



Original Paper

<http://ajol.info/index.php/ijbcs>

<http://indexmedicus.afro.who.int>

Potentialités et avantages économiques de la mangrove dans la lutte contre le réchauffement climatique : cas de l'arrondissement de Djilor (Fatick, Sénégal)

Daniel GOMIS^{1*}, Natacha Péna MBENGUE¹, Sidia Diaouma BADIANE¹,
Agnès Daba THIAW-BENGA¹, Aliou GUISSSE² et Aminata NDIAYE³

¹ *Laboratoire de Biogéographie / Département de Géographie, Faculté des Lettres et Sciences Humaines ; Université Cheikh Anta Diop de Dakar, B.P. 5005 Dakar-Fann, Sénégal.*

² *Laboratoire d'Ecologie et d'Ecohydrologie / Département de Biologie végétale, Faculté des Sciences et Techniques ; Université Cheikh Anta Diop de Dakar, B.P. 5005 Dakar-Fann, Sénégal.*

³ *Laboratoire de Climatologie / Département de Géographie, Faculté des Lettres et Sciences Humaines Université Cheikh Anta Diop de Dakar, B.P. 5005 Dakar-Fann, Sénégal.*

*Auteur correspondant ; E-mail : gdany@live.fr; Tél : 00221 77 378 64 90.

Received: 06-11-2022

Accepted: 24-01-2023

Published: 31-01-2023

RESUME

Dans le contexte actuel de changement climatique, la connaissance de la contribution des écosystèmes végétaux à la réduction des émissions de Gaz à Effet Serre (GES) est devenue une priorité dans le cadre de l'adoption des mécanismes REDD+. C'est dans cette optique que cette étude visait, pour la mangrove de la zone d'étude, à évaluer le potentiel de séquestration en carbone de sa biomasse ligneuse et de son avantage économique pour la population en crédit carbone. Pour y parvenir, le carbone stocké a été estimé de manière non destructive par l'utilisation de « modèle allométrique » adapté, à partir de données d'inventaire. Ces données ont été collectées de manière aléatoire sur 60 placettes carrées de 100 m². Les résultats ont révélé du fait de la sélectivité du milieu, une flore à diversité faible, marquée par un peuplement arbustif à type chorologique Afro-américain avec une forte densité des individus. Les quantités de carbone séquestrées dans ce peuplement donnent une valeur moyenne importante (24,7 tC.ha⁻¹). Cette dernière est ici fonction de l'abondance et de la dominance des Rhizophoraceae. La valeur économique, obtenue de ce potentiel, indique une somme conséquente (2.384.119.463F CFA) dont la valorisation dans les marchés carbones pourrait constituer un supplément de revenus additionnels aux initiatives de lutte contre la pauvreté. Cette étude montre donc l'importance de la mangrove dans la lutte contre réchauffement climatique et la vulnérabilité de la population. Par conséquent, des initiatives allant dans le sens de leur conservation devraient être multipliées au plus grand bénéfice de l'humanité et dans l'intérêt de la population locale.

© 2022 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : Mangrove, changement climatique, stock de carbone, biomasse et crédit carbone.

Potentialities and economic benefits of the mangrove in the fight against global warming: case of the Djilor District (Fatick, Senegal)

ABSTRACT

In the current context of climate change, the knowledge of the contribution of plant ecosystems to the reduction of greenhouse gas (GHG) emissions has become a priority in the context of the adoption of REDD+ mechanisms. It is in this perspective that this study aimed, for the mangrove of the study area, to evaluate the

carbon sequestration potential of its woody biomass and its economic benefit for the population in terms of carbon credit. To achieve this, the stored carbon was estimated in a non-destructive way by using adapted "allometric model", from inventory data. These data were collected randomly on 60 square plots of 100 m². The results revealed, due to the selectivity of the environment, a low diversity flora, marked by a shrubby stand of African-American chorological type with a high density of individuals. The quantities of carbon sequestered in this stand give a significant average value (24.7 tC.ha⁻¹). The latter is a function of the abundance and dominance of Rhizophoraceae. The economic value obtained from this potential indicates a substantial sum (2,384,119,463 CFA francs), the valuation of which in the carbon markets could constitute an additional income supplement to the initiatives for the fight against poverty. This study therefore shows the importance of mangroves in the fight against global warming and the vulnerability of the population. Consequently, initiatives in the direction of their conservation should be multiplied for the greater benefit of humanity and in the interest of the local population

© 2022 International Formulae Group. All rights reserved.

Keywords: Mangrove, climate change, carbon stock, biomass and carbon credit.

INTRODUCTION

Les concentrations de Gaz à Effet de Serre (GES) dans l'atmosphère ont atteint des niveaux inquiétants. Depuis le début de la Révolution Industrielle, le développement technologique et l'explosion démographique ont accru les demandes en énergie, en espaces, en traitement de déchets, en besoins alimentaires, en transports, ou encore en logements. Ces activités ont généré une augmentation des émissions de GES dont les effets de leur forçage radiatif rajouté à ceux de l'effet de serre naturel ont été estimés par beaucoup d'auteurs comme largement responsables du réchauffement climatique. En effet, les GES naturels sont indispensables à la vie puisqu'ils permettent de maintenir la température moyenne de la terre à 15°C au lieu de -18°C mais, leur augmentation a un effet direct sur l'efficacité de cet effet de serre en induisant le réchauffement de la planète et le changement climatique. Parmi, ces gaz, le CO₂ est considéré comme le principal acteur en raison des quantités d'origine anthropique émises, comparativement aux autres GES. En effet, estimées à 280ppm en 1750, les concentrations de CO₂ ont atteint 376 ppm en 1999, puis 379 ppm en 2005 (GIEC, 2007). Ces modifications de la composition atmosphérique du climat sont responsables de nombreuses catastrophes qui grossissent d'années en années le nombre de victimes en situation d'urgence humanitaire. En effet,

elles se manifestent par une augmentation de la température terrestre (dont la vitesse au cours des cinquante dernières années varie de 0,10 à 0,16°C par décennie), entraînant la fréquence de phénomènes météorologiques extrêmes ainsi que l'élévation du niveau des océans (Boer et al., 2000). Dans le cas où aucune mesure d'atténuation n'est prise, cette situation pourrait s'aggraver avec un accroissement de la température moyenne de la terre pouvant aller jusqu'à 2 à 6°C d'ici 2100 avec de réelles conséquences sur la vie humaine (GIEC, 2007). En effet, les projections scientifiques estiment qu'à cause de ce réchauffement climatique, des millions de personnes auront à faire face à des manques d'eau et de nourritures, à une exposition accrue aux maladies, à la perte de leurs habitats, de leurs biens et modes de subsistance, et aux migrations forcées (Boka et al., 2007).

Face à ces risques, la communauté internationale a réagi en élaborant la Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique (CCNUCC) lors du sommet de la terre à Rio en 1992. Cette convention ratifiée par 120 pays et entrée en vigueur le 21 mars 1994 avait pour objectif de « stabiliser les concentrations de GES dans l'atmosphère à un niveau qui empêche toutes perturbations anthropiques dangereux ». Pour y parvenir, la CCNUCC a mis en place le Protocole de Kyoto, signé en 1997 et ratifié

par 180 pays parmi lesquels la Russie, en 2005. Ce traité, afin de réduire les concentrations des émissions GES, s'est doté d'un certain nombre de mécanismes tels que celui du stockage et de la séquestration du carbone atmosphérique dans les écosystèmes terrestres et aussi de celui de la réduction des émissions CO₂ au travers de l'initiative REDD+ (Réduction des Emissions de GES dues à la déforestation et à la dégradation des forêts). En effet, les écosystèmes terrestres, marins et côtiers absorbent près de la moitié des émissions de dioxyde de carbone d'origine anthropique et l'amélioration de leur gestion pourrait permettre d'en piéger autant. Quant au mécanisme REDD+, il vise à encourager les pays en développement à préserver leurs massifs forestiers moyennant des compensations financières issues des crédits de carbone (Angelsen et al., 2013).

Parmi ces écosystèmes terrestres, la mangrove est citée, à l'image des forêts tropicales humides, comme faisant partir de ceux qui pourraient le plus contribuer à l'atténuation du réchauffement climatique. Du fait de sa productivité, de son étendue dans la zone tropicale et subtropicale et de sa position d'interface entre la terre ferme et l'océan (Léopold, 2012). En plus, elle revêt une importance capitale aussi bien au niveau écologique qu'économique, au vu des nombreux biens et services qu'elle procure (production halieutique, stabilisation des côtes, capture de nutriments et de sédiments et enfin habitats pour la biodiversité adaptée). Tous ces atouts font des mangroves des écosystèmes importants à intégrer dans les stratégies nationales REDD+, ce qui nécessite au préalable, pour la zone d'étude, des connaissances sur leur stock en carbone et de leur équivalence en valeur économique. C'est dans cette optique que cette étude consacrée à la mangrove de l'arrondissement de Djlor avait pour objectifs a) d'évaluer la quantité de carbone séquestrée dans la biomasse ligneuse de la mangrove pour ensuite, b) de procéder au calcul de la valeur économique de son service en crédit carbone.

MATERIEL ET METHODES

Présentation de la zone d'étude

L'étude a été menée dans l'Arrondissement de Djilor, situé au centre-ouest du Sénégal, entre 13°09 – 14°10N et 16°02 – 16°20W (Figure 1). Sa position en lisière de l'estuaire du Saloum et les réseaux hydrographiques du Saloum et du Diomboss déterminent un paysage marqué par deux grands ensembles : amphibie et continental. Ce dernier, constitué par les bas plateaux du *Continental-terminal*, est de formation plus ancienne que la zone amphibie, et constituée de sols ferrugineux tropicaux avec des sols peu ou pas lessivés et d'autres lessivés. Il comporte un paysage de champs de culture, vergers, pâturages, végétation naturelle et lieux d'habitation. L'ensemble amphibie, plus récent (*post-Nouakchottien*), concerne principalement la partie ouest. Il est constitué de sols hydromorphes avec des sols vertiques, à gleys salés et halomorphes, avec un paysage de mangrove, entrecoupé par un réseau dense de chenaux subissant l'action biquotidienne des marées. Dans ce paysage émergent aussi des îlots, des vasières, des tannes et des terrasses sableuses souvent couvertes d'halophytes herbacés.

Le relief est relativement plat, avec toutefois des zones dépressionnaires représentées par les vallées et les bras de mer du Saloum et du Diomboss. La zone subit l'influence d'un climat de type nord-soudanien marqué par une courte saison pluvieuse (3 à 4 mois) et une longue saison sèche (7 à 8 mois) (Sagna, 2007). La pluviométrie moyenne calculée à la station de Fatick sur la période allant de 1930 à 2017 est 601,9mm. La température moyenne, 28°C, est conditionnée par un régime thermique bimodal avec deux maxima en avril (39,4°C) et novembre (34,1°C) et deux minima en juillet (24,1°C) et janvier (16,8°C).

Ces conditions pédoclimatique et géographique ont permis l'établissement d'une végétation de savane (Ndiaye et al., 2007), établie sur les plateaux, en formation arborée, arbustive à arborée, voire arbustive,

de quelques galeries forestières et individus ligneux épars dans les champs ; au niveau des zones amphibies, la végétation est constituée de mangrove et de tanne herbu.

La densité du peuplement est en moyenne de 91,4 habitants/km² (ANSD, 2014). Mis à part l'agriculture et l'élevage, la mangrove offre d'énormes potentialités économiques (pêche, ostréiculture, etc.) ; les crédits carbone pourraient permettre d'en apporter plus.

Méthodologie de collecte de données

Plan de sondage

L'inventaire floristique a été réalisé sur la base d'un échantillonnage aléatoire. Le nombre de relevés, déterminé dans un premier temps en faisant un pré-inventaire de 5 placettes de 10 m×10 m, a ensuite intégré des paramètres mesurés ; la formule de Dagnelie (1998), ci-dessous, a été utilisée en prenant en compte le coefficient de variation du volume des arbres mesurés et une marge d'erreur de 20%.

$$n = t_{1-\alpha/2}^2 \frac{CV^2}{d^2}$$

avec n = taille de l'échantillon ;
 $t_{1-\alpha/2}$ = variable de Student (lu dans une table pour $n-1$ degré de liberté) ; CV = coefficient de variation d'un paramètre donné ; d = erreur d'un paramètre estimé à partir de l'échantillon : $1\% \leq d \leq 20\%$.

Un total de 54 relevés a été obtenu qui, ajoutés à ceux du pré-inventaire et d'un autre relevé de plus, font 60 relevés sur des placettes carrées de 10 m de côté (Tableau 1).

La distribution des placettes dans les zones de culture s'est faite de manière aléatoire sur la base d'un maillage (250 m × 250 m) avec des points centroïdes sur lesquels le choix de placette à inventorier s'est fait hasard par tirage au sort. La collecte des données a été réalisée, pour le pré-inventaire, du 16 au 18 mars 2018 et du 05 au 29 avril 2018 et, pour l'inventaire proprement dit, pendant la période du 15 février au 22 juillet 2019. Sur le terrain, l'installation des

placettes a été effectuée suivant la méthode de 3-4-5 propre au théorème de Pythagore pour déterminer l'angle droit. Dans chaque placette, les mesures des paramètres dendrométriques [diamètre à hauteur de poitrine (DHP), la hauteur totale de l'arbre, et la distance entre deux arbres, selon la méthode du plus proche individu ont été prises pour tous les individus dont la circonférence est supérieure ou égale à 10 cm. Les sujets de circonférence inférieure à 10 cm ont été comptés et considérés comme faisant partie de la régénération.

L'identification des espèces a été effectuée sur le terrain. Les ligneux non identifiés sur place ont fait l'objet de prélèvement d'échantillons pour une identification ultérieure au laboratoire à l'aide de « Flore du Sénégal » de Berhaut (1967) et de certains ouvrages.

Traitement et analyses des données

Les données obtenues ont été traitées à l'aide du tableur Excel qui a servi au classement des données numériques et à l'élaboration des tableaux et graphiques. La liste floristique des espèces a été dressée puis analysée, pour chaque espèce, en calculant la fréquence, l'importance écologique, le type biologique et phytogéographique, avant de procéder à l'analyse de diversité du peuplement et des paramètres structuraux.

La notion de fréquence est définie par Gausson (1963) et Gounot (1969) comme le rapport entre le nombre de relevés dans lesquels l'espèce est représentée et le nombre total de relevés. Elle renseigne sur la distribution d'une espèce dans un peuplement. Elle peut être en valeur absolue ou relative, par la formule suivante (Roberts-Pichette et Gillespie, 2002 cités par Ngom, 2013) :

$$F = (Nri/Nr) \times 100$$

F = Fréquence de présence exprimée en pourcentage (%), Nri = nombre de relevés où l'on retrouve l'espèce i et Nr = nombre total de relevés.

L'importance écologique ou Indice de Valeur d'Importance (IVI), définie par Curtis et Mc-Intosh (1950) est une expression synthétique et quantifiée de l'importance

d'une espèce dans un peuplement. Elle est déterminée par la relation suivante :

$$IVI = (\text{Densité relative} + \text{Dominance relative} + \text{Fréquence relative})/3$$

Densité relative = (Nombre d'individus de l'espèce par ha/densité totale des espèces) × 100

Dominance relative = (Surface terrière totale de l'espèce/Surface terrière totale des espèces) × 100

Fréquence relative = (Fréquence d'une espèce/somme des fréquences des espèces) × 100

Les types biologiques et les affinités phytogéographiques des espèces ont été déterminés en termes de présence, d'abondance et de dominance. Les types biologiques désignent l'ensemble des particularités morphologiques qui jouent un rôle dans la résistance aux conditions défavorables et à la localisation des espèces végétales (Melon, 2015). Les types biologiques (TB) utilisés ici sont ceux définis par Raunkiaer (1934) et adaptés pour l'étude des formations végétales tropicales par plusieurs auteurs (Mbayngone et al., 2008b ; Faye, 2010). Pour la strate ligneuse, il s'agit essentiellement de phanérophytes qui ont été subdivisés en :

- nanophanérophyte (nph) : arbuste de 0,5 à 2 m de hauteur) ;
- microphanérophyte (mph) : arbuste de 2 à 8 m de hauteur) ;
- mésophanérophyte (Mph) : arbre moyen de 8 à 30 m de hauteur) ;
- et mégaphanérophyte (MPh) : grand arbre de plus de 30 m de hauteur).

Les affinités phytogéographiques ont été définies en référence à celles établies par White (1986), utilisées par plusieurs auteurs pour les phytochories africaines (Sinsin, 1993 ; Faye, 2010). Il s'agit des espèces à large distribution, Afro-américaines (Aa), Pantropicales (Pan) et Paléotropicales (Pal) ; des espèces pluri-régionales africaines regroupant : Soudano-guinéennes (Sg), Afro-tropicales (At), Afro-malgaches (Am),

Soudano-zambésiennes (Sz), plurirégionales africaines (Pa) et Guinéo-congolaises (Gc) et enfin des espèces, à élément de base soudanien, distribuées dans le centre régional d'endémisme soudanien.

L'analyse de la diversité a été effectuée par le calcul des indices de Shannon-Weaver, d'équitabilité de Pielou et de Simpson.

L'indice de Shannon (1949) permet d'exprimer la diversité en prenant en compte le nombre d'espèces et l'abondance des individus au sein de chaque espèce. L'indice Shannon varie de 0 à $\log_2 S$, soit 4,5 bits pour une communauté assez riche (Frontier et Pich-Viale, 1995). H est minimal (égal à 0) si tous les individus du peuplement appartiennent à une seule et même espèce ;

- $H < 2,5$ = diversité faible ;
- $2,5 \leq H < 4$ = diversité moyenne ;
- $H \geq 4$ = diversité élevée.

Il est maximum quand chaque individu représente une espèce distincte (Legendre et Legendre, 1984). Son calcul est basé sur la relation suivante :

$$H' = -\sum p_i \times \log_2 p_i$$

$P_i = n_i/N$ = nombre d'individus /espèces par strate

La régularité de la distribution ou équitabilité de Pielou (1966) : elle permet de mesurer la répartition des individus au sein des espèces indépendamment de la richesse spécifique. En effet plus les fréquences des espèces sont équitablement réparties, plus la diversité est élevée (Diédhiou, 2018). L'indice d'équitabilité de Pielou se calcule par la formule suivante :

$$E = H'/H \text{ max} ;$$

H = indice de diversité de Shannon ;

H max = indice de diversité maximale.

Où $E < 0,6$ = faible ; $0,6 \leq E \leq 0,7$ = moyen ; $E \geq 0,8$ = élevé. (Garba et al. 2017).

L'indice de Simpson, 1949 (D) : représente la probabilité que deux individus tirés au hasard dans une population infinie appartiennent à la même espèce (Simpson, 1949). Le maximum de diversité pour cet indice est représenté par la valeur 1 et

le minimum de diversité par la valeur 0. Il se calcule par la formule suivante :

$$D' = 1 - \frac{N_i(N_i - 1)}{N(N - 1)}$$

N_i = nombre d'individus dans l'espèce i ;

N = nombre total d'individus

Dans le but de l'établissement de la structure des peuplements ligneux, les paramètres suivants ont été calculés.

La densité observée ou densité réelle qui est obtenue par le rapport de l'effectif total des individus dans l'échantillon (N) par la surface échantillonnée (S).

$$Dobs = N/S$$

Le diamètre moyen (Dg) exprimé en cm est calculé selon la formule de Bonou et al. (2009).

$$Dg = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n di^2}$$

n = nombre total d'arbres rencontrés dans la placette ;

di = diamètre de l'espèce i (cm).

La hauteur moyenne de Lorey (HL) exprimée en mètre (m) est la hauteur moyenne des individus pondérée à leur surface terrière :

$$HL = \frac{\sum_{i=1}^n gi \times hi}{\sum_{i=1}^n gi} \quad \text{avec} \quad gi = \frac{\pi}{4} di^2$$

(Rondeux 1999).

La surface terrière ou recouvrement basal qui désigne la surface de l'arbre évaluée à 1,3m. Elle est exprimée en mètre carré par hectare (m^2ha^{-1}) et est obtenue à partir de la

$$\text{formule suivante : } St = \frac{\sum \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2}{SE}$$

St = surface terrière ; d = diamètre à hauteur de poitrine ; SE = surface de l'échantillon en ha.

L'estimation de la biomasse est la base des calculs de carbone. Les quantités de biomasse aérienne des différents individus ont été déterminées en utilisant le modèle pantropical régression de Chave et al. (2005). L'expression mathématique de ce modèle est la suivante : $BA = \rho \times \exp(-0,667 + 1,784 \ln(dbh) + 0,207(\ln(dbh))^2 - 0,0281(\ln(dbh))^3)$

BA étant la Biomasse aérienne sèche ;

ρ la densité de bois sec en g/cm^3 ;

et dbh le diamètre à hauteur de poitrine en cm.

Les densités spécifiques des différentes espèces échantillonnées ont été recueillies dans la base de données de Global Wood density database (Zane et al., 2009). Pour les espèces dont la densité du bois n'est pas connue, la valeur de densité par défaut ($0,58g/cm^3$ pour les forêts tropicales d'Afrique), recommandée par Reyes et al. (1992) et utilisée par Vroh et al. (2015) a été choisie. Cependant, ce modèle ne prenant pas en compte les palmiers pour l'estimation de leur biomasse, le modèle proposé par Brown et al. (1997) a été utilisé. L'expression mathématique de ce dernier est la suivante :

$$BA_{i(Kg)} = \text{Exp}(-2,134 + 2,530 \times \ln(DHP_i))$$

La biomasse hypogée a été déduite de la biomasse aérienne par l'utilisation du modèle de Cairn et al. (1997) :

$$BGB = \exp[-1,0587 + 0,8836 \times \ln(AGB)]$$

BGB = Below Ground Biomass

AGB = Above Ground Biomass

\ln = logarithme népérien.

La biomasse issue de ces équations a été convertie en carbone en utilisant la fraction de conversion de 0,5 conformément aux recommandations du GIEC (2006).

Concernant le stock de CO_2 , il est reconnu que la masse moléculaire du carbone est de 12 et celle du dioxygène est de 16 d'où une masse moléculaire du CO_2 égale à 44. Ainsi, le rapport du carbone (C) au dioxygène (O_2) est de 3,67 (Kombate et al., 2019). Le stock de CO_2 atmosphérique équivalent est alors estimé en multipliant le stock de carbone issue de la biomasse par 3,67.

La valeur économique du carbone séquestré et stocké dans les arbres désigne ici leur prix de vente sur le marché du carbone. Pour l'obtenir, les tonnes d'équivalent CO_2 ont été multipliées par le prix moyen de vente en crédit carbone d'une tonne de CO_2 dont la valeur monétaire considérée par Chenost et al. (2010) a été prise en compte dans cette étude pour une somme de : 7,6 €/t CO_2^{-1} , soit 4940 F CFA ou 11,13 dollars canadiens/t CO_2^{-1} .

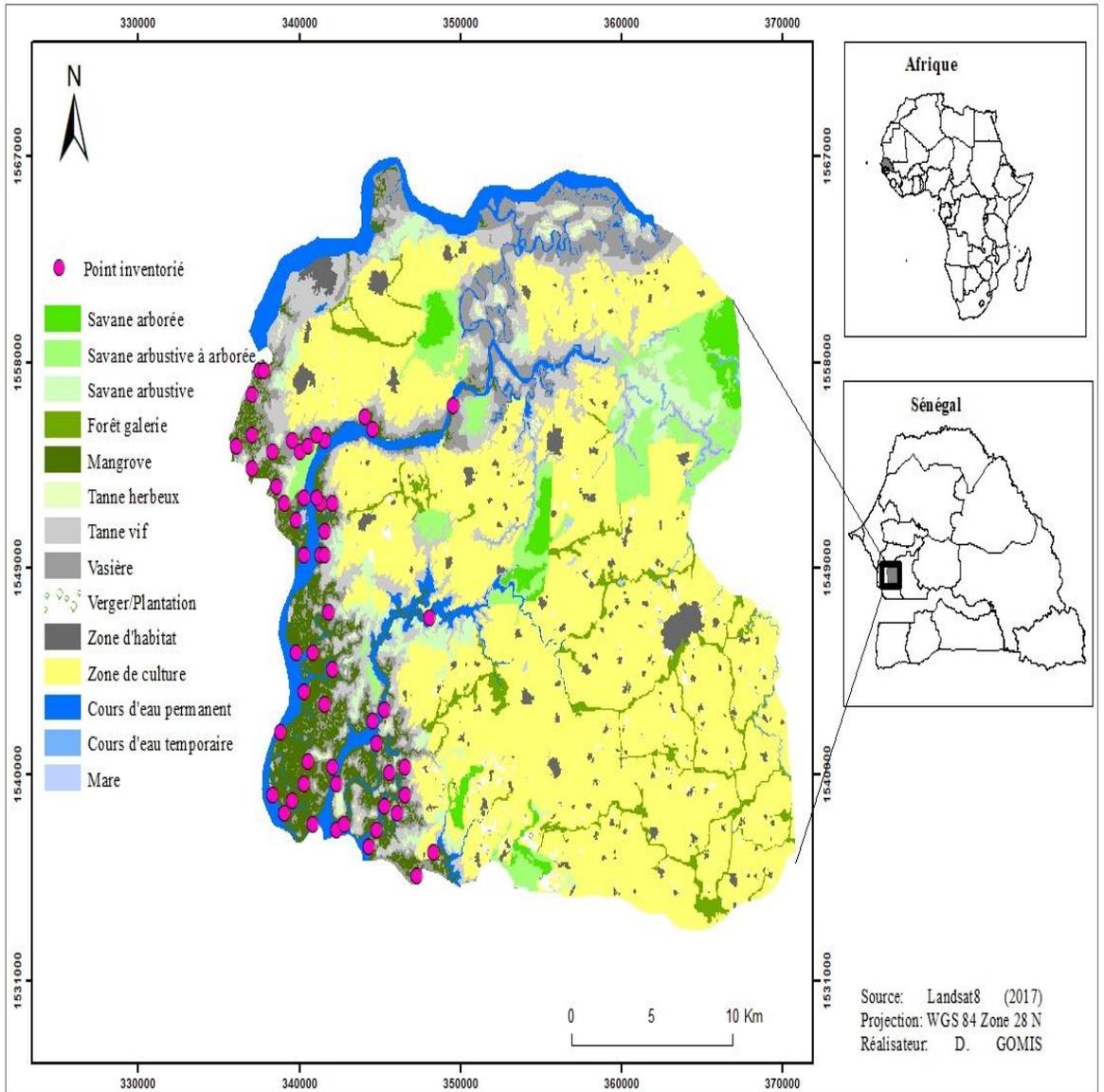


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude et distribution des relevés sur l'écosystème de mangrove.

Tableau 1 : Récapitulation du plan de sondage.

Formation végétale	Surface (ha)	Volume moyen (m ³)	Variance moyenne	Ecart type	CV (%)	Erreur considérée	Nbre de placettes	Nbre de placettes détaillés
Mangrove	5324	1,8	0,9	0,9	53	20	54	54

RESULTATS

Composition floristique

Les résultats des inventaires floristiques ont révélé l'existence de 4 espèces appartenant à 3 genres et 3 familles. La famille la mieux représentée est celle des Rhizophoraceae avec deux espèces. Les deux autres familles sont chacune représentée par une seule espèce. Le même constat est également observé pour les genres. Du point de vue spécifique, l'espèce la plus fréquente est *Rhizophora mangle* (50%), suivie de *Rhizophora racemosa* (32,4%), puis d'*Avicennia africana* (16,2%) et enfin de *Conocarpus erectus* (1,5%) (Tableau 2).

Indice de valeur d'importance écologique (IVI)

En termes d'IVI, *Rhizophora racemosa* a le taux le plus important (47,2%) en raison principalement de sa dominance, suivi de *Rhizophora mangle* (42,9%) qui enregistre les fréquences et les densités les plus représentatives car étant plus abondante, puis d'*Avicennia africana* (8,7%) et de *Conocarpus erectus* qui enregistre le taux le plus faible (1,2%) (Tableau 3).

Types biologiques et phytogéographiques

Les types biologiques exclusivement concernés ici par les phanérophytes, ont montré une prédominance des microphanérophytes, tant en nombre d'espèce qu'en abondance d'individus avec respectivement des taux de 75% et 62%. Les mésophanérophytes viennent ensuite avec respectivement des taux de 25% et de 38% (Tableau 4).

Concernant les types phytogéographiques des espèces, ils sont totalement de chorologie Afro-américaine (Tableau 4).

Diversité

Les valeurs des indices de diversité obtenues du peuplement sont de 1,14 bits pour l'indice de Shannon, de 0,57 bits pour l'indice d'équitabilité de Pielou et de 0,51 bits pour l'indice de Simpson (Tableau 5).

Paramètres structuraux et stock en carbone du peuplement

Les résultats des paramètres dendrométriques du peuplement révèlent une densité réelle moyenne de 2219,3 individus/ha. Le diamètre, critère important d'appréciation des caractéristiques d'un peuplement, est en moyenne de 5,5 cm, quant à la hauteur une moyenne de 6,6m est obtenue. Concernant la surface terrière, elle est en moyenne de 5,6 m²/ha. Les valeurs de biomasse obtenues de ce peuplement sont en moyenne de 49,4 TMS.ha⁻¹ dont 40,3 TMS.ha⁻¹ pour la biomasse aérienne et 9,1 TMS.ha⁻¹ pour la biomasse souterraine. En termes de carbone, cette quantité de biomasse correspond à un stock moyen de 24,7 TC.ha⁻¹ dont 20,1 TC.ha⁻¹ pour la strate épigée et 4,6 TC.ha⁻¹ pour la strate hypogée (Tableau 6).

Répartition du carbone en fonction des espèces et des familles

En fonction des espèces *Rhizophora racemosa* enregistre le plus important taux en carbone séquestré (66,6%), suivie par ordre décroissant de : *Rhizophora mangle* (32,1%), *Avicennia africana* (1,3%) et *Conocarpus erectus* (0,02%) (Figure 2).

Concernant la répartition du carbone en fonction des familles, les Rhizophoraceae, à elles seules renferment 98,7% des stocks en carbone du peuplement. Pour les autres familles, des taux de 1,3% et de 0,02% sont obtenus respectivement pour les Verbernaceae et les Combretaceae (Figure 3).

Répartition du carbone en fonction des classes de diamètre

Les résultats de la Figure 4a ci-dessous donnent un aperçu global de la structure en diamètre du peuplement. L'analyse montre une concentration des individus dans les jeunes sujets dont 63,5% dans la classe de diamètre]3-5 cm [et 31,5% dans celle de]5-10 cm[, soit près de 95% de l'ensemble des individus du peuplement. La surimposition à cette structure de la courbe polynomiale d'ordre six donne une allure en forme de « J

renversé » qui est caractéristique d'un peuplement marqué une prédominance des individus jeunes ou de faible diamètre. L'analyse de la distribution du carbone dans ces différentes classes de diamètre a permis de voir que l'essentiel du carbone se trouve chez les individus jeunes de diamètre inférieur à 10cm qui regroupent 68,7% du stock en carbone avec pour classe modale la classe de diamètre]5-10 cm[, (Figure 4).

Corrélation entre le stock de carbone et certains paramètres dendrométriques

Pour connaître le rapport entre le stock de carbone, la richesse spécifique et certains paramètres dendrométriques tels que la surface terrière, la densité réelle et l'abondance en individus, des tests de corrélation ont été effectués en fonction des placettes (Figure 5). A ce propos, une corrélation positive ($R= 0,98$) proche de 1 est

observée entre le stock de carbone et la surface terrière. Pour les autres paramètres, les corrélations obtenues pour les rapports : stock de carbone - densité réelle ($R= 0,32$), stock de carbone – abondance et stock de carbone – richesse spécifique ($R= 0,38$) restent faibles, voire insignifiants car proches de zéro (Figure 5).

La valeur économique du carbone

La Valeur écologique moyenne du stock de carbone obtenue du peuplement ($24,7 90,7 \text{ tCO}_2.\text{ha}^{-1}$, soit $90,7 \text{ tCO}_2.\text{ha}^{-1}$) est estimée à $447.806,6 \text{ F.CFA/ha}$, soit $688,9 \text{ €/tCO}_2/\text{ha}$, pour une équivalence en prix moyen de vente en crédit carbone de $7,6 \text{ €/TCO}_2$. L'extrapolation de cette valeur sur la superficie totale de la mangrove (5324ha) donne un montant global de $2.384.119.463 \text{ F.CFA}$, soit $3.667.876,1 \text{ €}$ (Tableau7).

Tableau 2 : Liste des espèces recensées avec leur fréquence et leurs types biologique et phytogéographique.

Famille	Genre	Espèces	T. Ph	T. B	FR %
Rhizophoraceae	Rhizophora	<i>Rhizophora mangle</i>	Aa	McPh	50
		<i>Rhizophora racemosa</i>	Aa	MsPh	32,4
Verbenaceae	Avicennia	<i>Avicennia africana</i>	Aa	McPh	16,2
Combretaceae	Conocarpus	<i>Conocarpus erectus</i>	Aa	McPh	1,47

McPh (Microphanérophytes) ; MsPh (Mésophanérophytes) ; Aa (Afro-américaine) ; Fr (Fréquence) ; T.Ph (Types Phytogéographique) ; T.B (Types Biologiques)

Tableau 3 : Indice de valeur d'importance écologique.

Espèce	FR %	Densité %	Dominance %	IVI %
<i>Rhizophora mangle</i>	50,0	45,0	33,8	42,9
<i>Rhizophora racemoza</i>	32,4	44,9	64,2	47,2
<i>Avicienna africana</i>	16,2	8,0	2,0	8,7
<i>Conocarpus erectus</i>	1,5	2,1	0,0	1,2
Total	100	100	100	100

Fr (Fréquence) ; IVI (Indice de Valeur d'Importance)

Tableau 4 : Types biologiques et phytogéographiques.

Types biologiques	Nombre d'espèces %	Abondance en individus %	Types phytogéographiques		Nombre d'espèces %	Abondance en individus %
			Distribution			
Phanérophytes	Microphanérophytes (McPh)	75	62	Pal	–	–
	Mésophanérophytes (MsPh)	25	38,02	ELD	Pan	–
	Nanophanérophytes (NnPh)	–	–		Aa	100
Total	100	100	Total		100	100

ELD (Elément à large distribution) ; Pal (Paléotropicale) ; Pan (Pantropicale) ; Aa (Afro-américaine)

Tableau 5 : Indice de diversité spécifique.

Indices de diversité	Valeur
I. Shannon	1,14
E. Pielou	0,57
I. Simpson	0,51

Tableau 6 : Paramètres dendrométriques et stock en carbone du peuplement.

Paramètre dendrométrique et stock de carbone du peuplement	Valeur moyenne	
Densité réelle moyenne (individus/ha)	2219,3	
Diamètre moyen (cm)	5,5	
Surface terrière moyenne (m ² /ha)	5,6	
Hauteur moyenne	6,6	
Biomasse moyenne (TMS.ha ⁻¹)	AGB	40,3
	BGB	9,1
	Total	49,4
Stock de carbone moyen (TC.ha ⁻¹)	AGB	20,1
	BGB	4,6
	Total	24,7

AGB: Above Ground Biomass ; BGB : Below Ground Biomass

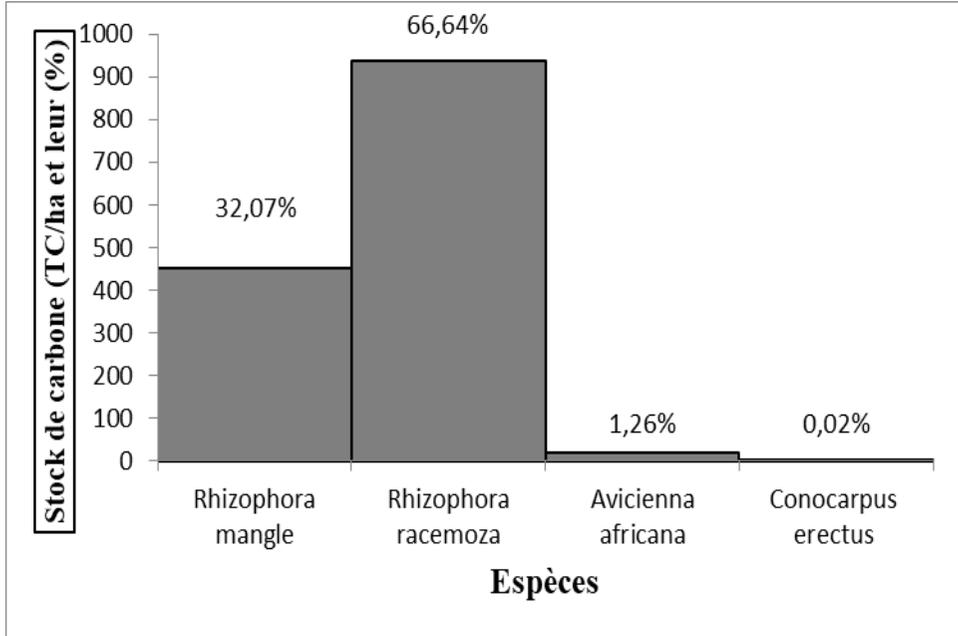


Figure 2 : Stock de carbone en fonction des espèces et leur pourcentage.

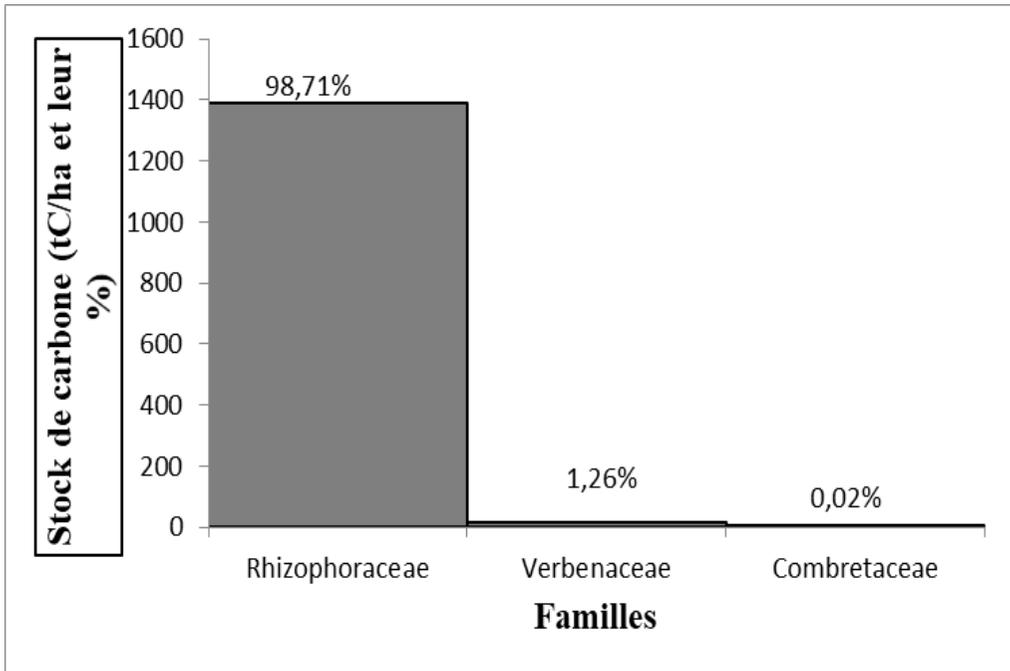


Figure 3 : Stock de carbone en fonction des familles et leur pourcentage.

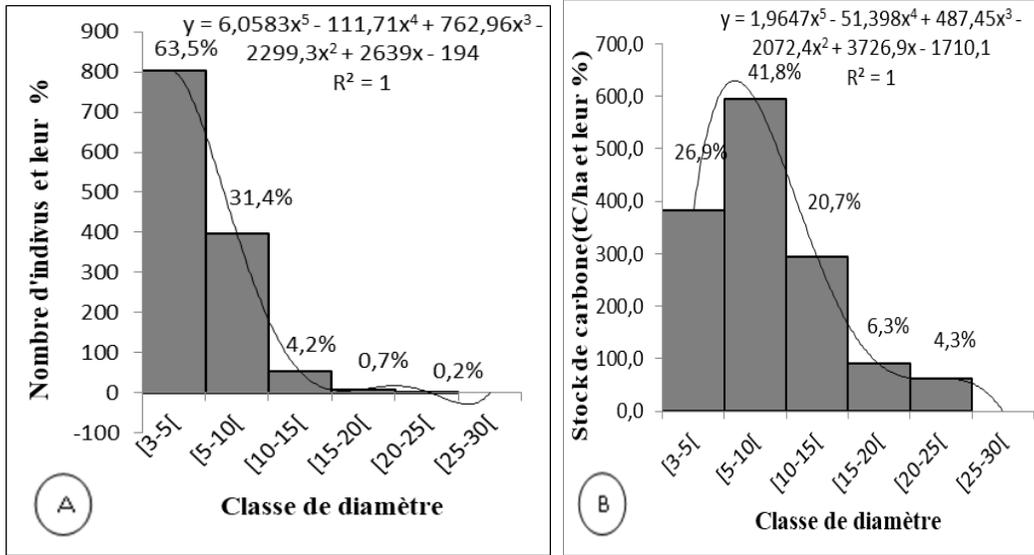


Figure 4 : A) Répartition des individus en classe de diamètre ; B) Répartition du stock de carbone par classe de diamètre.

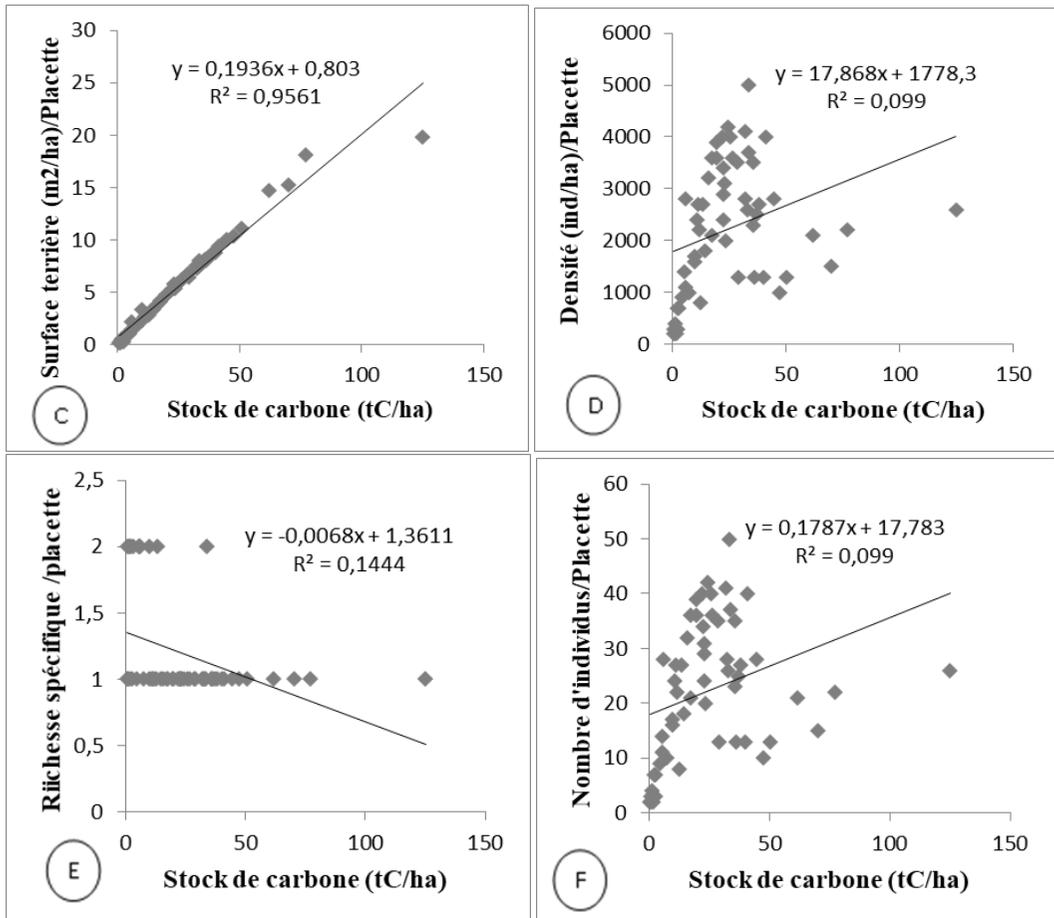


Figure 5 : corrélation entre le stock de carbone, la richesse spécifique (E) et les paramètres de surface terrière (C), de densité (D) et l'abondance (F).

Tableau 7 : Valeur économique du stock de carbone piégé dans le peuplement ligneux de la mangrove.

Biotope	Superficie	Stock de carbone (TC/ha)	Equivalent en TCO ₂ .ha ⁻¹	Total TCO ₂	Valeur économique (€/CO ₂ /ha)	Valeur économique (CFA/CO ₂ /ha)	Valeur économique Total (CFA)
Mangrove	5.324	24,7	90,7	482.615,3	688,9	447.806,06	2.384.119.463

DISCUSSION

Les inventaires floristiques effectués dans la mangrove de la zone d'étude ont confirmé l'existence de 4 espèces appartenant à 3 familles. Cette composition floristique reste inférieure à celle du nombre d'espèces obtenue par plusieurs auteurs (Ndour, 2005 ; Andrieu, 2008) dans l'estuaire du Saloum. En effet, mis à part les 4 espèces inventoriées, cet ensemble écosystémique de la zone d'étude renferme également d'autres espèces telles que : *Rhizophora harionnii* et *Laguncularia racemosa* qui appartiennent respectivement aux Rhizophoraceae et Combretaceae. Ces espèces recensées forment en fonction des conditions hydrodynamiques et des caractéristiques anatomiques et physiologiques propres aux diaspores de chaque espèce, des peuplements quasi-spécifiques, parallèles à la côte en allant des cours d'eau vers la terre ferme, avec des zones de rencontre notamment entre *Rhizophora racemosa* et *Rhizophora mangle* et entre cette dernière et *Avicennia africana*. Toutefois, malgré, ces caractéristiques, *Rhizophora mangle*, demeure l'espèce la plus fréquente et la plus abondante. Ce constat a aussi été fait dans la zone par Ndour (2005) qui note également sa prédominance dans d'autres espaces du pays telles que : Jaol, Fadiouth et le long du fleuve Casamance. Cette situation, eu égard à la répartition des placettes d'inventaire, pourrait s'expliquer par l'importance de son aire de répartition par rapport aux autres espèces telles que *Rhizophora racemosa* qui se confine aux abords des cours d'eau ou d'*Avicennia africana* qui se situe en arrière-plan. Elle pourrait aussi s'expliquer par leur propagule

qui se fixe facilement sur la vase en marée basse et lorsqu'elle ne se fixe pas, en marée haute leur flottaison les amène à se répandre vers d'autres vasières, favorables ou non à leur développement, ce qui stimule leur développement. C'est seulement, en termes de dominance, du fait des caractéristiques génétiques différentes que *Rhizophora racemosa* est le plus important, d'où sa prédominance en indice d'importance écologique. Néanmoins, c'est le genre *Rhizophora* associé à *Avicennia* qui constituent le peuplement ligneux le plus caractéristique de la mangrove de la zone d'étude.

L'appréciation de la proportion des types biologiques montre l'importance des microphanérophytes, ce qui est caractéristique d'un peuplement à dominante arbustive (Mahamane et al., 2007). L'analyse phytogéographique des espèces qui sont d'affinité afro-américaine montre, quant à elle, leur appartenance à la mangrove occidentale qui se développe sur les littoraux Est et Ouest de l'Atlantique et le littoral Est Américain du Pacifique. Les mangroves de cet ensemble, contrairement à celles orientales, sont caractérisées par une pauvreté floristique, ce qui se traduit ici par les faibles indices de diversité spécifique obtenus. En effet, les mangroves indo-pacifiques comptent plus d'une soixantaine d'espèces dont les neuf sont présents en Afrique de l'Est alors que, les mangroves occidentales (de l'Amérique et d'Afrique) ne comptent que dix espèces dont six en Afrique de l'Ouest. Cette forte diversité des premières pourrait s'expliquer selon Boaden et Seed (1996 in Andrieu, 2008), par la possibilité de spéciation rendue possible

grâce aux nombreuses îles du domaine indopacifique. Cependant, pour Tomlinson (1986 in Andrieu, 2008), cela relèverait plutôt de l'importance des facteurs écologiques. En effet, en prenant, l'exemple de la côte Ouest Australienne, il met en évidence l'aspect selon laquelle, l'ensemble des zones où les conditions écologiques sont contraignantes, comme les mangroves des régions plus froides ou plus arides, sont celles qui connaissent des cortèges floristiques les plus restreints.

Les paramètres dendrométriques du peuplement donnent pour la densité une valeur moyenne de 2219,3 individus/ha. Cette densité se trouve dans l'intervalle de densité allant de 1500 à 3600 tiges à l'hectare, obtenue par Ndour (2005) dans l'estuaire du Saloum. Malgré, cette forte densité, en raison du caractère arbustif de la végétation qui se perçoit surtout au niveau du diamètre moyen obtenue (5,5cm), la surface terrière moyenne obtenue ($5,6\text{m}^2\cdot\text{ha}^{-1}$) reste semblable, d'après les critères d'appréciation de Plat J. et François D., (2007) à celle des forêts peu denses. Elle est aussi inférieure, à la valeur trouvée en Guinée dans l'estuaire de Rio Nuñez ($22\text{m}^2\cdot\text{ha}^{-1}$) par Bertrand F., (1993 in Leciak, 2006). Cette situation serait probablement liée à la décroissance latitudinale de la productivité et donc du climat dont le bilan hydrique est déficitaire au Nord et excédentaire au sud. Le stock de carbone moyen piégé dans ce peuplement ($24,7\text{TC}\cdot\text{ha}^{-1}$) reste supérieur à ceux de certains écosystèmes terrestres dont ceux de la savane arbustive ($19,14\text{TC}\cdot\text{ha}^{-1}$) de la forêt classée de Patako (Sambou S. 2017) et des savanes arbustives et/ou arborées des forêts classées de Bala, Ouli et Wélor dont les stocks vont de 4 à $20,3\text{TC}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Mbow, 2009), d'où leur importance dans les stratégies de lutte contre le réchauffement le climatique. Cependant, il est moins important par rapport à la valeur moyenne de carbone de ($31,2\text{TC}\cdot\text{ha}^{-1}$), estimée par Woomer et al. (2004) sur les mangroves du Sénégal. Il est aussi inférieur à la valeur moyenne de carbone obtenue ($185\text{TC}\cdot\text{ha}^{-1}$) par Ajonina et al. (2014) dans l'estuaire ouest de Ghana ainsi

que de celle observée en Inde ($74,18\text{TC}\cdot\text{ha}^{-1}$) par Agarwal et al. (2017) dans Lothian Wild life sanctuary of indian Sundarbans. Ces différences, au-delà du gradient latitudinal et des pressions anthropiques pourrait par ailleurs s'expliquer dans la zone par d'autres facteurs tels que les fortes aridités et salinités des sols qui peuvent être à l'origine des faibles performances. En effet, Tazo Fopi (2021), dans son étude sur la régénération de la mangrove de l'estuaire du Cameroun, a noté l'existence de corrélation positive entre le pH du sol et les paramètres dendrométriques, rejoignant ainsi l'hypothèse de Boyer (1970) selon laquelle la forte acidité limite l'activité des bactéries qui minéralise la matière organique. Inversement, des pH élevés ou basiques accélèrent celle-ci et il s'ensuit la libération de l'azote disponible pour les plants. C'est dans cette même optique que Ndour (2013) indiquait l'influence de l'abondance de certains éléments chimiques du sol sur le bon ou mauvais développement végétatif chez les palétuviers.

Au sein du peuplement, le potentiel en carbone est détenu à plus des deux-tiers (66,6%) par *Rhizophora racemosa*, en raison certainement de sa dominance. En effet, plusieurs auteurs ont montré l'importance de la densité du bois et des grands arbres sur dominance en carbone d'une espèce ou d'un peuplement par rapport à d'autres avec des arbres de dimension et de densité de bois moindres (Chave et al., 2005 ; Mbow, 2009 ; Ouedraogo et al., 2019). Au niveau des familles aussi, les Rhizophoraceae enregistrent 98,7% du potentiel en carbone, car ; ayant les espèces les plus abondantes et dominantes.

La distribution des individus de ce peuplement en classe de diamètre, donne une structure en en forme de « L ou J renversé » caractéristique d'un peuplement jeune et stable avec un fort potentiel de régénération. En effet, le pourcentage élevé des individus de petit diamètre assure l'avenir du peuplement, tandis que les individus de gros diamètre résultent de la sélection naturelle et sont des semenciers qui assurent la pérennité du

peuplement (Abdourhamane et al., 2013). Par contre, cette distribution pourrait cacher selon Sambou (2004), un processus de dégradation qui affecte la population de certaines espèces notamment, celle à fort usage socio-économique. Pour le cas de la mangrove de la zone d'étude, la faible proportion des individus de grand diamètre est révélatrice des nombreuses pressions anthropiques que cette végétation subit (exploitations de bois d'œuvre, de bois de service, de bois énergie, etc.). La répartition du carbone au sein de cette structure, montre sa concentration sur les jeunes individus de diamètre < 10 cm qui renferme 68,7% du stock de carbone. Cet aspect est révélateur de la variation du carbone en fonction de l'abondance mais également de la dominance car ; la classe de Diamètre de] 5-10 cm[bien que représentant 31% des individus par rapport à la classe de Diamètre de] 3-5 cm [qui est la plus abondante avec 64% des individus, demeure la classe modale en termes de concentration en stock de carbone. Ce rapport entre le carbone et la taille des individus est bien illustré par la corrélation obtenue entre le stock en carbone et la surface terrière, qui dépend ici, d'après les résultats, à 98% de ce dernier. Cependant, il n'existe pas, en fonction des placettes, de relation directe entre le stock de carbone, la richesse spécifique et les paramètres relatifs à la densité et l'abondance en individus. En effet, une bonne richesse spécifique tout comme une abondance en individus ne veut pas forcément dire un stock important en carbone ; tout dépend de la densité en bois des espèces et de leur abondance et dominance.

La conversion économique de ce potentiel en carbone, telle que préconisée par le marché carbone dans le cadre des mécanismes REDD+ pour un prix moyen de 7,6 €/T eq CO₂, a donné une valeur écologique moyenne de 447.806,06 F CFA, soit environ 688,9 € à l'hectare. Son extrapolation à l'échelle de la superficie totale de la mangrove de l'arrondissement donne une somme globale de 2.384.119.463 F.CFA soit 3.667.876,1 €. La valorisation monétaire

de ce service écosystémique de la mangrove grâce au marché des droits d'émission pourrait se traduire à terme par le développement d'activité économique autour de cette fonction. Cela pourrait être une source de revenus supplémentaires pour la population qui dépend principalement de l'agriculture sous pluie et de la pêche pour leur survie quotidienne. Elle pourrait aussi servir de source de motivation aux activités de conservation de la mangrove ou encore être utilisée comme source de financement des activités allant dans le sens de la préservation de la biodiversité. C'est le cas par exemple des activités de surveillance de la mangrove contre les exploitations anarchiques ou celle du renforcement de son potentiel par les activités de reboisement ou encore celle liée au développement d'alternative à l'activité de collecte d'huitres sur les racines des arbres par le développement de l'ostréiculture ou de celle de l'exploitation du bois pour la fabrication de foyers améliorés. En effet, les travaux effectués par la FAO (2014) ont montré la contribution des activités de reboisement à la séquestration du carbone atmosphérique avec 18,4 TCO₂/ha et 31,5 TCO₂/ha respectivement des plantations d'*Avicennia africana* et de *Rhizophora spp.*, à Joal et de 14,9 TCO₂/ha et 34,7 TCO₂/ha respectivement de celles d'*Avicennia africana* et *Rhizophora spp.*, à Djirnda. Or, toutes ces activités de maintien ou de renforcement des services écosystémiques de la mangrove nécessitent des dépenses. C'est dans ce sens que les bénéfices obtenus dans le cadre des crédits carbones, pourraient être considérés comme des modes de compensation des dépenses et des efforts fournis dans le but d'éviter les dommages à la mangrove.

Conclusion

Cette étude évalue les potentialités de la mangrove locale dans la lutte contre le réchauffement climatique et sa valeur économique dans le cadre des crédits carbone. Au terme de ce travail les inventaires floristiques effectués ont révélé l'existence d'une flore caractérisée par une faible

diversité spécifique à dominante arbustive en raison de l'importance des microphanérophytes et de type chorologie afro-américaine. Les paramètres dendrométriques mesurés ont montré, malgré l'importance de la forte densité, le caractère jeune du peuplement au vu du diamètre moyen (5,5 cm) et de la hauteur moyenne (6,6 m) obtenus ; ce qui pourrait aussi être le fait des conditions pédoclimatiques difficiles, ainsi que la dépendance en bois de la population locale. Le stock moyen de carbone piégé dans ce peuplement (24,7 TC.ha⁻¹) reste supérieur à celui de certaines formations de savane en terre ferme, notamment arbustive et/ou arbustive à arborée. Il s'avère donc impératif dans les stratégies nationales de lutte contre le changement climatique de promouvoir leur conservation et leur amélioration afin de maintenir leur puits de carbone. De ce fait au vu de l'importance de leur stockage en carbone et de leur valeur économique (2.384.119.463 F CFA), cela pourrait faciliter l'accès au marché du carbone et constituer en retour une source de revenus supplémentaires pour la population locale.

CONFLIT D'INTERETS

Les auteurs déclarent qu'ils n'ont aucun conflit d'intérêts.

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

DG a collecté, traité et analysé les données puis rédigé l'article. NPM, SDB et ADTB, ont contribué à la lecture et à la correction de l'article. AG et AN ont encadré, supervisé les travaux et contribué à l'orientation de la recherche.

REMERCIEMENTS

L'auteur exprime sa gratitude à la population de l'Arrondissement Djilor, notamment les chefs de village des villages où il a eu à séjourner, pour leur accueil et les guides de terrain mis à sa disposition. Il remercie aussi toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce travail.

REFERENCES

- Abdourhamane H, Morou B, Rabiou H, Mahamane A. 2013. Caractéristiques floristiques, diversité et structure de la végétation ligneuse dans le Centre-Sud du Niger : cas du complexe des forêts classées de Dan kada Dodo-Dan Gado. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 7(3): 1048-1068. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v7i3.13>.
- Agarwal S, Islam S, Zaman S, Abhijit M. 2017. Carbon stock in the mangrove vegetation of Lothian wild life sanctuary of indian Sundarbans : implication for climate change Mitigation. *GJESR*, 2348-8034. DOI: 10.5281/zenodo.1002058.
- Alongi DM. 2011. Carbon payments for mangrove conservation: ecosystem constraints and uncertainties of sequestration potential. United Kingdom. DOI: 10.1016/J.ENVSCI.2011.02.004.
- Andrieu J. 2008. Dynamique des paysages dans les régions septentrionales des Rivières du Sud (Sénégal, Gambie, Guinée-Bissau). Thèse de Doctorat en Géographie, Université Paris Diderot – Paris 7, Ecole Doctorale : EESC. 498 pages.
- Angelsen A, Brockhaus M, Sunderlin WD, Verchot LV. 2013. *Analyse de la REDD+ : les Enjeux et les Choix*. Bogor, Indonésie : CIFOR.
- ANSD (Agence Nationale de Statistique et de Démographie). 2014. Recensement Général de la Population et de l'Habitat, de l'Agriculture et de l'Elevage (RGPHAE) 2013, Rapport provisoire, 36 P.
- Arbonnier M. 2009. Arbres, arbustes et lianes des zones sèches de l'Afrique de l'Ouest. Ed. Quae. Paris ; 577 p.
- Berhaut J. 1967. *Flore du Sénégal* (2ème Edn). Clairafrique : Dakar ; 485p.
- Bertrand Frédéric. 1993. Contribution à l'étude de l'environnement et de la dynamique des mangroves de Guinée :

- données de terrain et apport de la télédétection. Thèse de Doctorat, édition ORSTOM, 195p.
- Boaden PJS, Seed R. 1996. *An Introduction to Coastal Ecology*. Blackie Academic and Professional : London; 224 p.
- Boer GJ, Flato G, Ramsden D. 2000. A transient climate change simulation with greenhouse gas and aerosol forcing : Projected climate to the twenty-first century. *Climate Dynamics*, **16**(6) : 427-450.
- Boko M, Niang I, Nyong A, Vogel C, Githeko A, Medany M, Osman-Elasha B, Tabo R, Yanda P. 2007. Climate Change: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In *Africa*, Parry ML, Canziani OF, Palutikof JP, van der Linden PJ, Hanson CE (Eds). Cambridge University Press: Cambridge; 433-467.
- Brown S. 1997. Estimating biomass and biomass changes of tropical forests: A primer. FAO Forestry Paper, Rome, Italy.
- Cairns AM, Helmer HEBS, Baumgardner AG. 1997. Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia*, **111**: 1-11. DOI: <https://doi.org/10.1007/s004420050201>
- Chave J, Andalo C, Brown S, Cairns MA, Chambers JQ, Eamus D, Fölster H, Fromard F, Higuchi N, Kira T, Lescure JP, Nelson BW, Ogawa H, Puig H, Riera B, Yamakura, T. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, **145**: 87-99.
- Chenost C, Gardette Y, Grondard N, Perrier M, Demenois J, Wemaëre M. 2010. Les marchés du carbone forestier, Programme des Nations-Unies pour l'Environnement, Nairobi, 173 p.
- Diallo LD, Ndour N, Dasylya M. 2021. Analyse de la flore et de la végétation des plantations de mangrove de la Commune de Coubalan (Casamance, Sénégal). *Am. J. Innov. Res. Appl. Sci*, **12**(1): 25-34.
- Doyen A, Agboba C. 1985. *La Mangrove à Usages Multiples de l'Estuaire du Saloum (Sénégal)*. Unesco-MAB-COMAR: Paris.
- Folega F, Rakotondrasoa MA, Wala K, Woegan YA, Kanda M, Pereki H, Polo AA, Batawila K, Akpagana K. 2017. Écologie et dynamique spatio-temporelle des mangroves au Togo. *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Volume 17 numéro 3 | décembre 2017, mis en ligne le 15 décembre 2017, consulté le 03 juillet 2022. URL : <http://journals.openedition.org/vertigo/18791> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/vertigo.18791>
- Gaye DB. 2009. Caractérisation, des plantations de *Rhizophora* spp, et essai de quantification du carbone séquestré par les reboisements : cas du village de Darssilamé Sérère (CR de Toubacouta, région de Fatick). Mémoire de Master recherche foresterie et environnement ENSA (Thiès, Sénégal), 50 pages.
- GIEC. 2007. Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Équipe de rédaction principale, Pachauri, R. K. et Reisinger, A. (publié sous la direction de ~)]. GIEC, Suisse, 103 p.
- Leciak E. 2006. De l'espèce au territoire : la gestion locale de la biodiversité en Guinée Maritime. Thèse de doctorat à l'Université Michel de Montaigne - Bordeaux III, UFR de Géographie-aménagement. 358 pages.

- Leopold A. 2012. Dynamique du carbone au sein des mangroves - Quantification spatio-temporelle des flux de CO₂ aux interfaces sol-air et eau-air. Thèse de Doctorat, Ecole Doctorale du Pacifique ED469, Université de la Nouvelle-Calédonie. 172 p.
- Mbow C. 2009. Potentiel et dynamique des stocks de carbone des savanes soudanaises et soudano-guinéennes du Sénégal. Thèse de Doctorat d'Etat ès Sciences. Institut des Sciences de l'Environnement, Université Cheikh Anta Diop, Dakar, 319 p.
- Moussa M, Mahamane L, Saadou M. 2015. Caractérisation des peuplements ligneux des parcs à *Faidherbia albida* (Del) A. Chev. et à *Prosopis africana* (Guill., Perrot et Rich.) Taub. du Centre-Sud Nigérien. *Journal of Applied Biosciences*, **94**(1): 8890-8906. DOI: <https://doi.org/10.4314/jab.v94i1.6>
- Ndiaye P, Benga A. 2007. Végétation et faune. In *Les Atlas de l'Afrique*. Jeune Afrique (ed) : Sénégal, Paris ; 70-71 p.
- Ndour N, Sambou B, Dieng DS. 2013. Production de litière de la mangrove du Parc National du Delta du Saloum (Sénégal). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **7**(6): 2349-2369. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v7i6.15>
- Ndour N. 2005. Caractérisation et étude de la dynamique des peuplements de mangrove de la réserve de biosphère du Delta du Saloum (République du Sénégal). Thèse de troisième cycle en sciences de l'environnement. ISE, FST, UCAD. 170 p.
- Ngom D, Fall T, Sarr O, Diatta S, Akpo LE. 2013. Caractéristiques écologiques du peuplement ligneux de la réserve de biosphère du Ferlo (Nord Sénégal). *J. Appl. Biosci.*, **65**: 5008-5023. DOI: <https://doi.org/10.4314/jab.v65i0.89644>
- Ouedraogo WO, Gomgnimbou PKA, Santi S, Ilboudo D, Togyeni 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): 3276-3288. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v13i7.24>
- Plat J, François D. 2007. La surface terrière : méthodes de mesure et intérêts. RDV technique n° 18-ONF. 16 p.
- Rakotomavo A. 2010. État des lieux et dynamique de la mangrove du delta de Mangoky (sud-ouest de Madagascar). Thèse de doctorat ès sciences agronomiques, École supérieure des sciences agronomiques, Université d'Antananarivo, 149 p.
- Raunkiaer C. 1934. *The life Forms of Plants and Statistical Plant Geography*. Oxford University Press: Oxford, Royaume-Uni; 632p.
- Rondeux J. 1999. *La Mesure des Arbres et des Peuplements Forestiers*. Les Presses Agronomiques : Gembloux ; 521 p.
- Sagna P, Leroux M. 2000. Le climat du Sénégal. In *Les Atlas de l'Afrique*. Jeune Afrique (ed) : Sénégal, Paris ; 16-19 p.
- Sambou S. 2017 : Dynamique de la végétation et du stock de carbone de la forêt classée de Patako et de sa périphérie (Centre-ouest-Sénégal). Thèse de Doctorat, ISE, FST, UCAD. 155 pages.
- Sambou B. 2004. Evaluation de l'Etat, de la dynamique et des tendances évolutives de la flore et de la végétation ligneuses dans les domaines soudanien et sub-guinéen au Sénégal. Thèse de Doctorat d'Etat ès Sciences Naturelles, UCAD-Dakar, 210 p.
- Shannon CE. 1948. A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*, **27**: 379-423.
- Sinsin B. 2001. Formes de vie et diversité spécifique des associations de forêts claires du nord du Bénin. *Systematic*

- Geographic of Plant*, **71**: 873-888. DOI: <https://doi.org/10.2307/3668725>
- Tazo Fopi RD, Ngankam Tchamba M, Nwutih Ajonina G. 2021. Caractérisation physico-chimique et dendrométrie dans les traitements de régénération de mangrove de l'Estuaire du Cameroun. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **15**(6): 2701-2714. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v15i6.34>
- Tomlinson PB. 1986. *The Botany of Mangroves*. Tropical Biology Series: Cambridge; 405p.
- Vroh Bi TA, Adou YCY, Kouame D, Kpangui KB, Gone Bi ZB, N'guessan E. 2015. Trees species diversity and above ground biomass in three tropical forest types in Azaguié area, Côte d'Ivoire. *Global Advanced Research Journal of Plant Science (GARJPS)*, **1**(2): 030-038.
- Walker S, Pearson T, Harris N, Sean G, Silvia P, Felipe C, Sandra B. 2011. Procédures Opérationnelles Standards pour la Mesure du Carbone Terrestre. Document de Winrock international, 76p.
- White F. 1986. *La végétation de l'Afrique*. Mémoire accompagnant la carte de végétation de l'Afrique. Unesco/AETFAT/UNSO.
- Woomer PL, Touré A, Sall M. 2004. Carbon Stocks in Senegal's Sahel Transition Zone. *Journal of Arid Environments*, **59**: 499-510.
- Zanne AE, Lopez-Gonzalez G, Coomes DA, Ilic J, Jansen S, Lewis SL, Miller RB, Swenson NG, Wiemann MC, Chave J. 2009. Global wood density database. Dryad. Identifier: <<http://hdl.handle.net/10255/dryad235>>.