonnes. Les systèmes agroforestiers produisent un stock important de carbone. Ils participent de ce fait à atténuer les effets du changement constituant ainsi une forme de résilience pour les ménages agricoles de la Commune de N'Dali.

Stock de carbone selon les espèces importantes dans les systèmes agroforestiers

La contribution des espèces ligneuses constituant globalement les systèmes agroforestiers a été déterminée en considérant la quantité de carbone stocké. Le tableau montre les espèces qui contribuent le plus au stock de carbone dans chaque type de SAF.

Tableau II: Quantités par hectare de carbone aériennes, racinaires et totales des espèces importantes

Espèces importantes	Carbone aérien (t/ha)		Carbone racinaire (t/ha)		Carbone total (t/ha)	
	<i>m</i>	σ	<i>m</i>	σ	<i>m</i>	σ
<i>Azadirachta indica</i> A.Juss.	5.19	1.38	1.25	0.33	6.44	1.71
<i>Borassus aethiopium</i> Mart.	5.09	2.91	1.22	0.70	6.31	3.61
<i>Khaya senegalensis</i> (Desr.) A. Juss	4.10	4.43	0.98	1.06	5.08	5.50
<i>Vitellaria paradoxa</i> C. F. Gaertn. ssp C. F. Gaertn. ssp.	3.54	2.78	0.85	0.67	4.40	3.44
<i>Gmelina arborea</i> Roxb. Ex Sm Roxb. Ex Sm	3.35	1.68	0.80	0.40	4.16	2.08
<i>Adansonia digitata</i> L.	2.88	-	0.69	-	3.57	-
<i>Pterocarpus erinaceus</i> Poir.	2.19	1.80	0.53	0.43	2.72	2.24
<i>Anacardium occidentale</i> L. L.	2.14	1.99	0.51	0.48	2.65	2.46
<i>Afzelia africana</i> J.E. Smith ex C. H. Persoon	1.88	1.31	0.45	0.31	2.33	1.63
<i>Parkia biglobosa</i> (Jacq.) R. Br. Ex G. Don	1.82	1.26	0.44	0.30	2.26	1.57
<i>Piliostigma thonningui</i> (Schumach.) Milne-Redh	1.52	1.23	0.37	0.30	1.89	1.53

Source : Résultats de traitement des données de terrain, Avril, 2025

Le tableau II montre que les espèces qui stockent le plus de carbone total dans l'ensemble des agrosystèmes sont *Azadirachta indica* A. Juss. (6.44 t/ha, $\sigma = 1.71$), *Borassus aethiopium* Mart. (6.31 t/ha, $\sigma = 3.61$), et *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss (5.08 t/ha, $\sigma = 1.55$). Par ailleurs, les espèces avec le moins de carbone total sont *Parkia biglobosa* (Jacq.) R. Br. Ex G. Don (1.89 t/ha), *Anacardium occidentale* L. L. (2.65 t/ha) *Afzelia africana* J.E. Smith ex C. H. Persoon (2.33 t/ha) et *Piliostigma thonningui* (Schumach.) (2.72 t/ha). Une forte variabilité (σ élevé) du stock de carbone de certaines espèces comme *Borassus aethiopium* Mart. ($\sigma = 3.61$), *Afzelia africana* J.E. Smith ex C. H. Persoon ($\sigma = 2.46$) et *Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn. ssp C. F. Gaertn. ssp. ($\sigma = 3.44$) est observée. Cela indique que la quantité de carbone stockée varie fortement d'un individu à l'autre au sein de ces espèces qui peut être dû à des différences de taille, d'âge ou de conditions écologiques.

Variation de carbone au sein des systèmes agroforestiers dans la commune de N'Dali

La figure 5 montre la variation du carbone au sein des systèmes agroforestiers dans la Commune de N'Dali.

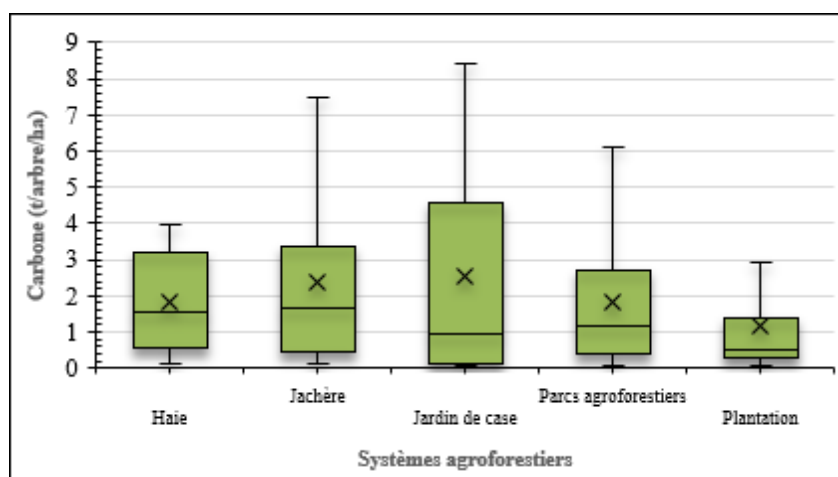


Figure 3 : Stock de carbone des espèces dominantes au sein des différents SAF

Source : Résultats de traitement des données de terrain, Avril, 2025

L'analyse de la figure 5 montre la quantité moyenne de carbone est plus élevée dans les jardins de case avec 2,54 t/arbre/ha que dans les autres systèmes agroforestiers. La plus faible valeur moyenne est observée dans les plantations avec 1,14 t/arbre/ha. Par ailleurs, au sein de chaque système agroforestier, on note une forte variation du stock de carbone. Ainsi, dans les jardins de case, le 1^{er} et le 3^{ème} quartile sont respectivement de 0,12 t/ha et de 4,56 t/arbre/ha. Le stock moyen de carbone dans les jardins de case est de 2,54 t/arbre/ha et la médiane est de 0,92 t/arbre/ha. Au sein des jachères, le 1^{er} et le 3^{ème} quartile sont respectivement de 0,42 t/arbre/ha et de 3,38 t/arbre/ha. La valeur moyenne de carbone dans ce système agroforestier est de 2,34 t/arbre/ha et la médiane est de 1,65 t/arbre/ha. Dans les haies, le 1^{er} et le 3^{ème} quartile sont respectivement de 0,53 t/arbre/ha et de 3,20 t/arbre/ha. Le stock moyen de carbone et la médiane dans cet agrosystème sont respectivement de t/arbre/ha et de 1,55 t/arbre/ha. En ce qui concerne les parcs agroforestiers, le 1^{er} quartile est de 0,41 t/arbre/ha et le 3^{ème} quartile est de 2,70 t/arbre/ha. La valeur moyenne de carbone dans les parcs agroforestiers est de 1,81 t/arbre/ha et la médiane est de 1,15 t/arbre/ha. Au sein des plantations, le 1^{er} et le 3^{ème} quartile sont respectivement de 0,29 t/arbre/ha et de 1,38 t/arbre/ha. Le stock moyen de carbone et la médiane dans les plantations sont respectivement de 1,14 t/arbre/ha et de 0,5 t/arbre/ha. On note alors une forte variabilité de carbone dans les jardins de case que dans les plantations.

Quantité équivalence CO2 dans les systèmes agroforestiers dans la commune de N'Dali

Le tableau III montre la quantité équivalent CO2 dans les systèmes agroforestiers dans la Commune de N'Dali.

Tableau III : Quantité équivalent CO2 dans les systèmes agroforestiers dans la commune de N'Dali

	Quantité de carbone			Quantité équivalent CO ₂		
	Tonne	Tonne/ha		t.EqCO ₂ /ha		t.EqCO ₂
		<i>m</i>	<i>σ</i>	<i>m</i>	<i>σ</i>	
Parcs agroforestiers	39.23	5.35	4.53	19605.99	16602.05	143704.10
Jachère	27.50	12.86	7.68	47116.89	28123.74	100726.50

Plantation	20.54	10.09	5.22	36954.35	19124.92	75239.05
Jardin de case	3.66	5.81	3.15	21273.03	11524.25	13402.01
Haie	2.24	5.49	3.23	20108.25	11833.13	8188.08

Source : Résultats de traitement des données de terrain, Avril, 2025

L'observation du tableau III montre que la quantité équivalente CO₂ suit le même gradient d'évolution que celui du stock de carbone. En effet, les agrosystèmes de forte quantité de carbone possèdent une forte quantité équivalente CO₂. Ainsi dans les parcs agroforestiers, le stock de carbone est de 39,23 tonnes ce qui correspond à 143704,10 t.EqCO₂ (19605.99 ± 16602.05 t.EqCO₂/ha). S'en suivent les jachères et les plantations avec respectivement 100726.50 t.EqCO₂ (47116.89 ± 28123.74 t.EqCO₂/ha) et 75239.05 t.EqCO₂ (36954.35 ± 19124.92 t.EqCO₂/ha). La plus faible quantité de CO₂ est observée au niveau des haies avec 8188.08 t.EqCO₂ soit 20108.25 ± 11833.13 t.EqCO₂/ha. On retient que les parcs agroforestiers ont un fort potentiel de CO₂ suivis des jachères et plantations. La plus faible quantité de CO₂ est observée au niveau des haies.

Potentiel de Réchauffement Global (PRG) des systèmes agroforestiers dans la Commune de N'Dali

La figure 6 montre le potentiel de réchauffement global (PRG) des systèmes agroforestiers dans la Commune de N'Dali.

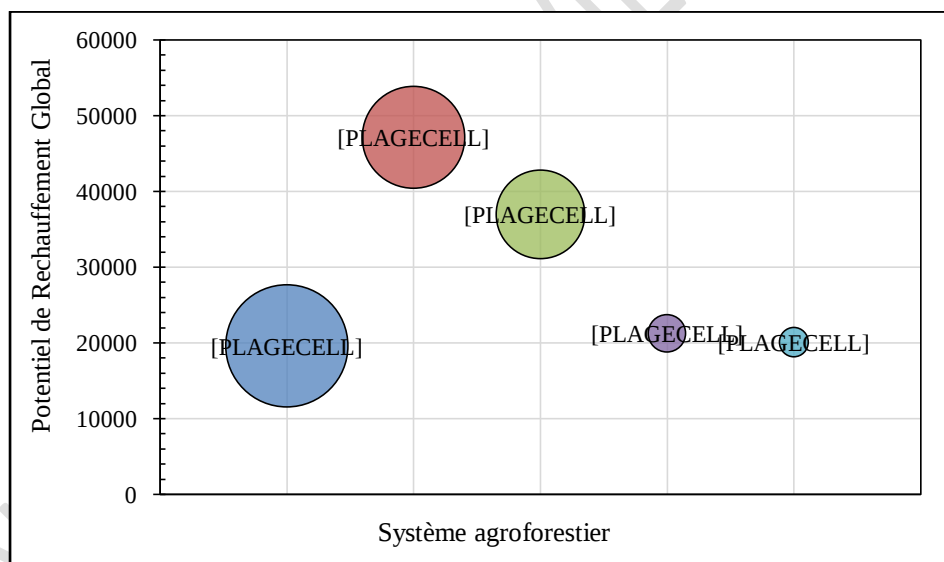


Figure 4 : Potentiel de Réchauffement Global (PRG) des systèmes agroforestiers dans la commune de N'Dali

Source : Résultats de traitement des données de terrain, Avril, 2025

La figure 6 montre le Potentiel de Réchauffement Global de plusieurs systèmes agroforestiers. Ce PRG, exprimé permet d'évaluer l'impact climatique des différents systèmes selon leurs émissions de gaz à effet de serre. Le jardin de case présente le PRG le plus élevé à l'hectare, avoisinant les 50000. Ils sont suivis des plantations et des parcs agroforestiers. Les haies présentent un PRG le plus bas, autour de 15000, ce qui indique un meilleur potentiel de séquestration du carbone ou des émissions moindres. Il représente donc un modèle plus durable en termes de changement climatique. Le choix du système agroforestier a un impact significatif sur le potentiel de réchauffement global. Dans une optique de lutte contre le changement climatique, les haies et les jachères pourraient être privilégiées.

360

361 Valeur écologique ou monétaire

362 Le tableau IV montre les quantités équivalentes CO₂ et leurs valeurs écologiques ou
363 monétaires correspondantes dans les systèmes agroforestiers dans la Commune de N'Dali.

364 **Tableau IV:** Quantités équivalentes CO₂ et leurs valeurs écologiques ou monétaires
365 correspondantes dans les systèmes agroforestiers dans la Commune de N'Dali

	Quantité équivalent CO ₂			Valeur écologique		
	t.EqCO ₂ /ha		t.EqCO ₂	VE/ha (\$ US)		VE _(T) (\$ US)
	<i>m</i>	<i>σ</i>		<i>m</i>	<i>σ</i>	
Parcs agroforestiers	19605.99	16602.05	143704.10	196059.95	166020.46	1437041.00
Jachère	47116.89	28123.74	100726.50	471168.95	281237.43	1007264.98
Plantation	36954.35	19124.92	75239.05	369543.48	191249.21	752390.53
Jardin de case	21273.03	11524.25	13402.01	212730.32	115242.47	134020.10
Haie	20108.25	11833.13	8188.08	201082.49	118331.30	81880.79

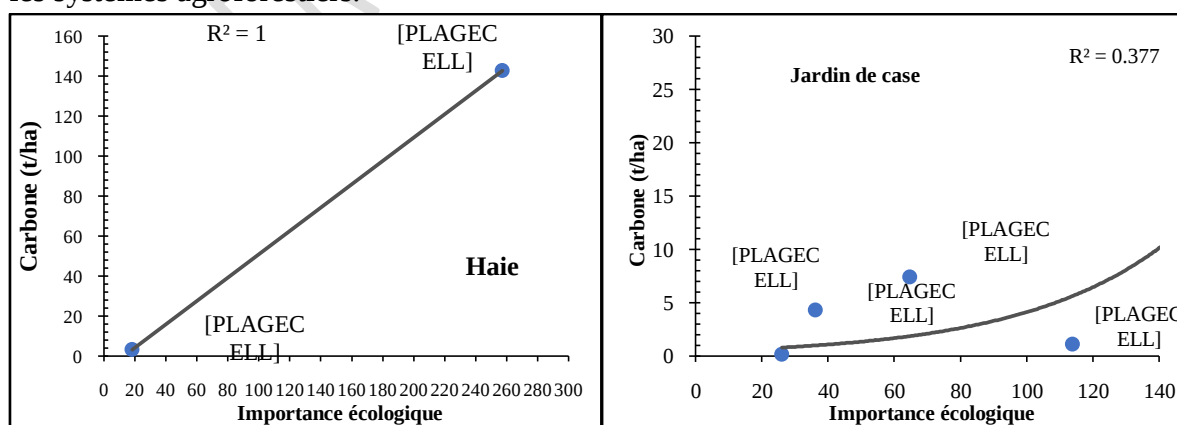
366 **Source :** Résultats de traitement des données de terrain, Avril, 2025

367 L'examen du tableau IV montre que la jachère a la plus forte capacité de séquestration de
368 CO₂, suivie des plantations. Les haies et parcs agroforestiers ont les valeurs les plus faibles.
369 Néanmoins, les parcs agroforestiers ont la valeur écologique totale (VE_T) la plus élevée
370 (1437041\$ US) malgré une faible valeur écologique moyenne à l'hectare (196059,95 ±
371 166020,46 \$ US). Les jachères ont aussi une très grande valeur écologique (1007264,98 \$ US)
372 suivies des plantations (752390.53 \$ US). Les haies ont le plus faible impact en termes de
373 CO₂ et de valeur écologique, mais peuvent avoir un rôle écologique complémentaire.

374 2.2. Potentiel de stockage de carbone dans chaque système agroforestier

375 Analyse de l'importance écologique des espèces dans le stockage du carbone

376 La figure 7 présente l'importance écologique des espèces dans le stockage du carbone dans
377 les systèmes agroforestiers.



378

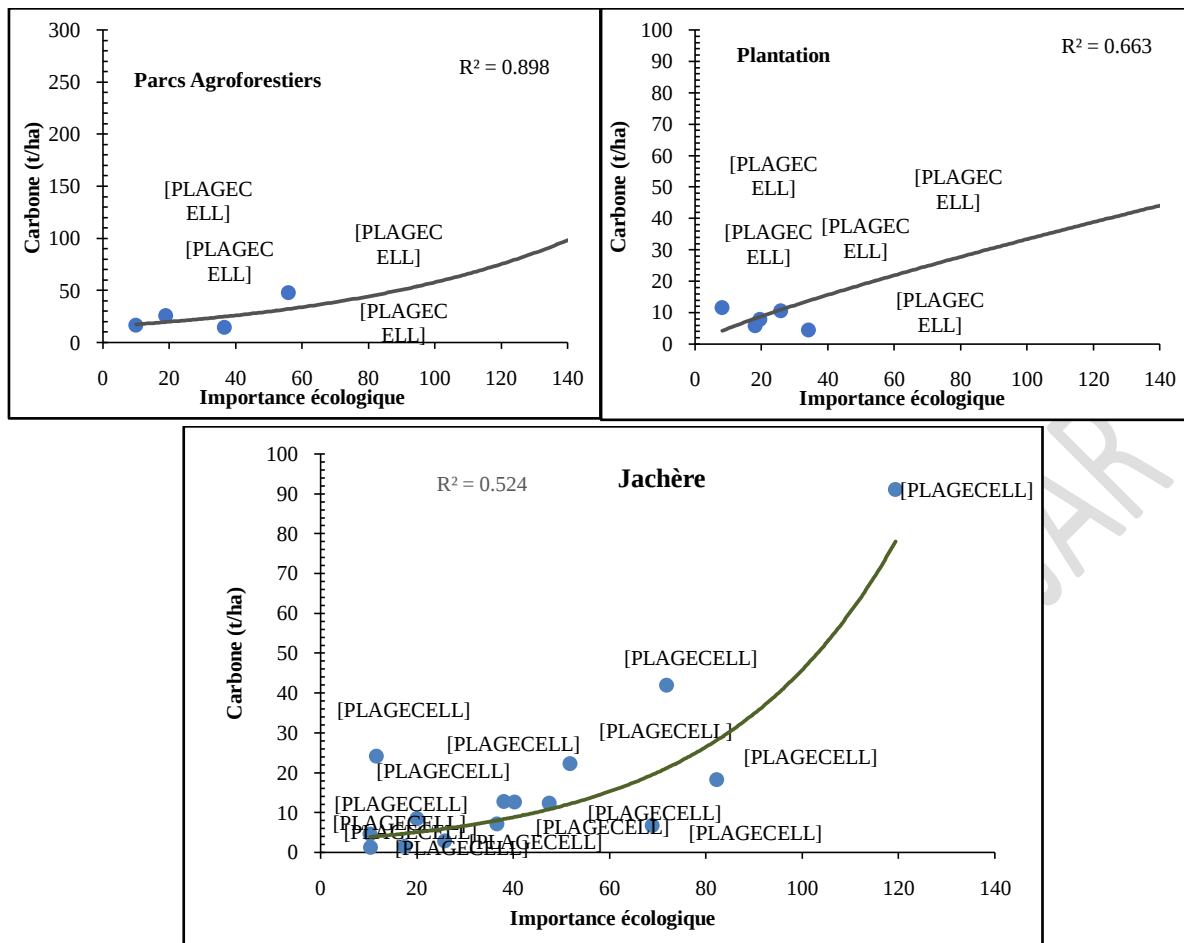


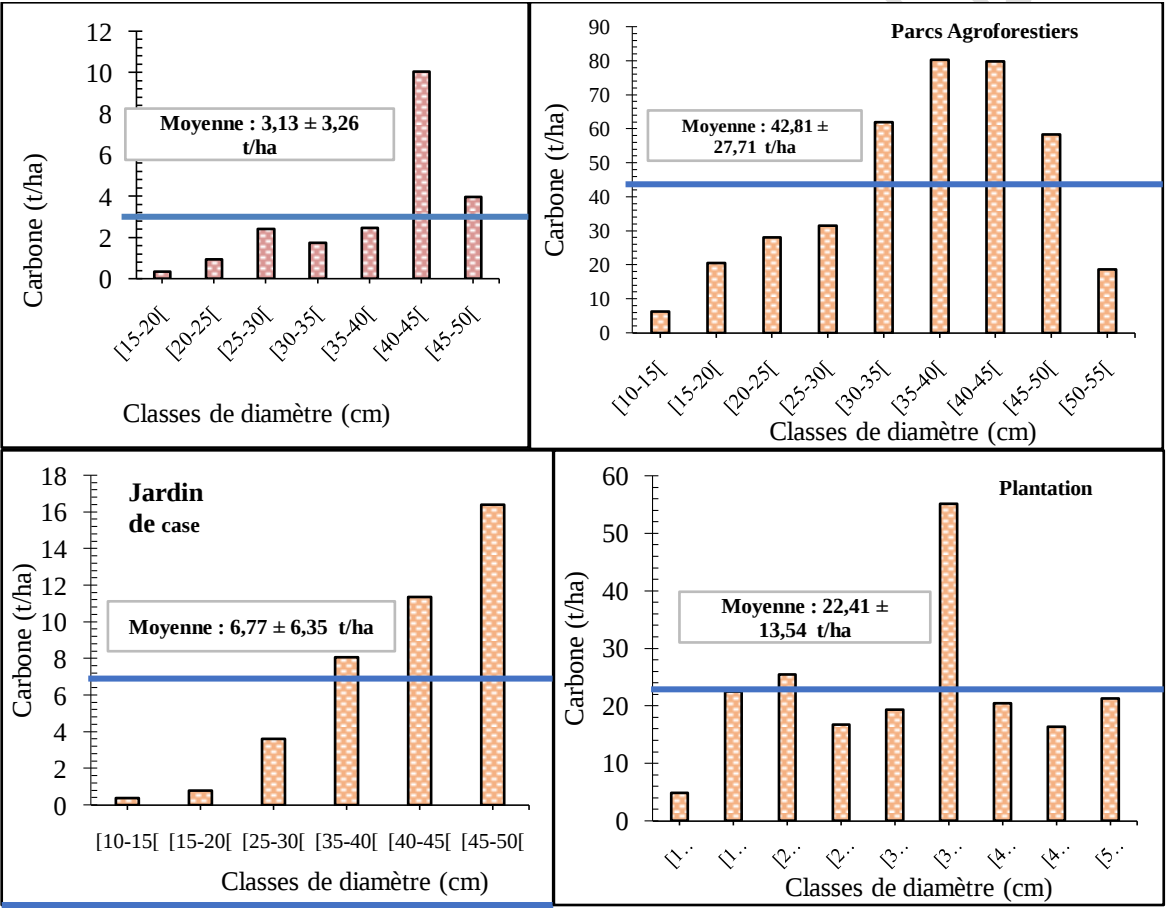
Figure 5 : Importance écologique des espèces dans le stockage du carbone dans les jachères
Source : Résultats de traitement des données de terrain, Avril, 2025

De l'examen de la figure 7, il ressort que dans les haies, *Gmelina arborea* Roxb. Ex Sm., stocke une forte quantité de carbone avec de forte valeur d'indice écologique. De plus, *Tectona grandis* L.f. présente une faible valeur d'importance de même que la quantité de carbone. Dans les parcs agroforestiers *Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn. ssp., *Parkia biglobosa* (Jacq.) R. Br. Ex G. Don, *Anacardium occidentale* L., *Azalia africana* J.E. Smith ex C. H. Persoon et *Pterocarpus erinaceus* Poir., présentent des valeurs écologiques importantes plus fortes. Dans les jachères, *Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn. ssp, *Piliostigma thonningui* (Schumach.) Milne-Redh, *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss, *Detarium microcarpum* Guill. & Perr., *Parkia biglobosa* (Jacq.) R. Br. Ex G. Don, *Isobertia doka* Craib & Stapf ex Holland, *Terminalia avicennioides* Guill. & Perr., et *Anogeissus leiocarpa* (DC.) Guill. & Perr., stockent une quantité importante de biomasse avec des valeurs écologiques et des quantités de stockage de carbone plus fortes. Dans les jardins de case par contre, *Azadirachta indica* A.Juss, *Moringa oleifera* Lam., *Blighia sapida* K.D. Koenig, *Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn. ssp et *Carica papaya* L. stockent plus de la moitié de quantité de biomasse et présentent des valeurs écologiques importantes plus fortes. Dans les plantations, *Anacardium occidentale* L., *Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn. ssp C., *Parkia biglobosa* (Jacq.) R. Br. Ex G. Don, *Pterocarpus erinaceus* Poir., *Gmelina arborea* Roxb. Ex Sm, *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss et *Mangifera indica* L. stockent une part importante de quantité de biomasse et présentent des valeurs écologiques importantes plus fortes.

Par ailleurs, la courbe de tendance au niveau des haies et les présente une forme linéaire et le coefficient de détermination égal à 1, ce qui témoigne de la forte corrélation entre le stock de carbone et l'importance écologique des espèces. Par contre les courbes de tendances des jachères, des jardins et des parcs agroforestiers de case présentent des formes exponentielles avec des coefficients de détermination qui sont supérieurs à 0,5 (respectivement $R^2 = 0,82$; $R^2 = 0,80$, $R^2 = 0,98$). Ces coefficients témoignent de la forte corrélation entre le carbone et l'importance écologique. Pour les plantations, la courbe de tendance présente une forme puissance avec un coefficient de détermination qui est supérieur à 0,5 ($R^2 = 0,79$) ce qui témoigne de la forte corrélation entre le stock carbone et l'importance écologique.

Variation de carbone par classes de diamètre dans les systèmes agroforestiers

La figure 8 illustre la variation du stock de carbone en tonnes par hectare selon différentes classes de diamètre des arbres présents dans les systèmes agroforestiers.



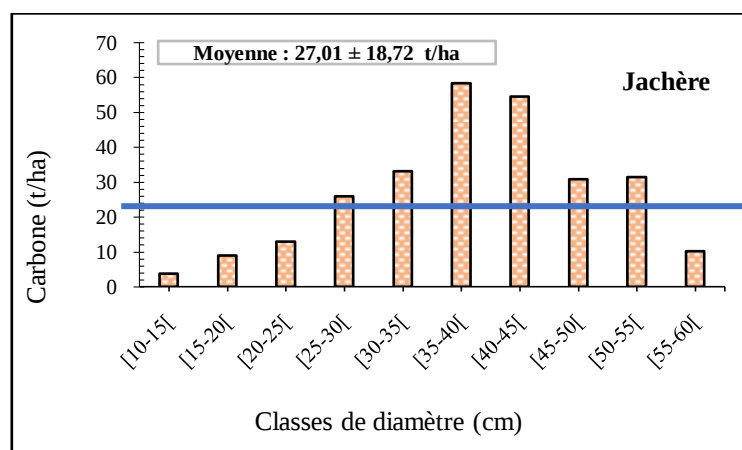


Figure 6: Variation du stock de carbone par classes de diamètre dans les SAF

Source : Résultats de traitement des données de terrain, Avril, 2025

De l'analyse de la figure 8, il est observé que le stock de carbone augmente avec le diamètre des arbres au sein de tous les systèmes agroforestiers. En effet, dans haies les classes de petit diamètre [15-20[et [20-25[présentent un stock de carbone très faible, tandis que les classes supérieures, notamment [40-45[, atteignent un stockage maximal de près de 10 t/ha. Dans les jachères, le stock de carbone augmente progressivement avec le diamètre, atteint un pic dans la classe [35-40[(65 t/ha), puis décroît dans les classes de diamètre supérieures. Dans les jardins de case, les classes de plus petit diamètre [10-15[, [15-20[et [25-30[présentent des niveaux de carbone relativement faibles, inférieurs à 4 t/ha. En revanche, les classes supérieures, notamment [35-40[, [40-45[et [45-50[atteignent des valeurs nettement plus élevées, avoisinant 20 t/ha. Dans les parcs agroforestiers, le stock de carbone augmente progressivement avec la taille des arbres, atteignant un maximum dans la classe de diamètre [35-40[avec environ 85 t/ha. Par contre, le stock diminue dans les classes de diamètre plus élevé, bien que certaines, comme les classes [30-35[, [40-45[, [45-50[et [50-55[, conservent des valeurs supérieures à la moyenne. Dans les plantations, il est observé un pic du stock de carbone atteignant un maximum dans la classe de diamètre [35-40[avec environ 55 t/ha. Cependant, le stock diminue aussi bien dans les classes de diamètre plus faible et plus élevé.

Par ailleurs, la ligne bleue sur la figure représentant la moyenne respectivement $3,13 \pm 3,26$ t/ha dans les haies, $27,01 \pm 18,72$ t/ha dans les jachères, $46,77 \pm 6,35$ t/ha dans les jardins de case, $42,81 \pm 27,71$ t/ha dans les parcs agroforestiers et $22,41 \pm 13,54$ t/ha dans les plantations permet de constater que seulement les grandes classes de diamètres dépassent cette valeur moyenne. Ces résultats indiquent que les arbres de gros diamètre contribuent de manière disproportionnée au stockage global de carbone dans tous les systèmes agroforestiers. Favoriser la croissance des arbres et conserver les individus de grand diamètre et de diamètre moyen dans les stratégies de développement et de gestion durable des SAF afin d'optimiser leur rôle comme puits de carbone.

3. Discussion

3.1. Estimation du stock de carbone des ligneux des systèmes agroforestiers

Stock de carbone et leur variation dans les systèmes agroforestiers

Des résultats obtenus, le stock de carbone varie d'un système agroforestier à un autre avec de stock de carbone de 2,23 tonnes/ha dans les haies. Les jardins de case, les plantations, les jachères et les parcs agroforestiers stockent respectivement des quantités de carbone de 3,65 tonnes/ha, 20,54 tonnes/ha, 27,49 tonnes/ha et 39,23 tonnes par ha. Ces résultats sont cohérents avec la nature des systèmes étudiés. Les parcs agroforestiers détiennent la plus grande quantité de carbone car ils intègrent des arbres souvent anciens, de grande taille et dispersés dans les champs cultivés, agissant comme des puits de carbone significatifs sur le long terme. Ces résultats corroborent avec ceux de M. Diatta (2015, p.41) dans leur étude sur le potentiel de stock de carbone d'espèces agroforestières au Sénégal qui a trouvé que les jachères, les parcs arborés et les parcours naturels peuvent stocker respectivement une quantité de carbone de 40 tonnes/ha, 36 tonnes/ha et 27 tonnes/ha. Pour le même auteur, ces stocks de carbone varient en fonction de l'espèce et du type de la technologie agroforestière. R. Nair *et al.*, (2009, p.18) abondent dans le même sens dans leur étude sur « Agroforestry as a strategy for carbon sequestration » en trouvant que le stockage de carbone dans la plante varie suivant les systèmes et est compris entre 0,3 à 15 tonnes/ha/an. Ces valeurs se trouvent dans la marge de ceux obtenus dans les haies et les jardins de case et sont largement inférieurs à ceux obtenus dans les plantations, les jachères et les parcs agroforestiers. A. Saïdou *et al.*, (2012, p.6) dans leur étude sur les parcs agroforestiers dans la zone soudanienne du Bénin, montrent que le stock de carbone total dans le parc à karité (*Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn. ssp.) et néré (*Parkia biglobosa* Jacq. G. Don) est de 32,62 tonnes/ha qui se trouve être inférieur à la valeur obtenue dans les parcs agroforestiers à N'Dali. Par ailleurs, nos résultats peuvent être comparés à ceux d'autres études régionales. Pour Y. Liu *et al.*, (2004, p.52), les plantations éparses, les parcs arborés et la jachère arborée au Sénégal stockent entre 31,8 et 52,1 t C/ha. Ce niveau de stock est supérieur à ceux que nous avons obtenus dans le cadre de la présente étude, à l'exception notable du stock de carbone enregistré spécifiquement dans nos parcs agroforestiers, qui présente une valeur comparable ou supérieure. Ces différences de valeurs pourraient s'expliquer par la diversité des milieux et des densités des arbres dans les SAF mais également aux différentes équations allométriques utilisées et aussi à la variation des espèces dans les différents SAF. Ces résultats sont par contre inférieurs à ceux de F. Montagnini et R. Nair (2004, p.282), pour qui, la captation de carbone dans une culture agroforestière de région humide se situe autour de 50 tonnes C/ha en moyenne. Les conclusions tirées de nos résultats soutiennent fortement les propos de F. Markum *et al.*, (2013, p.58). Selon eux, les systèmes agroforestiers (SAF), grâce à la conservation in situ des espèces ligneuses, représentent un moyen significatif de stockage de carbone. Cela s'aligne non seulement avec les objectifs de séquestration du carbone, mais assure également une agriculture durable et contribue au bien-être des populations locales. De plus, les résultats que nous avons obtenus corroborent les valeurs rapportées par C. M'Bow (2009, p.187). Dans les savanes soudanienne et soudano-guinéenne du Sénégal, C. M'Bow a trouvé des quantités de stock de carbone équivalent variant de 3,93 à 50,89 t/ha, ce qui est en accord avec nos propres observations.

492 **Quantité équivalence CO² dans les systèmes agroforestiers**

493 Les résultats montrent que les SAF qui possèdent une forte quantité de carbone stocké dans
 494 leur biomasse présentent également une forte quantité équivalent CO₂ séquestrée. Cette
 495 observation est en parfaite adéquation avec la formule de calcul selon laquelle le carbone
 496 stocké dans la biomasse est converti en son équivalent CO₂ en utilisant un facteur de
 497 conversion standard (C. Goussanou *et al.*, 2016, p.6). Les parcs agroforestiers démontrent le
 498 potentiel de séquestration le plus élevé, avec une moyenne de
 499 19 605,99 ± 16 602,05 t.EqCO₂/ha. La présence d'arbres matures et de grand diamètre,
 500 souvent conservés depuis des décennies ou des siècles dans ces parcs, est un facteur clé
 501 expliquant cette accumulation massive de CO₂ sur de vastes étendues. Les jachères et les
 502 plantations suivent les parcs agroforestiers en termes de potentiel de séquestration de CO₂,
 503 avec des moyennes respectives de 47 116,89± 28 123,74t.EqCO₂/ha et
 504 36954,35± 19 124,92 .EqCO₂/ha. La capacité des jachères à séquestrer des quantités
 505 significatives de CO₂ renforce leur importance écologique. Enfin, les haies présentent la plus
 506 faible quantité de CO₂ séquestrée par hectare (20 108,25 ± 11 833,13 t.EqCO₂/ha).

507 **Potentiel de Réchauffement Global (PRG) des systèmes agroforestiers**

508 Les résultats révèlent que le jardin de case présente le PRG le plus élevé, avoisinant les
 509 50 000 kg équivalent CO₂/ha. Ce chiffre, pourrait s'expliquer par une intensité de gestion plus
 510 élevée incluant l'utilisation d'intrants (fertilisants, composts). Les plantations et les parcs
 511 agroforestiers suivent les jardins de case en termes de PRG élevé. Pour les plantations, des
 512 facteurs tels que la préparation du sol, l'utilisation d'engrais, le transport et la récolte peuvent
 513 contribuer à des émissions non négligeables, réduisant potentiellement le bénéfice net de la
 514 séquestration du carbone. Concernant les parcs agroforestiers, malgré leur forte capacité de
 515 stockage de carbone dans les arbres matures, un PRG élevé pourrait découler d'activités
 516 agricoles associées (cultures, élevage) qui émettent des GES, ou d'une perturbation du sol lors
 517 des activités culturales. Ce résultat corrobore avec celui de E. Fernandes *et al.*, (2002, p.66)
 518 qui ont rapporté que l'augmentation des émissions de CO₂ dans le système de culture à
 519 intrants élevés pourrait être principalement attribuée aux nombreuses pratiques de labour
 520 (trois à quatre fois par an), et en partie à la fertilisation. Pour eux, la fertilisation en Azote et
 521 Phosphore augmente l'activité microbienne du sol. À l'inverse, les haies affichent le PRG le
 522 plus bas, autour de 15 000 kg équivalent CO₂/ha. Ce résultat est particulièrement
 523 encourageant. Un PRG faible indique soit un meilleur potentiel de séquestration nette du
 524 carbone soit des émissions intrinsèques très faibles. Les jachères, en permettant la
 525 régénération naturelle et l'accumulation progressive de carbone sans les intrants ou les
 526 perturbations associées aux systèmes cultivés, se positionnent comme des solutions à faible
 527 PRG et à fort potentiel de séquestration. Dans les systèmes de jachères améliorées de l'ouest
 528 subhumide du Kenya, la majeure partie du carbone résiduel a été perdue sous forme de CO₂
 529 au cours des trois premières semaines suivant l'incorporation, atteignant un maximum de 70
 530 kg CO₂-C ha⁻¹jour⁻¹ dans la jachère mixte de *Sesbania* et *Macroptilium* (N. Millar *et al.*,
 531 2004, p.151).

532 **Valeur écologique au monétaire**

533 Sur le plan monétaire, en s'appuyant sur l'hypothèse qu'avant la mise en place de ces systèmes
534 agroforestiers (SAF), l'espace était principalement constitué de sols nus avec une très faible
535 teneur en carbone (M. Diatta 2015, p.47), l'estimation de la valeur monétaire totale du carbone
536 actuellement stocké dans les différents SAF s'élève à 14 505,85 USD/ha. Cette valeur, est bien
537 supérieure aux 1 479 USD.ha⁻¹ trouvés par H. Noiha *et al.*, (2017, p.73) dans des SAF à base
538 d'anacarde âgés de plus de 20 ans au Nord Cameroun, et aux 483 USD.ha⁻¹ que ces mêmes
539 auteurs ont rapportés pour les savanes perturbées de la même région. Plusieurs facteurs
540 pourraient justifier cette différence. D'une part, le niveau de maturité des plantations
541 d'anacarde et la variabilité de la densité d'arbres au sein des différents systèmes jouent un rôle
542 crucial, ces aspects étant eux-mêmes influencés par le niveau d'intervention anthropique.
543 D'autre part, la variabilité des prix de la tonne de CO₂ équivalent peut également expliquer ces
544 écarts.

545 **3.2. Potentiel de stockage de carbone dans chaque système agroforestier**

546 **Analyse de l'importance écologique des espèces**

547 Les résultats obtenus révèlent la *Gmelina arborea* Roxb. *Ex Sm* se distingue par une forte
548 capacité de stockage de carbone et des valeurs d'importance écologique élevées dans les haies.
549 Ce résultat est particulièrement pertinent car *Gmelina arborea* Roxb. *Ex Sm* est une espèce à
550 croissance rapide, souvent utilisée en reboisement et pour la production de bois d'œuvre (D.
551 Kone *et al.*, 2019, p.1058). Dans les parcs agroforestiers, des espèces comme *Vitellaria*
552 *paradoxa* C. F. Gaertn. *ssp*, *Parkia biglobosa* (Jacq.) R. Br. *Ex G. Don*, *Anacardium*
553 *occidentale* L., *Azelia africana* et *Pterocarpus erinaceus* Poir., affichent des valeurs
554 écologiques importantes plus fortes, suggérant leur rôle crucial dans ces systèmes. Ces
555 espèces sont typiquement associées à l'agroforesterie en Afrique de l'Ouest pour leurs
556 multiples usages (fruits, noix, bois, fourrage) et leur contribution à la biodiversité et aux
557 services écosystémiques. Ces résultats corroborent avec ceux de D. Ngom *et al.*, (2018,
558 p.5920) qui dans leur étude sur le Cortège floristique, paramètres structuraux et indicateurs
559 d'anthropisation des parcs agroforestiers à *Elaeis guineensis* Jacq. en Basse Casamance au
560 Sénégal, trouvent que les systèmes agroforestiers offrent aussi bien des avantages écologiques
561 que des avantages socioéconomiques pour les paysans qui les exploitent. Les jachères se
562 révèlent être des réservoirs significatifs de biomasse et de carbone, avec des espèces
563 présentant des quantités importantes de stockage de carbone et des valeurs écologiques
564 élevées. Ce constat souligne le rôle essentiel des jachères dans la régénération des sols et la
565 séquestration du carbone, agissant comme des refuges pour la biodiversité et des phases de
566 reconstitution des ressources. Ces résultats corroborent bien avec les travaux de A. Taonda *et*
567 *al.*, (2023, p.8) sur le potentiel de séquestration de carbone de la forêt classée de Foubou à
568 Korhogo au nord de la côte d'Ivoire. Les jardins de case, malgré leur petite taille, démontrent
569 une contribution significative au stockage de carbone. Enfin, les plantations (où *Anacardium*
570 *occidentale* L., *Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn. *ssp*, *Parkia biglobosa*, *Pterocarpus*
571 *erinaceus* Poir., *Gmelina arborea* Roxb. *Ex Sm*, *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss et
572 *Mangifera indica* L. sont prédominantes) montrent également une importante contribution au
573 stock de biomasse et des valeurs écologiques élevées.

La forme linéaire ($R^2 = 1$) des courbes de tendance dans les haies est remarquable, indiquant une relation directe et parfaitement proportionnelle. Ceci peut s'expliquer par une composition spécifique des haies où l'importance écologique des espèces est intrinsèquement liée à leur capacité de croissance et donc de stockage de biomasse. Les courbes exponentielles observées pour les jachères ($R^2 = 0,82$), jardins de case ($R^2 = 0,80$) et parcs agroforestiers ($R^2 = 0,98$), avec des coefficients de détermination supérieurs à 0,5, confirment également une forte corrélation. Ce résultat pourrait suggérer que, dans ces systèmes, l'augmentation de l'importance écologique d'une espèce s'accompagne d'une accélération du stockage de carbone, possiblement due à des interactions écologiques positives ou à des stratégies de croissance spécifiques qui deviennent plus efficaces à mesure que l'espèce gagne en importance. Ce résultat corrobore avec ceux de A. Taonda *et al.*, (2023, p.10) en Côte d'Ivoire, pour qui, la croissance des arbres influence la variation de la biomasse et donc l'importance écologique des systèmes. Pour les plantations, la courbe de tendance en forme de puissance ($R^2 = 0,79$) avec un coefficient de détermination élevé corrobore aussi cette forte corrélation. Cette forme en puissance est fréquemment observée dans les phénomènes biologiques, notamment pour décrire les relations allométriques entre les caractéristiques des organismes et leur taille ou leur masse, comme en témoignent les travaux sur l'allométrie universelle des plantes vasculaires (K. Niklas & B. Enquist, 2002, p.84) et la modélisation de la croissance des arbres dans divers écosystèmes forestiers (N. Rüger *et al.*, 2020, p.167).

Variation de carbone par classes de diamètres dans les systèmes agroforestiers.

Le stock de carbone augmente avec le diamètre des arbres dans tous les systèmes agroforestiers étudiés. Cette observation est fondamentale et est largement corroborée par la littérature scientifique. Il est bien établi que le diamètre des arbres est le principal prédicteur de leur biomasse et, par conséquent, de leur capacité à stocker le carbone (J. Chave *et al.*, 2005, p.89). Les classes de petit diamètre ([10-15[, [15-20[, [20-25[et [25-30[) affichent un stock de carbone très faible, tandis que les classes supérieures, notamment [35-40[, [40-45[et [45-50[atteignent un stockage maximal. Ce schéma linéaire d'accumulation du carbone avec la croissance diamétrique dans Les SAF peut s'expliquer par une gestion qui favorise la croissance des individus les plus robustes, ou par une maturation progressive où seuls quelques arbres atteignent des tailles importantes et dominent le stockage de carbone. Des résultats similaires ont été trouvés dans une étude de A. Juwarkar *et al.*, (2011, p.85) sur l'estimation de la biomasse aérienne et souterraine. Aussi, dans leurs travaux dans l'Amazonie centrale, J. Chave *et al.*, (2005, p.95) démontre que la biomasse des arbres se trouve dans les arbres à diamètres intermédiaires. La ligne bleue représentant les moyennes de stock de carbone par hectare ($3,13 \pm 3,26$ t/ha dans les haies, $27,01 \pm 18,72$ t/ha dans les jachères, $46,77 \pm 6,35$ t/ha dans les jardins de case, $42,81 \pm 27,71$ t/ha dans les parcs agroforestiers et $22,41 \pm 13,54$ t/ha dans les plantations) indique clairement que les arbres de gros diamètre contribuent de manière disproportionnée au stockage global de carbone dans tous les systèmes agroforestiers étudiés. Dans leur étude sur le Stock de carbone des systèmes agroforestiers en zone soudano-sahélienne, E. J. D. Boukeng *et al.*, (2022, p.27) affirment que plus il y aura de gros arbres conservés, plus les quantités de carbone stockées seront élevées. Dans le même ordre d'idées, les résultats antérieurs de J. Thompson *et al.*, (2004, p.5) ont rapporté que plus un arbre grandit, plus il séquestre de carbone.

Limites de l'étude

Bien que nos résultats soient significatifs, il est important de noter certaines limitations de cette étude (par exemple, données provenant d'une seule saison/année, échelle spatiale limitée, absence de données sur d'autres compartiments du carbone comme le carbone du sol).

Conclusion

L'étude sur l'estimation du stock de carbone des systèmes agroforestiers dans la Commune de N'Dali, apporte des éclairages essentiels sur leur rôle multifonctionnel face aux défis du changement climatique. Les résultats ont démontré que la capacité de stockage de carbone varie considérablement selon le type de système agroforestier. Les parcs agroforestiers se distinguent comme les puits de carbone les plus efficaces, suivis des jachères et des plantations, soulignant l'importance de la biomasse ligneuse accumulée sur le long terme. Les jardins de case et les haies, bien que stockant des volumes moindres, contribuent également de manière non négligeable à l'échelle du paysage. Un élément clé de nos découvertes est la corrélation robuste entre le stock de carbone et l'importance écologique des espèces, ainsi que la contribution disproportionnée des arbres de grand diamètre au stockage global. Ces observations soulignent l'importance vitale de la conservation et de la promotion des arbres matures et des espèces écologiquement significatives.

Références Bibliographiques

- AROUNA Ousséni, 2012, *Cartographie et modélisation prédictive des changements spatio-temporels de la végétation dans la Commune de Djidja au Bénin : Implication pour un aménagement du territoire*, Thèse de Doctorat unique, EDP/FLASH/UAC 246 p.
- BARTLETT Maurice, 1937, *Properties of sufficiency and statistical tests*. Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences, 160(901), 268-282.
- BAYALA Jules, SANOU Josias, TEKLEHAIMANOT Zewge, KALINGANIRE Antoine, and OUEÐRAOGO Jules, 2014, « Parklands for Buffering Climate Risk and Sustaining Agricultural Production in the Sahel of West Africa », *Current Opinion in Environmental Sustainability* 6 (February): 28–34. doi: 10.1016/j.cosust.2013.10.004
- BOUKENG Elvire José Djiongo, TIENCHEU AVANA, ZAPFACK Marie Louise Louis, DESROCHERS André, MAAKU DZO Imelda Gaëlle, KABELONG BANOHO Louis-Paul-Roger, KHASA Damase, 2023, « Stocks de carbone des systèmes agroforestiers de la zone soudano-sahélienne du Cameroun, Afrique centrale, *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 2023 27(1), 19-30, DOI: 10.25518/1780-4507.20143
- BRAUN BLANQUET., 1932. *Plant sociology- The study of plant communities-* translated revised and edited by Fuller G.D. Conard H. S. 439 p.
- CHAVE Jerome, ANDALO Christophe, BROWN Sandra, CAIRNS Michael, CHAMBERS Jeffrey, EAMUS Derek, FOLSTER Hubert, FROMARD François, HIGUCHI Niro, KIRA Tatuo, LESCURE Jean-Pierre, NELSON Bruce Walker, OGAWA Hideo, PUIG Henry, RIERA Bruno, and YAMAKURA Toshio, 2005, « Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests », *Oecologia*, 145: 87–99.
- CHAVE Jerome, CONDIT Richard, AGUILAR Salomon, HERNANDEZ, Andrez LAO Suzanne, & PEREZ Rolando, 2004, « Error propagation and scaling for tropical forest biomass estimates ». *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 2004, vol. 359, no 1443, p. 409-420.
- DIATTA Marone, 2015, *Etude du potentiel de stock de carbone d'espèces agroforestières et de leurs traits fonctionnels en lien avec les systèmes d'utilisation des terres au Sénégal*. Doctorat en sciences forestières Philosophiae doctor (PhD). Université Laval 118 p.
- FERNANDES Eric BIOT, Yvan, BURESH Roland, & VAN NOORDWIJK Meine, 2002, « Agroforestry and soil carbon sequestration: Opportunities and challenges », In: *Soil carbon sequestration and the greenhouse effect* (pp. 53-73). S. Lal, R. F. Follett, and B. A. Stewart (Eds.). CRC Press.

663 GARRITY Dennis Philip, 2004, «Agroforestry and the achievement of the Millennium Development Goals »,
664 Agroforestry Systems, 61: p.5–17.

665 GEHU Jean-Marie, 1980, *La phytosociologie d'aujourd'hui*. Bulletin de la Société Botanique de France, Lettres
666 Botaniques, 127(5), 459-467.

667 GENDEHOU Stephane Gbégnon, OUMOROU Mohamed, ASSOGBADJO Achille Ephrem, VAN DER
668 MAATEN Ernst, VAN DER MAATEN-THEUNISSEN Maren & HOUINATO Marcel, 2012, «Allometric
669 equations for biomass estimation in different land-use systems in Benin (West Africa) », African Journal of
670 Agricultural Research, 7(45), 6062-6072.

671 GOMEZ-DELGADO Federico, ROUPSARD Olivier, LE MAIRE Guerric, TAUGOURDEAU Simon, PEREZ
672 A, van OIJEN Marcel, VAAST Philippe, RAPIDEL Bruno, HARMAND Jean-Michel, VOLTZ Marc,
673 BONNEFOND Jean-Marc, IMBACH Pablo, MOUSSA Roger, 2011, « Modelling the hydrological behaviour of
674 a coffee agroforestry basin in Costa Rica » Hydrology and Earth System Sciences, 15 : 369-392

675 GOUSSANOU Cédric, GUENDEHOU Sabin., ASSOGBADJO Achille, KAIRE Mohamed, SINSIN Brice and
676 CUNI-SANCHEZ Andrea, 2016, « Specific and generic stem biomass and volume models of tree species in a
677 West African tropical semi-deciduous forest ». *Silva Fennica*, 50, n°. 2, <http://dx.doi.org/10.14214/sf.1474>.

678 IPCC, 2019, « Climate change and land: an IPCC special report on climate change, desertification, land
679 degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems », www.ipcc.ch/srcc

680

681 JUWARKAR Asha, VARGHESE Anish, SINGH Sanjeev, AHER Vijaya, THAWALE Prashant, 2011, « Carbon
682 sequestration potential in above-ground biomass of natural reserve forest of Central India », *International
683 journal of Agriculture: Research and review*, 1: 80-86.

684 KONE Dofoungo, OUATTARA Noufou Doudjo, IRITIE Bruno Marce & WANDAN Eboua Narcisse, 2019,
685 « Caractéristiques structurales et importance relative de la flore ligneuse autour de deux ruchers installés dans la
686 forêt classée de Badenou (Nord de la Côte d'Ivoire) », *International Journal of Innovation and Applied Studies*,
687 26(4), 1052-1065.

688 LIU Yang, LI Shiquing, & LI Rui, 2004, « Carbon sequestration in agroforestry systems in the Loess Plateau of
689 China ». *Forest Ecology and Management*, 196(1), 45-54

690 M'BOW Cheikh, 2009, *Potentiel et dynamique des stocks de carbone des savanes soudaniennes et soudano-*
691 *guinéennes du Sénégal*, Thèse de Doctorat d'Etat ès Sciences. Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD),
692 Dakar, Sénégal, 291 p.

693 MARKUM Markum, ARIESOESILONINGSIH Endang, SUPRAYOGO Didik & HAIRIAH Kurniatun, 2013, «
694 Contribution of agroforestry system in maintaining carbon stocks and reducing emission rate at Jangkok
695 Watershed, Lombok Island », *AGRIVITA J. Agric. Sci.*, 35, 54-63, [doi.org/10.17503/Agrivita-2013-35-1-p054-](https://doi.org/10.17503/Agrivita-2013-35-1-p054-063)
696 063

697 MILLAR Nicky, GACHENGO Catherine, & SWIFT Malcolm, 2004, « Carbon dynamics of improved fallows
698 and implications for carbon sequestration », In: *Managing organic matter in tropical soils: current knowledge
699 and critical needs* (pp. 147-156). S. Lal, R. F. Follett, R. H. R. J. Kimble, & B. A. Stewart (Eds.). CRC Press.

700 MOKANY Karel, RAISON John, & PROKUSHKIN Anatoly, 2006, « Critical analysis of root: shoot ratios in
701 terrestrial biomes », *Global Change Biology*, 12(1), 84-96.

702 MOLTO Quentin, ROSSI Vivien & ROSSI Gaëtan, 2012, « Quantifying the uncertainty of plot-based carbon
703 stock estimates in tropical forests ». *Forest Ecology and Management*, 267, 140-147.

704 MONTAGNINI Florentia et NAIR Ramachandran, 2004, « Carbon sequestration: An underexploited
705 environmental benefit of agroforestry Systems », *In new vista in agroforestry: a compendium for 1st world
706 congress of agroforestry*, Springer Netherlands, 61, p.281-295.

707 MOUNDOUNGA Mavouroulou Quentin, MOFOR Samuel & BILOSO Moyene Appoliniare, 2014, « The
708 choice of allometric equation affects tree biomass estimation in tropical Africa », *Journal of Forestry Research*,
709 25(4), 861-868

710 NAIR Ramachandran, KUMAR Mohan and NAIR Vimala, 2009, « Agroforestry as a strategy for carbon
711 sequestration », *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 172, p.10–23. www.plant-soil.com

712 NAKOU Léonie Goundjinou Kpindjou, 2014, *Développement des équations allométriques pour l'estimation de
713 la biomasse aérienne des arbres en zone soudano-guinéenne au Bénin*, Mémoire de Master, Université
714 d'Abomey-Calavi, 73p

715 NGOM Daouda, CAMARA Boubacar, SAGNA Boubacar et GOMIS Zoe Daba, 2018, « Cortège floristique,
716 paramètres structuraux et indicateurs d'anthropisation des parcs agroforestiers à *Elaeis guineensis* Jacq. en Basse
717 Casamance, Sénégal », *Journal of Animal & Plant Sciences*, Vol.36, Issue 3: p.5919-5932

718 NIKLAS Karl et ENQUIST Brian, 2002, « An allometric model for seed plant reproduction ». *Evolutionary
719 Ecology Research*, 2003, vol. 5, no 1, p. 79-88.

720 NOIHA Habibou, BILOSO Moyene Appolinaire et YERIMA Bello, 2017, Stockage de carbone et analyse de sa
721 valeur économique dans les parcs agroforestiers à base d'anacarde du Nord Cameroun. *Revue Scientifique et
722 Technique Forêt et Environnement du Bassin du Congo (RTFBC)*, 8, 64-75.

723 OLLABODÉ Nouroudine, TOVIHOUDJI Pierre, LABIYI Adédéji Innocent, AÏHOUNTON Ghislain, ADIMI
724 Gédéon & YABI Afouda, 2017, Déterminants du rendement de soja dans la commune de N'Dali. *Annales de
725 l'Université de Parakou, Série Science Naturelle et Agronomie. Hors-série No 1* : 35-42. ISSN. 1840-8494.

726 RAMSTEIN Christian, 2019, *Évaluer les services écosystémiques rendus par les arbres*. Phytoma, 725, 43-46.

727 REYES Guillermo, BROWN Sandra, CHAPMAN Joel et LUGO Ariel, 1992, « Wood densities of tropical tree
728 species » USDA Forest Service, Southern Forest Experiment Station, General Technical Report SO-99. New
729 Orleans, LA, USA.

730 RÜGER Nadja, CONDIT Richard, DENT Daisy, Saara DEWALT, Stephen HUBBELL, LICHSTEIN Jeremy,
731 LOPEZ Omar, WIRTH Christian et FARRIOR Caroline, 2020, « Demographic trade-offs predict tropical forest
732 dynamics ». *Science*, 2020, vol. 368, no 6487, p. 165-168.

733 SAÏDOU Aliou, DOSSA Adjossi Fleur Eunice, GNANGLE Paul Césaire, BALOGOUN Ibouraiman et AHO
734 Nestor, 2012, « Évaluation du stock de carbone dans les systèmes agroforestiers à karité (*Vitellaria paradoxa* C.
735 *F. Gaertn. ssp CF Gaertn.*) et à néré (*Parkia biglobosa* Jacq. G. Don) en zone soudanienne du Bénin », *Bull.
736 Rech. Agron. Bénin*, N.S. Agric. For., 11, 1025-2325, p.1-9.

737 SCHEFFÉ Henry, 1959, *The Analysis of Variance*. John Wiley & Sons, 574p.

738 STEFFAN-DEWENTER Ingolf, KESSLER Michael, BARKMANN Jan, BOS Merijn, BUCHORI Damayanti,
739 ERASMI Stefan, FAUST Heiko, GEROLD Gerhard, GLENK Klaus, GRADSTEIN Robert, GUHARDJA Edi,
740 HARTEVELD Marieke, HERTEL Dietrich, HÖHN Patrick, KAPPAS Martin, KÖHLER Stefan, LEUSCHNER
741 Christoph, MAERTENS Miet, MARGGRAF Rainer, MIGGE-KLEIAN Sonja, MOGEA Joanis, PITO pang,
742 RAMAD Haniel, SCHAEFER Matthias, SCHWARZE Stefan, SPORN Simone, STEINGREBE Andrea,
743 TJITROSOEDIRDJO Sri, TJITROSOEMITO Soekisman, TWELE André, WEBER Robert, WOLTMANN Lars,
744 ZELLER Manfred et TSCHARNTKE Teja, 2007, « Tradeoffs between income, biodiversity, and ecosystem
745 functioning during tropical rainforest conversion and agroforestry intensification » *Proceedings of the National
746 Academy of Sciences of the USA*, 104: p.4973–4978.

747 TAONDA Adama, N'GUESSAN Anny Estelle, KOUAKOU Amani Bienvenue, OUEDRAOGO Hassane,
748 KASSI N'DJA Justin, 2023, « Structure et potentiel de séquestration de carbone de la forêt classée de Fombou
749 à Korhogo au nord de la côte d'ivoire », *Rev Écosystèmes et Paysages (Togo)*, 3(2) : 1–12, e-ISSN (Online) :
750 2790-3230, p. 1-12.

751 TEMGOUA Lucie Félicité, DONGMO Wokem, NGUIMDO Victor & NGUENA Calixte, 2018 « Diversité
752 ligneuse et stock de carbone des systèmes agroforestiers à base de cacaoyers à l'Est Cameroun : cas de la forêt
753 d'enseignement et de recherche de l'Université de Dschang ». *J. Appl.Biosci.*, **122**, 12269- 12281,
754 doi.org/10.4314/jab.v122i1.7

755 THOMPSON Janette, NOWAK David, CRANE D. E., HUNKINS J. A, 2004, « Characteristics of recently
756 planted tree, Communities benefit from a tree-planting program ». *Iowa, U S. Journal of arboretum*, 30, 1-9.

757 THORLAKSON Tannis et NEUFELDT Henry, 2012, « Reducing subsistence farmers' vulnerability to climate
758 change: evaluating the potential contributions of agroforestry in western Kenya », *Agriculture & Food Security*,
759 1: 15, p.1-13, www.agricultureandfoodsecurity.com/.

760 TORQUEBIAU Emmanuel, 2000, *A renewed perspective on agroforestry concepts and classification*, *Comptes
761 rendus de l'Académie des Sciences, Life Sciences*, n° 323, pp. 1009-1017.

762 WARING Richard, LANDSBERG Joseph & WILLIAMS M, 1998, Net primary production of forests: a constant
763 fraction of solar radiation absorbed? *Forest Ecology and Management*, 104(1-3), 289-301.

764 WOODFINE, Anne, 2008, *L'adaptation au changement climatiques et l'atténuation de ses effets en Afrique
765 subsaharienne au moyen des pratiques de gestion durable des terres*. Guide d'Orientation Terrafrica. 90p.

766 ZANNE Amy, LOPEZ-GONZALEZ Gwendoly, COOMES David, ILIC Jugo, JANSEN Steven, LEWIS Simon,
767 MILLER Regis, NIINEMETS Ülo, REICH Peter, VENEKLAAS Eric, & CHAVE Jérôme, 2009, « Global wood
768 density database », Journal of Ecology, 97(4), 843-846.

UNDER PEER REVIEW IN IJAR