

Université Assane Seck de Ziguinchor



UFR SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Mémoire de Master

Spécialité : Aménagement et Gestion Durable des Ecosystèmes Forestiers et Agroforestiers
(AGDEFA)

Caractéristiques et stock de carbone de la végétation ligneuse des systèmes d'utilisation des terres de la commune de Coumbacara (Kolda, Sénégal).

Présenté par

Mme HASSANATOU DIALLO

Encadrants :

Pr Ismaïla COLY, Maître de Conférences (UASZ)

Dr Mamadou Ousseynou LY, Chargé de Recherches (CRZ, Kolda/ISRA)

Dr Mayécor DIOUF, Chargé de Recherches (CRZ, Dahra/ISRA)

Soutenu publiquement le 09 novembre 2022 devant le jury composé de :

Président :	M. Moamed Mahamoud CHARAHABIL	Maître de Conférences	UFR-ST / UASZ
Membres :	M. Aly DIALLO	Maître Assistant	UFR-ST / UASZ
	M. Mamadou Ousseynou. LY	Chargé de Recherches	ISRA/CRZ Kolda
	M. Mayécor DIOUF	Chargé de Recherches	ISRA/CRZ Dahra
	M. Ismaïla COLY	Maître de Conférences	UFR-ST / UASZ

Année Universitaire 2020-2021

DEDICACES

Je dédie ce travail

A la mémoire de ma grand Mère **Hassatou SY**,

A mon feu ami **Abdourahmane SECK**, que la terre leur soit légère !!!

A mes parents **Fatoumata Binta DIALLO** et **Amadou DIALLO**, qui ont œuvré pour ma réussite, de par leur amour, soutien et précieux conseils. Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai pour vous.

A mon Vénéré bien aimé guide religieux **Sangue Aboubacrine Barham NDIAYE** pour son amour, son éducation et ses précieux conseils.

A mes grands-parents **Mamadou Taifour DIALLO** et **Dieynabou DIALLO** pour leur amour, soutien et leur éducation.

A ma sœur jumelle **Housseynatou DIALLO**, sa fille **Hassatou DIALLO** et son fils **Thierno Amadou Korka DIALLO** pour leur amour, soutien et précieux conseils.

A mon cher époux **Mamadou Abdoulaye BARRY**, je ne saurais exprimer les sentiments que j'éprouve à votre égard. Vous êtes ma force, ma source de motivation, ma joie de vivre et la base de tous mes projets.

A toute la famille **El hadji Mamadou Taifour DIALLO** de Bignona. Merci pour l'amour, le respect, la confiance, les nombreux conseils et encouragements. Je vous serai reconnaissante à jamais.

A ma belle-famille à Bignona, merci de tout cœur pour votre disponibilité, soutien, compréhension, vos encouragements et conseils.

A toute la famille **Abdourahimi DIALLO** de Kolda, pour votre amour inconditionnel, votre soutien ainsi que vos conseils et encouragements tout au long de mes études. Que le Tout Puissant vous rende grâce.

A mes frères et sœurs, mes grands-parents, mes tantes et oncles, mes cousins et cousines, mes neveux, mes nièces et mes ami(e)s, je vous exprime aussi ma profonde gratitude.

REMERCIEMENTS

Je rends grâce à ALLAH le Tout Puissant, Créateur et Maître de Tout l'Univers de m'avoir accordé la santé, le courage, la volonté et la patience qui m'ont permis de réaliser ce travail.

Ce travail n'aurait jamais pu voir le jour sans l'appui technique, moral et financier de plusieurs personnes et institutions. Ainsi, je me fais le plaisir et le devoir de remercier tous ceux qui ont de près ou de loin contribué à l'élaboration de ce mémoire. Qu'ils trouvent ici toute ma reconnaissance et ma gratitude.

Je tiens à remercier le Directeur Général de l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA) pour avoir accepté de m'accueillir en stage au sein de son institut. Mes remerciements vont aussi à l'endroit des autorités de l'Université Assane Seck qui ont fait de moi ce que je suis aujourd'hui en me gratifiant d'une formation de qualité.

Je témoigne ma reconnaissance au Directeur du Centre de Recherches Zootechniques (CRZ) de Kolda, **Dr Younouss CAMARA** et, à travers lui, tout le personnel pour l'appui et les conseils qu'ils nous ont gratifiés.

Je remercie vivement **Dr Mayécor DIOUF**, à la tête d'une équipe plus que dynamique composée de chercheurs, ingénieurs et techniciens. Nous sommes fascinés par vos qualités humaines et scientifiques. Qu'Allah vous bénisse et vous donne longue vie et santé.

Je tiens à témoigner toute ma reconnaissance et ma gratitude à mon Directeur de mémoire, **Pr Ismaila COLY**. J'ai eu le privilège de travailler avec vous depuis la Licence et d'apprécier vos qualités et vos valeurs. Votre sérieux, votre disponibilité et votre sens du devoir m'ont énormément marquée. Vos orientations, vos nombreuses relectures et suggestions allant dans le but d'améliorer la qualité de ce mémoire m'ont été d'une grande utilité.

Je ne trouve pas les mots pour témoigner ma gratitude à **Dr Mamadou Ousseynou LY** pour son encadrement, ses nombreux conseils et ses encouragements qui ont permis à ce travail d'aboutir. Ses capacités scientifiques et ses compétences étaient mon grand support. J'ai été très marquée par sa rigueur scientifique, son amour pour le travail et sa grande disponibilité. Que le bon Dieu vous rétribue.

Je remercie **Dr Aliou FAYE**, Directeur de l'ISRA/CERAAS d'avoir contribué à l'élaboration de la méthodologie et la mise à notre disposition d'un budget pour la prise en charge des activités de terrain et d'une allocation.

Mes remerciements vont aussi à l'endroit des Enseignant-chercheurs du département d'Agroforesterie à savoir **Pr Mohamed M. CHARAHABIL**, **Pr Ngor NDOUR**, **Dr Djibril SARR**, **Pr Siré DIEDHIOU**, **Dr Antoine SAMBOU**, **Dr Aly DIALLO**, **Dr Boubacar CAMARA**, **Dr Joseph Saturnin DIEME**, **Dr Saboury NDIAYE**, **Dr Abdoulaye SOUMARE**, **Dr Oulimata DIATTA** et de tous les docteurs et doctorants du département d'Agroforesterie pour leur grande disponibilité, le soutien technique et moral et la qualité de la formation qu'ils m'ont gratifié.

Je remercie toute l'équipe technique avec qui j'ai eu à partager des moments inoubliables durant tout mon séjour à Kolda. Je veux nommer **M. Abdou Karim KEITA**, **M^{lle} Marie EDBO**, **M^{lle} Joséphine DEMBA**, **M. Thierry Bouna KOITA** et **M^{me} Khadidiatou NDIAYE**. Vos

orientations, encouragements, suggestions et corrections ont été d'un grand apport pour la réalisation de ce travail.

Je remercie particulièrement la population de la Commune de Coumbacara pour sa disponibilité et sa serviabilité et pour m'avoir aidé à traverser des moments difficiles en accordant un grand intérêt à mes travaux de terrain. C'est l'occasion pour moi de remercier **M. Goumbo MBALLO** et **M. Sako GANO** qui ont beaucoup contribué à la traduction des espèces en « Peulh » et à l'identification des espèces sur le terrain.

Mention spéciale à **Dr Mamadou Abdoul Ader DIEDHIOU** et à **Fatoumata Binta SOW**. Je vous dis merci pour votre disponibilité, vos nombreux conseils et encouragements.

A mes camarades de la **9^{ème} promotion** du département d'Agroforesterie, je dis merci pour l'appui, la générosité, la bonne humeur et les encouragements durant toutes ces années.

Une forte pensée à l'endroit de **M. Abdourahimi DIALLO, M. Malal DIALLO, M. Lamarana DIALLO, Mme Ramatoulaye DIALLO** et **Mme Hassatou DIALLO** ainsi que leurs familles à Kolda qui m'ont fait l'honneur de m'héberger durant tout mon séjour à Kolda. Merci du fond du cœur, Qu'**Allah** vous rétribue !!!

A vous mon cher époux **Mamadou Abdoulaye BARRY**,

Ce travail n'aurait jamais pu aboutir sans votre immense soutien. Je ne saurais jamais vous remercier assez de m'avoir motivé et d'avoir cru en moi. Merci du fond du cœur pour votre responsabilité, pour vos bons conseils et vos orientations dans le droit chemin. Soyez puissamment béni par la grâce d'**Allah** le **Tout Puissant**.

TABLE DES MATIERES

DEDICACES	i
REMERCIEMENTS.....	ii
TABLE DES MATIERES	iv
TABLE DES ILLUSTRATIONS	vi
SIGLES ET ABREVIATIONS	vii
RESUME	viii
ABSTRACT.....	ix
Introduction.....	1
CHAPITRE 1 : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....	3
1.1. Généralités sur les systèmes d'utilisation des terres.....	3
1.1.1. Systèmes agroforestiers	3
1.1.2. Système forestier	5
1.2. Changement climatique	6
1.2.1. Causes et conséquences	6
1.2.2. Stratégies d'adaptation et d'atténuation	7
1.3. Séquestration et stockage de carbone (C).....	8
1.4. Potentiel de stockage de carbone dans les systèmes d'utilisation des terres	8
1.5. Equations allométriques	9
1.6. Valorisation économique du stock de carbone	11
CHAPITRE 2 : MATERIEL ET METHODES	13
2.1. Présentation du site d'étude.....	13
2.2. Méthodes utilisées	14
2.2.1. Inventaire floristique	14
2.2.2. Mesure des paramètres dendrométriques	16
2.2.3. Traitement des données	17
2.2.3.1. Evaluation des paramètres structuraux de la végétation ligneuse	17
2.2.3.2. Estimation de la biomasse et du stock de carbone	19
2.2.3.2.1. Détermination de la biomasse aérienne et souterraine des espèces ligneuses ..	19
2.2.3.2.2. Estimation du stock de carbone	20
2.2.3.3. Analyse statistique des données	20
CHAPITRE 3 : RESULTATS.....	21
3.1. Caractéristiques de la végétation ligneuse des systèmes d'utilisation de terres (SUT).21	

3.1.1. Cortège floristique et fréquence de présence des espèces ligneuses dans les SUT	21
3.1.2. Structure démographique du peuplement ligneux des différents SUT	24
3.1.2.1. Structure verticale.....	24
3.1.2.2. Structure horizontale.....	25
3.1.3. Caractéristiques structurales et dendrométriques de la végétation ligneuse des SUT	26
3.1.4. Diversité spécifique de la végétation ligneuse des différents SUT	27
3.1.5. Typologies des espèces en fonction des systèmes d'utilisation des terres	27
3.2. Biomasse et stock de carbone de la végétation ligneuse des SUT.....	29
3.2.1. Estimation de la biomasse aérienne et souterraine de la végétation ligneuse des SUT	29
3.2.2. Estimation du carbone stocké dans la végétation ligneuse des SUT	30
3.2.3. Relation entre les paramètres de stockage du carbone et les SUT	31
CHAPITRE 4 : DISCUSSION.....	32
Conclusion	36
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	37

TABLE DES ILLUSTRATIONS

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Carte de découpage administrative de la commune de Coumbacara.	13
Figure 2 : dispositif des placettes d'inventaire des systèmes d'utilisation des terres, réadapté (Faye et al. (2008)).....	15
Figure 3 : dendromètre Blum Leiss (A) et diagramme de la méthode de mesure de la hauteur (B). ...	16
Figure 4 : distribution des individus du peuplement ligneux par classes de hauteur selon les différents SUT de la commune de Coumbacara	24
Figure 5 : distribution des individus du peuplement ligneux par classes de diamètres selon les différents SUT de la Commune de Coumbacara.....	25
Figure 6 : diagramme de l'Analyse en Composantes principales (ACP) du cercle de corrélation des systèmes d'utilisation des terres (F1= Champs de Case ; F2= Champs de brousse et F3= Forêts).	28
Figure 7 : diagramme de la classification hiérarchiques des espèces sur les composantes principales.	29
Figure 8 : carte de la typologie des SUT sur la base des paramètres de stockage du carbone générée par l'ACP.....	31

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : équations allométriques	19
Tableau 2 : composition floristique et fréquence de présence (F%) des espèces dans les différents SUT.....	22
Tableau 3 : Caractéristiques des paramètres structuraux et dendrométriques de la végétation ligneuse en fonction des systèmes d'utilisation des terres	26
Tableau 4 : variation de la diversité spécifique du peuplement ligneux en fonction des systèmes d'utilisation des terres	27
Tableau 5 : variation des valeurs normalisées de la biomasse aérienne et souterraine de la végétation ligneuse des systèmes d'utilisation des terres.	30
Tableau 6 : variation des valeurs normalisées de Carbone stocké dans la végétation ligneuse des différents systèmes d'utilisation des terres	30

LISTE DES PHOTOS

Photo 1 : parcelles de champs de case « <i>Bambé</i> » (A) ; champs de brousse « <i>Nguéssa</i> » (B) ; forêts « <i>Ladé</i> » (C)	15
Photo 2 : Mesure du diamètre du tronc (DBH) avec un compas forestier (A) et de la circonférence du tronc avec un ruban mètre (B).....	17

SIGLES ET ABREVIATIONS

ACP : Analyse en Composantes Principales

CH₄ : Méthane

COP : Conférence des Parties

CO₂ : Dioxyde de carbone

CHPC : Classification Hiérarchique sur les Composantes Principales

CNUCC : Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques

CRA : Centre de Recherches Agricoles

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'agriculture et l'alimentation

GES : Gaz à effet de serre

Gg : Gigagramme

GIEC : Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat

GMST : Greenwich Mean Sidereal Time

ICRAF : International Center for Research in Agroforestry

IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change

ISRA : Institut Sénégalais de Recherches Agricoles

MEA : Millenium Ecosystem Assaissement

Mg : Mégagramme

N₂O : Protoxyde d'azote

PLD : Plan Local de Développement

REDD : Réduction des émissions provenant du déboisement et de la dégradation des forêts, associées à la gestion durable

SUT : Systèmes d'utilisation des terres

USAID : Agence internationale pour le développement des Etats-Unis

UASZ : Université Assane Seck de Ziguinchor

WAC : World Agroforestry Centre

DTCG : Digital Trading Card Game

RESUME

La dégradation de la forêt provoque une perte de carbone et contribue indirectement au changement climatique. Ainsi, l'objectif de cette étude est d'évaluer la contribution des systèmes d'utilisation des terres de la commune de Coumbacara à l'atténuation du changement climatique à travers une estimation de la diversité ligneuse et de leur stock de carbone. Ainsi, un inventaire de la végétation ligneuse a été réalisé sur 72 placettes de 30 m x 30 m dans les forêts adjacentes aux champs et de 50 m x 50 m dans les champs de case et de brousse. Les mensurations ont porté sur la hauteur totale (m), le diamètre à hauteur de poitrine (DBH) ≥ 10 cm et le diamètre du houppier (m) des individus des espèces ligneuses. En plus de la diversité de cette végétation, les données dendrométriques collectées ont permis d'élaborer la structure de la végétation ligneuse, d'estimer la biomasse aérienne et souterraine ainsi que les stocks de carbone à l'aide des équations allométriques. Dans les forêts adjacentes aux champs, ce sont les *Combretaceae* (61,9%) et les *Mimosaceae* (52,4%) qui dominent. Le peuplement ligneux de ce système d'utilisation des terres a une structure de type exponentiel décroissant avec une densité moyenne de $4,92 \pm 0,39$ pieds/ha. La richesse spécifique moyenne est de $7,85 \pm 3,48$ espèces. Le carbone qui y est stocké s'élève respectivement de $1,57 \pm 0,19$ tC/ha pour la biomasse épigée et de $1,58 \pm 0,57$ tC/ha pour la biomasse hypogée. Au niveau des champs de brousse et des champs de case, les *Anacardiaceae* et les *Malvaceae* sont les plus fréquentes. Ces systèmes agroforestiers ont une structure de type exponentiel décroissant pour les champs de brousse et une structure irrégulière pour les champs de case. La densité moyenne y est de $3,01 \pm 0,57$ pieds/ha (champs de brousse) et de $1,89 \pm 0,65$ pieds /ha (champs de case). Les champs de brousse ont une richesse spécifique de $3,31 \pm 1,82$ contre $1,63 \pm 1,09$ espèces pour les champs de case. En outre, les quantités de carbone stockées dans la biomasse aérienne de ces systèmes sont respectivement de $1,05 \pm 0,3$ tC/ha et $0,99 \pm 0,51$ tC/ha pour les champs de brousse et de case contre $0,51 \pm 0,37$ tC/ha et $0,54 \pm 0,49$ tC/ha pour la biomasse souterraine des ligneux.

Mots clés : diversité, biomasse, Carbone, champs de case, champs de brousse, forêt, Kolda

ABSTRACT

Forest degradation causes carbon loss and indirectly contributes to climate change. Thus, the objective of this study is to assess the contribution of land use systems in the commune of Coumbacara to climate change mitigation through an estimate of woody diversity and their carbon stock. Thus, an inventory of woody vegetation was carried out on 72 plots of 30 m x 30 m in the forests adjacent to the fields and 50 m x 50 m in the hut and bush fields. The measurements related to the total height (**m**), the diameter at breast height (DBH) ≥ 10 cm and the crown diameter (**m**) of individuals of woody species. In addition to the diversity of this vegetation, the dendrometric data collected made it possible to develop the structure of woody vegetation, to estimate aboveground and belowground biomass as well as carbon stocks using allometric equations. In the forests adjacent to the fields, Combretaceae (61.9%) and Mimosaceae (52.4%) dominate. The woody population of this land use system has a decreasing exponential type structure with a specific richness of 7.85 ± 3.48 species and a density of 4.92 ± 0.39 feet/ha. The carbon stored there rises respectively by 1.57 ± 0.19 tC/ha for the aboveground biomass and 1.58 ± 0.57 tC/ha for the belowground biomass. At the level of bush fields and hut fields, Anacardiaceae and Malvaceae are the most frequent. These agroforestry systems have a decreasing exponential type structure for the bush fields and an irregular structure for the hut fields. The bush fields have a species richness of 3.31 ± 1.82 against 1.63 ± 1.09 species for the hut fields. The density there is 3.01 ± 0.57 feet/ha (bush fields) and 1.89 ± 0.65 feet/ha (home fields). In addition, the amounts of carbon stored in the aboveground biomass of these systems are respectively 1.05 ± 0.3 tC/ha and 0.99 ± 0.51 tC/ha for the bush and hut fields against 0.51 ± 0.37 tC/ha and 0.54 ± 0.49 tC/ha for underground woody biomass.

Keywords: diversity, biomass, carbon, forests, hut fields, bush fields, Kolda,.

Introduction

L'atténuation des effets néfastes liés au changement climatique est devenue une urgence mondiale comme en témoigne les multiples conférences et accords sur le climat (Luedeling & Neufeldt, 2012). Malgré cela, le réchauffement climatique est sans équivoque (Ekoungoulou *et al.*, 2014) avec des conséquences sur l'homme et son écosystème. En zone tropicale, depuis 1990, le changement d'usage des sols émet annuellement environ 15 à 25 % de Gaz à Effet de Serre (GES), avec comme principal facteur la déforestation (Angelsen & Rudel, 2013 ; Ahmad *et al.*, 2019).

Au Sénégal, les changements de la couverture végétale se font à un rythme inquiétant. Ainsi en Haute-Casamance, entre 1987 et 2018, ce sont 66 485,5 ha des forêts claires et 36 470,6 ha de la savane boisée ont été déboisés entraînant un accroissement de 71 995,9 ha des zones de culture qui ont augmenté et de 48 711,6 ha de la savane arborée à arbustive (Solly *et al.*, 2020). Ainsi, cette dégradation du couvert végétal, par le biais des phénomènes anthropiques ou naturels, conduit à la libération de carbone dans l'atmosphère (Brown, 2002). En plus de cette source de Gaz à Effet de Serre (GES) liée au changement de couverture, il existe d'autres sources notamment l'agriculture, l'énergie, l'industrie, le transport, le bâtiment et le traitement des déchets entre autres (Folega *et al.*, 2011 ; Solly *et al.*, 2018 ; Kombate *et al.*, 2019 ; Folega *et al.*, 2020).

En effet les écosystèmes terrestres sont menacés et font face aux effets des concentrations de GES notamment la forte variation des précipitations, les inondations, la sécheresse et l'augmentation des températures (Gibbs *et al.*, 2007 ; Diwediga *et al.*, 2017). Ainsi, il s'avère nécessaire de développer des stratégies qui fassent de la forêt, un lieu de stockage de carbone plutôt qu'une source de carbone (Dimobe, 2017). Pour ce faire, le mécanisme de Réduction des Emissions issues de la Déforestation et de la Dégradation des forêts (REDD) fut introduit en 2005 à la onzième Conférence des Parties (COP11) tenue à Montréal et révisé à la COP13 tenue à Bali en 2007. On assista ainsi au passage de REDD à la REDD+, qui vise à réduire les émissions liées à la déforestation et la dégradation des forêts et engage désormais les actions qui contribuent à augmenter les stocks de carbone forestier dans les pays en développement (Angelsen *et al.*, 2013). En effet, les forêts jouent un rôle essentiel dans le bilan global de carbone en réabsorbant près de 30% du CO₂ anthropique total émis (GIEC, 2013).

Aussi pour satisfaire les besoins de la population africaine grandissante en terres arables, l'accent est de plus en plus mis sur la promotion des systèmes agroforestiers qui sont des systèmes diversifiés et écologiquement durables (Saj *et al.*, 2013). Les multiples avantages

qu'ils procurent à l'environnement et aux populations en termes de séquestration de carbone ont fortement influencés sur le choix des axes de recherche dont, la quantification du stock de carbone dans le contexte des changements climatiques (Kumar and Nair, 2011). Les études réalisées par plusieurs auteurs montrent que ce système agroforestier présente un fort potentiel de stockage de carbone par rapport à la monoculture (Kumar and Nair, 2011 ; Diatta, 2015). D'autres auteurs ont ainsi estimé les stocks de carbone dans des parcelles d'application et de diffusion de technologies agroforestières approuvées au Mali (Takimoto et *al.*, 2008) et au Sénégal (Woomer et *al.*, 2004; Tschakert et *al.*, 2004; Liu et *al.*, 2004).

A ces travaux s'ajoutent les études portant sur les estimations de la biomasse forestière et le potentiel de séquestration de carbone des écosystèmes (Feldpausch et *al.*, 2012 ; Fayolle et *al.*, 2013 ; Chave et *al.*, 2014). Cependant, peu d'études se sont intéressées aux capacités de stockage de la végétation ligneuse selon les systèmes d'utilisation des terres.

Il est alors nécessaire et urgent d'évaluer la quantité de la biomasse forestière à travers les différents systèmes d'utilisation des terres afin de disposer d'une base de données fiable qui permettra aux pays africains de mieux optimiser leur accès sur le "crédit carbone" et leur contribution à l'atténuation du changement climatique. C'est dans cette logique que s'inscrit cette étude en vue d'une meilleure connaissance de la contribution des systèmes forestier (forêt claires) et agroforestier (champs de brousse et champs de case) de la commune de Coumbacara à l'atténuation du changement climatique. Plus spécifiquement, il s'agit :

- d'évaluer la diversité de la végétation ligneuse des différents systèmes d'utilisations des terres de la commune de Coumbacara ;
- et d'estimer la biomasse aérienne et souterraine et leur stock de carbone dans les systèmes d'utilisation des terres de la commune de Coumbacara.

Le présent mémoire est composé de quatre (4) chapitres. Le premier chapitre présente l'état des connaissances sur la diversité de la végétation ligneuse et l'estimation de la biomasse aérienne et souterraine ainsi que son stock de carbone. Le deuxième chapitre fait état du matériel et des méthodes utilisées. Le troisième chapitre porte sur les résultats obtenus. En fin la discussion des résultats est déclinée dans le quatrième chapitre dont les conclusions sont suivies de perspectives.

CHAPITRE 1 : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. Généralités sur les systèmes d'utilisation des terres

Un système d'utilisation des terres est un ensemble d'unités d'exploitations caractérisées par une combinaison de sous systèmes de production agricole (culture, élevage, ligneux) à interactions spécifiques opérant dans un environnement biophysique et socio-économique relativement homogène (Djemde, 1999).

1.1.1. Systèmes agroforestiers

La définition de l'agroforesterie officiellement adoptée par le World Agroforestry Centre (WAC) est celui de Nair (1993) qui est l'un des pionniers de l'agroforesterie. Selon cet auteur, « l'agroforesterie consiste en l'association délibérée d'arbres et de cultures végétales et/ou animaux sur une même parcelle sous tout autre forme d'arrangement spatial ou temporel, et dont les interactions (écologiques et/ou économiques) entre les composantes arborées et non arborées sont significatives ». Ainsi l'agroforesterie a pour but d'optimiser les interactions entre les composantes ligneuses et non ligneuses pour assurer une bonne production. Elle vise aussi à assurer le maintien de la fertilité et conserver le sol donc sa durabilité. En effet les ressources nécessaires pour le développement de l'agroforesterie comprennent les ressources matérielles, des sols adaptés, la main d'oeuvre, le financement, et le suivi (Baets et *al.*, 2007). Ainsi, trois critères ont été définis pour distinguer ce qui est ou pas de l'agroforesterie (Gold et *al.*, 2000). Un système agroforestier doit répondre à chacun des trois critères dont intensionnel, intégré et interactif.

- Pour le critère intensionnel, les combinaisons de cultures, arbres et ou d'animaux sont conçues, aménagées ou gérées d'une façon intensionnelle et produisent de multiples produits, services ou bénéfiques, contrairement aux éléments qui peuvent se trouver sur un même espace mais qui sont gérés séparément.
- Quant au critère intégré, les composantes des pratiques agroforestières sont associées fonctionnellement et structurellement dans un seul système intégré qui permet de répondre au besoin des usagers ; cela réfère autant à l'intégration de plusieurs éléments sur un seul espace physique qu'à l'intégration des objectifs de production et environnementaux.
- En fin, pour le critère interactif, il est stipulé que l'agroforesterie manipule et utilise les interactions biophysiques entre les composantes du système afin de récolter de multiples produits et, parallèlement, de fournir des services et des bénéfiques écologiques et environnementaux.

D'après Young (1989), il existe une diversité de systèmes agroforestiers qui répondent à ces critères en zone tempérée. Les plus importants pratiques et aménagements rencontrés sont : la culture en couloir, les haies vives, les brises vents, les cultures sous couvert arboré, etc. Les systèmes agroforestiers assurent ainsi deux fonctions à savoir la fonction de production et la fonction de service. La classification des systèmes agroforestiers se focalise sur la nature des composantes associées, la répartition spatiale et la durée de l'association (Béer et *al.*, 2003). Il existe différents types de systèmes agroforestiers suivant l'association des composantes à savoir :

- le système agrosylvicole qui se définit par l'association des arbres et des cultures pérennes ;
- le système sylvopastorale qui est l'association des arbres et des animaux ;
- le système agrosylvopastorale qui consiste en l'association des arbres, cultures et/ou animaux.

Suivant la répartition des composantes dans le temps et dans l'espace on distingue les systèmes agroforestiers séquentiels et les systèmes agroforestiers simultanés.

Les systèmes agroforestiers sont reconnus comme présentant un potentiel énorme en termes de séquestration de carbone. Ainsi l'IPCC (2000) a estimé que si les 630 Mha de terres dégradées et les pâturages étaient aménagés en agroforesterie, 586 Gg C.an⁻¹ seraient potentiellement séquestrés d'ici 2040. En effet, contrairement, aux pratiques agricoles où le stockage de carbone se fait uniquement dans le sol, les systèmes agroforestiers peuvent stocker du carbone dans la biomasse aérienne, dans la biomasse racinaire ou souterraine et dans le sol. D'après Nair et *al.* (2009a), les stocks de carbone dans la biomasse aérienne des systèmes agroforestiers tropicaux varient de 6 à 172 Mg C.ha⁻¹ et ceux dans la biomasse souterraine (racines grossières) ; de 1 à 20 Mg C.ha⁻¹ avec des types de densités d'arbres très différents suivant les systèmes. Nair et *al.* (2009b) ont également donné des valeurs indicatives de stocks de carbone du sol, et des potentiels de séquestration de carbone pour différents types de systèmes agroforestiers en milieux tropicaux.

❖ Biens et services des systèmes agroforestiers

Selon Daily et *al.* (1997), les services écosystémiques peuvent être définis par « les bénéfices apportés aux sociétés humaines par les écosystèmes ». Pour ce faire, les auteurs du Millenium Ecosystem Assessment (MEA) ont classé les services écosystémiques en quatre grandes

catégories à savoir les services d’approvisionnement, les services de régulation, les services culturels et les services de soutien ou d’entretien (Barnaud et *al.*, 2011; Salles, 2015).

Le service d’approvisionnement donne des produits issus des écosystèmes tels que la nourriture, les médicaments pour la population et le fourrage pour les animaux. Ce service peut être aussi source d’énergie pour les ménages urbain et ruraux (Ngom et *al.*, 2014) et fournisseur de bois de service et d’artisanat (Camara et *al.*, 2017).

Le service de régulation contribue à conserver les ressources en eau, à purifier l’eau et atténuer les effets du changement climatique par le biais de la séquestration du carbone atmosphérique à travers la photosynthèse (Boffa, 2000). Par ailleurs l’association des arbres et des cultures crée un microclimat propice au bon développement des cultures en jouant un rôle de régulateur thermiques par leur ombrage (Diédhiou, 2014).

Les services culturels apportent des bénéfices immatériels issus des écosystèmes à travers le spirituel et la religion, l’esthétique, le loisir, le cognitif, l’écotouristique et les systèmes de savoir (MEA, 2005).

Enfin, le service d’entretien ou de soutien intervient aussi dans le cycle des nutriments, la pédogénèse, le cycle primaire, les flux organiques par leur capacité à produire de la biomasse recyclable et l’augmentation du taux d’humus (Sarr et *al.*, 2013).

Ces biens et services écosystémiques montrent que l’agroforesterie peut être un espoir de l’humanité pour créer une Agriculture Intelligente face au Climat (AIC) et ainsi assurer une sécurité alimentaire durable et une réduction de la pauvreté des couches vulnérables. Ceci permettra de garantir la préservation des forêts de notre planète pendant encore très longtemps (Agridape, 2011).

1.1.2. Système forestier

Selon la FAO (2010), les forêts sont des terres occupant une superficie de plus de 0,5 hectare avec des arbres atteignant une hauteur supérieure à 5 mètres et un couvert arboré de plus de 10%, ou avec des arbres capables d’atteindre ces seuils *in situ*. Sont exclues les terres à vocation agricole ou urbaine prédominante.

En effet, la déforestation et la dégradation des forêts se poursuivent à un rythme préoccupant, et contribuent de manière sensible à l’actuelle perte de biodiversité. Depuis 1990, on estime près de 420 millions d’hectares de forêts ont disparu par conversion de ces espaces à d’autres utilisations selon les estimations de la FAO (2012).

En Afrique, les forêts sont très variées, allant des forêts de zones arides jusqu’aux forêts tropicales humides (Solly, 2020).

Plus de 100 millions d'hectares de forêts dans le monde souffrent de diverses agressions : incendies, action des ravageurs, maladies, espèces envahissantes, sécheresse et événements climatiques dommageables (FAO, 2012). L'expansion de l'agriculture reste le facteur principal de la déforestation, de la fragmentation des forêts et de la perte de biodiversité qui en résulte (Gibbs et al., 2010).

Au Sénégal, en zone soudano-guinéenne, la végétation est caractérisée par des espèces sub-guinéennes comprenant *Khaya senegalensis* (Desv.) A. Juss., *Azelia africana* Smith ex Pers., *Pterocarpus erinaceus* Poir., *Daniella oliveri* (Rolfe) Hutch. & Dalziel., *Chlorophora regia* (A.Chev.) C.C.Berg, *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn., etc. La strate herbacée est constituée de graminées grossières telles que les *Andropogon* associées à *Spermacoce stachydea* (Boyé, 2001). Cependant les menaces qui pèsent sur les ressources génétiques forestières sont nombreuses et variées tels que la sécheresse, l'érosion éolienne, la salinisation, l'acidification, les feux de brousse, l'exploitation forestière, les défrichements agricoles, le surpâturage (Solly, 2020).

Ces forêts, qui représentent un réservoir exceptionnel de carbone et de biodiversité, offrent selon (Dalimier et al., 2021), des moyens de subsistance et de nourriture et jouent un rôle social et culturel essentiel pour les peuples autochtones et les communautés locales.

1.2. Changement climatique

1.2.1. Causes et conséquences

Le changement climatique se présente comme des déviations de la climatologie régionale déterminée par l'analyse des mesures à long terme, généralement sur une période d'au moins 30 ans (IPCC, 1998). Les changements climatiques sont causés par les modifications de l'atmosphère qui proviennent de sa transformation chimique par les GES (Camirand et Gingras 2011). Ainsi, les GES absorbent en partie les rayons solaires (infra rouges) réfléchis par la terre. Ces derniers sont répercutés au niveau de la surface du sol entraînant le réchauffement de la surface du globe. En l'absence GES la plus grande partie de la chaleur pénétrant dans l'atmosphère terrestre serait directement réémise dans l'espace, et la température moyenne de la terre serait de -18 °C au lieu de 15 °C (GIEC, 2019). La perturbation de l'équilibre atmosphérique, liée à l'augmentation des GES, se traduit par une augmentation des températures moyennes sur la terre, modifiant ses caractéristiques physiques, chimiques et biologiques. En effet, la période préindustrielle (1850-1900) est marquée par la hausse de la température moyenne de l'air à la surface des terres émergées devenant supérieure à la

température moyenne à la surface de la planète (GMST). Ainsi, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a comme objectif à long terme de contenir l'élévation de la température moyenne de la planète nettement en dessous de 2 °C par rapport aux niveaux préindustriels et de poursuivre l'action menée pour limiter l'élévation de la température à 1,5 °C par rapport aux niveaux préindustriels (GIEC, 2018). Selon les prévisions du GIEC avec ce rythme actuel des émissions, le seuil de 1,5 °C sera franchi d'ici 2040. Le changement climatique est une réalité et leurs effets se font de plus en plus sentir. Parmi ceux-ci on peut citer l'élévation des températures, les inondations, les sécheresses, la réduction des rendements des cultures et de la productivité agricole, les approvisionnements incertains en eau, la migration accrue de la flore et de la faune, la fonte des glaciers et l'augmentation de la fréquence de l'intensité des incendies de forêts en raison des sécheresses (Opere et *al.*, 2011). Les impacts biophysique, social ou économique du changement climatique, sont donc une source de grande préoccupation.

1.2.2. Stratégies d'adaptation et d'atténuation

Pour faire face aux aléas du changement climatique, des stratégies d'adaptation et d'atténuation ont été mis en place. La capacité d'adaptation est définie comme la capacité d'un système à s'accommoder aux changements climatiques, à atténuer les dommages potentiels, à tirer des avantages ou opportunités, ou à faire face aux conséquences (IPCC, 2001). En outre l'adaptation consiste à utiliser des ressources naturelles comme la plantation d'arbres résistants à la sécheresse (Boven et Morohashi, 2002) ou à pratiquer des systèmes agroforestiers qui jouent un rôle important dans la protection des terres de culture contre l'érosion et les tempêtes de sable, contribuant ainsi à une production agricole et une sécurité alimentaire durables (Agobia, 1999). L'atténuation du changement climatique est une intervention anthropique pour réduire les sources ou renforcer les puits de GES (Larwanou et *al.*, 2011). Le Protocole de Kyoto relatif à la CNUCC adopté en 1997 est entré en vigueur en 2005. Il a mis en place un cadre pour la mise en œuvre des politiques climatiques nationales et a stimulé la création de marché du carbone et de nouveaux mécanismes de flexibilité (la mise en œuvre conjointe (MOC), et le Mécanisme de Développement Propre (MDP) qui pourraient servir de base à de futurs efforts d'atténuation (Geoff, 2009). Les mesures d'atténuations dans le secteur forestier sont conçues de façon à réduire les émissions dues au déboisement et à la dégradation des forêts, à conserver et à renforcer les stocks de carbone forestiers et à gérer durablement les forêts (Chidumayo et *al.*, 2011).

1.3. Séquestration et stockage de carbone (C)

Les concepts de stockage et de séquestration du carbone sont intimement liés. La séquestration de Carbone est le processus correspondant à un stockage du carbone dans le système sol-plante. En effet, les plantes fixent le carbone lors de leur croissance à partir du CO₂ présent sous forme dissoute dans les océans ou sous forme gazeuse dans l'atmosphère (GIEC, 2003). La séquestration (ou fixation) du carbone est le processus de captage et d'incorporation du carbone dans la biomasse de l'arbre. Tandis que le stockage du carbone par l'arbre est la quantité de carbone accumulée dans sa biomasse. Ainsi le stockage de carbone (C) atmosphérique dans le sol ou dans la végétation est une alternative permettant d'atténuer la concentration des GES dans l'atmosphère. Bien que l'émission de ces gaz soit un phénomène naturel, on assiste à l'augmentation de leurs concentrations pendant la période préindustrielle (GIEC, 2018). Ainsi, le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄) et l'oxyde nitreux (N₂O) sont les principaux GES. Pour faire face aux augmentations de la teneur de ces GES, des méthodologies sont mises en place afin de réduire les émissions en augmentant leurs séquestrations et leurs stockages dans des compartiments stables. Ainsi les compartiments considérés comme puits potentiel de carbone sont la plante et les océans. Selon Follett (2001), le sol constitue un important réservoir de carbone est estimé à 1500 Gt de C organique dans le premier mètre ; réservoir 2 à 3 fois plus élevé respectivement que ceux de la végétation (600 Gt de C) et l'atmosphère (780 Gt de C). Certains systèmes d'utilisation des terres notamment les systèmes agroforestiers permettent de séquestrer du carbone dans le sol et la plante. Ce système permet à la fois de stocker du carbone dans la biomasse végétale et dans le sol *via* l'association de l'arbre dans le système de culture et/ou élevage (Nair et *al.*, 2009a).

1.4. Potentiel de stockage de carbone dans les systèmes d'utilisation des terres

Selon Dixon (1995), l'agroforesterie présente un double avantage à savoir l'augmentation du captage du CO₂ tout en diminuant l'émission des Gaz à Effet de Serre causée par la déforestation et l'agriculture migratoire. Dans la zone soudanienne du Bénin, Saidou et *al.* (2012) ont montré que le stock total de carbone dans le parc à karité (*Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn.) et néré (*Parkia biglobosa* Jacq. G. Don) est de 32,62 t Cha⁻¹ soient 20,17 t Cha⁻¹ pour la biomasse aérienne vivante, 4,25 t Cha⁻¹ pour la biomasse souterraine, 2,35 t Cha⁻¹ pour la matière organique morte et 5,85 t Cha⁻¹ dans le sol. Au Sénégal, l'espèce *Faidherbia albida* (Del.) Chev. a généré 11 Mg Cha⁻¹ (Ndour et *al.*, 2020). Au Burkina Faso, Ouedraogo et *al.* (2019) ont montré que dans la savane, le carbone stocké dans la biomasse épigée s'élève à 17,66 ± 22,05 t Cha⁻¹ et celui de la biomasse hypogée ainsi que de la végétation herbacée ont été

respectivement de $2,28 \pm 2,41 \text{ t Cha}^{-1}$ et de $1,39 \pm 0,61 \text{ t Cha}^{-1}$. Au niveau d'une plantation de *Tectona grandis* L. f. et d'une zone agroforestière, les quantités de carbone contenues dans la biomasse aérienne ligneuse ont été respectivement de $54,38 \pm 12,04 \text{ t Cha}^{-1}$ et $2,50 \pm 3,28 \text{ t Cha}^{-1}$ contre $7,09 \pm 1,40 \text{ t Cha}^{-1}$ et $0,35 \pm 0,42 \text{ t Cha}^{-1}$ dans les racines. Au Sénégal, les résultats de Diatta (2015) ont montré que le carbone stocké dans la biomasse végétale et le sol varie en fonction de l'espèce, de la technologie agroforestière et de la texture du sol. *Faidherbia albida* a plus de potentiel de stockage de carbone dans les systèmes agroforestiers suivi de *Acacia raddiana*, de *Neocarya macrophylla* (Sabine) Prance, de *Balanites aegyptiaca* (L.) Del. et enfin de *Euphorbia balsamifera* qui emmagasine la plus petite quantité de carbone. De même, Diatta (2015) a également noté que les jachères, les parcs arborés et les parcours naturels peuvent stocker respectivement une quantité de 40 Mg C. ha^{-1} , 36 Mg Cha^{-1} et 27 Mg Cha^{-1} . Selon Nair et al. (2009b), le stockage de carbone dans le sol et la plante varie suivant les systèmes et est compris entre $0,3$ à $15 \text{ Mg Cha}^{-1}\text{an}^{-1}$.

Cette caractérisation de l'évaluation du potentiel de stockage de carbone de la végétation ligneuse est rendue possible grâce à la mise au point d'équations allométriques (Panzou et al., 2016).

1.5. Equations allométriques

Une équation allométrique est une estimation directe ou indirecte d'une quantité, d'une production entre autres en fonction des outils de prédiction établis par certains auteurs (la biomasse totale ou partielle d'un arbre, stock de carbone, etc., pour cette étude). Selon Chave et al. (2005), les outils les plus importants de la biomasse sont le diamètre, la hauteur totale et la densité du bois. Dans une première approche, des équations allométriques pantropicales ont été développées par Brown et al. (1989) puis Chave et al. (2005) séparément pour les forêts de type « *Dry* » (pluviométrie $< 1500 \text{ mm}$, saison sèche > 5 mois), « *Moist* » (pluviométrie $1500-3500 \text{ mm}$, saison sèche 1-5 mois) et « *Wet* » (pluviométrie $> 3500 \text{ mm}$, saison sèche < 1 mois). Les équations pantropicales développées par Chave et al. (2005) ont largement été utilisées en Afrique tropicale. Ces équations ont permis de convertir les données de diamètre, issues d'inventaires forestiers, et de densité du bois, provenant de bases de données, en biomasse aérienne à l'échelle des arbres et des forêts (Stephenson et al., 2014). Cependant, dans certaines études, la hauteur de l'arbre était absente dans les prédicteurs. En effet, elle a été incluse pour une meilleure précision des équations (Djomo et al., 2011). Toutefois, la validité des équations pantropicales de Chave et al. (2005) en Afrique tropicale a été fortement discutée. La limite majeure serait liée à l'absence de données provenant des écosystèmes d'Afrique tropicale dans

la calibration des équations. En ce qui concerne les forêts de type « *Dry* », les prédictions, testées dans trois sites du Nord-Est de la Tanzanie dans les forêts claires de type Miombo sur 167 arbres répartis entre 1 et 110 cm de diamètre, montrent une sous-estimation systématique de la biomasse des arbres de l'ordre de 10 à 20 % (Mugasha et al., 2013). Dans les forêts de type « *Moist* », l'équation a été validée au Sud-Est du Cameroun dans une forêt dense humide de transition entre les types de forêt sempervirent et semi-caducifolié sur 138 arbres répartis entre 5 et 192 cm de diamètre (Fayolle et al., 2013). Le modèle a aussi été validé au Nord-Est de la République Démocratique du Congo (RDC) dans les forêts denses humides semi-caducifoliées sur 12 arbres répartis entre 24 et 52 cm de diamètre (Ebuy et al., 2011). Par contre, des biais importants de 10 et 40 % ont été identifiés respectivement dans les forêts sempervirentes du Ghana sur 42 arbres répartis entre 2 à 180 cm de diamètre (Henry et al., 2010) et dans les forêts de transition du Nord-Est du Gabon sur 101 arbres répartis entre 11 à 109 cm de diamètre (Ngomanda et al., 2014). Dans une seconde approche, Feldpausch et al. (2012) ont proposé deux équations pantropicales de type « *Moist* » incorporant des données de biomasse pour 116 arbres d'Afrique tropicale dans leur construction. Ces équations ont trois outils, le diamètre, la densité du bois et la hauteur totale. Ainsi, les études sur l'application des équations allométriques de Chave et al. (2014) ont été menées en Afrique, en Amérique Latine, en Australie et en Asie du sud. Il faut également noter que ces équations sont une révision des études de Chave et al. (2005) et Feldpausch et al. (2012). En effet les données sont recueillies dans 58 sites d'étude avec 4 004 arbres mesurés individuellement. Cependant 20 sites d'étude avec 1 481 arbres ont été pris dans l'étude de Chave et al. (2005) dont tous les paramètres dendrométriques sont disponibles. Les sites inclus dans cette base de données comprennent 1 429 arbres dans le domaine afro-tropical y compris le Madagascar, 1 794 arbres en Amérique latine, et 781 arbres en Asie du Sud-Est et en Australie. Cette compilation a été réalisée entre 2008 et 2013. En effet les conditions climatiques locales ont été prises dans les climatologies maillées mondiales, qui utilisent les données de stations météorologiques disponibles (New et al., 2002 ; Hijmans et al., 2005). Les variables de températures et de précipitations ont été acquises de la base de données WorldClim (Hijmans et al., 2005), qui rapporte des valeurs climatiques moyennes quadrillées pour la période 1950-2000. Ainsi les données de stress hydrique ont permis de prédire la forme des équations allométriques. Des variables dendrométriques à savoir le diamètre à hauteur de poitrine (cm) et la hauteur totale de l'arbre H (m) ont été relevés pour chaque arbre de même que la densité du bois q (g/cm^3), et la biomasse aérienne (AGB) total (kg) obtenue par séchage au four. Lors de l'abattage, les arbres ont été pesés frais et leur volume frais mesuré ensuite le poids du bois a été converti en poids sec au

four et le taux d'humidité a été calculé. Cependant pour les arbres les plus gros, il n'était généralement pas pratique de peser l'individu entier, de sorte que le volume de bois a souvent été déduit à partir de considérations géométriques (Henry et al., 2010), et le volume de bois a été converti en poids sec en multipliant le volume par la densité du bois (Chave et al., 2009). Les résultats de Chave et al. (2014) montre que, lors de l'estimation la biomasse aérienne (AGB) avec ces trois paramètres $\rho * D^2 * H$, le modèle pantropical apparaît le mieux adapté. Le calcul est effectué par la formule suivante :

$$AGB(Kg) = 0,0673 * ((\rho D^2 H))^{0,976}$$

ρ : Densité spécifique du bois (g/cm³)

H: Hauteur (m)

D : Diamètre à hauteur de poitrine d'homme (cm)

1.6. Valorisation économique du stock de carbone

Le Protocole de Kyoto prévoit des engagements de réductions pour certains pays dont ceux industrialisés et des mécanismes de flexibilité. Ainsi ce protocole a mis en place trois mécanismes de flexibilité, il s'agit de la Mise en Œuvre Conjointe (MOC) du Mécanisme pour un Développement Propre (MDP) et le marché de permis d'émission (Murphy et al., 2009). Concernant le marché de permis d'émission, chaque pays industrialisé ayant ratifié le protocole, reçoit une allocation initiale de permis d'émissions (ou droits à émettre) correspondant à son engagement de réduction. Les permis sont détenus par les gouvernements des pays du Nord qui peuvent se les échanger. Dans ce système, un objectif de réduction des émissions est fixé avec la possibilité d'échanger des permis. Cependant, une entreprise qui ne respectera pas ses engagements se verra attribuée une pénalité de 100 € (à partir de 2008) par tonne de CO₂ émise en plus de son quota (Hamon et al., 2009). Les systèmes de marchés de permis ou quotas d'émission ont montré leur efficacité économique pour résoudre des problèmes environnementaux. Un objectif d'émission totale est fixé et les acteurs réduisent leurs émissions en fonction de leurs coûts de réduction et de la valeur du permis d'émission. Pour La Mise en Œuvre Conjointe (MOC) ou *Joint Implementation (JI)* et le Mécanisme pour un Développement Propre (MDP) ou *Clean Development Mechanism (CDM)*, dans le cadre de ces mécanismes, des projets génèrent des crédits proportionnellement à leur contribution à l'atténuation du changement climatique et peuvent les vendre à des pays industrialisés ayant ratifié le protocole (Winebrake et al., 1995). En effet les projets éligibles sont le boisement, le reboisement, les

plantations à usage multiple et les systèmes agroforestiers. Il est à noter que ces projets sont une source de financement et de promotion de l'arbre dans les systèmes agraires. Au-delà de l'échange de permis il est possible d'effectuer des transactions entre un projet et une entité désireuse de compenser ses émissions. Le projet peut être de réduction d'émissions (projet énergétique ou industriel) ou d'absorption (projet forestier). L'objectif de ces mécanismes est de faciliter la transmission de fonds et de technologie aux pays en voie de développement pour qu'éventuellement ceux-ci soient en mesure de contrôler leurs propres émissions (Péltier et *al.*, 2007).

Egalement une stratégie a été développée, qui fait de la forêt un lieu de stockage de carbone et non une source (Dimobe, 2017). En effet, le mécanisme de réduction des émissions issues de la déforestation et de la dégradation des forêts (REDD) fut introduit en 2005 à la 11^{ème} conférence des parties (COP11) tenue à Montréal et révisé à la 13^{ème} conférence des parties (COP13) à Bali en 2007. Par conséquent le mécanisme REDD a été étendu à REDD+ qui comprend également des mesures de conservation des stocks forestiers existants, la gestion durable des forêts et l'accroissement des stocks de carbone forestiers par le biais de la restauration ou de la plantation de nouvelles forêts (Angelsen et *al.*, 2013). A ce titre, l'émergence du mécanisme de REDD+ dans le marché carbone a conduit à une demande d'informations crédibles, accessibles et actualisées sur les stocks de carbone, souligne Brown (2002). Elle permet aussi de récompenser les individus, les communautés, les projets et les pays qui réduisent les émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) liées aux forêts. Le mécanisme REDD est en mesure de réduire en peu de temps et à faible coût les émissions de CO₂ tout en contribuant en même temps à la réduction de la pauvreté et au développement durable.

CHAPITRE 2 : MATERIEL ET METHODES

2.1. Présentation du site d'étude

L'étude a été menée dans la commune de Coumbacara, située dans l'arrondissement de Mampatim à 63 Km de la commune de Kolda. Celle-ci polarise 59 villages et couvre une superficie de 342 km² (PLD, 2011). La population est de 13 014 habitants pour une densité moyenne de 38 habitants au km². La commune est limitée au nord par les communautés rurales (CR) de Bagadadji, Dialembéré (ex CR de Dabo) et Mampatim, à l'Est par le fleuve Thiayanga qui la sépare de la communauté rurale Ouassadou, au Sud par la République de Guinée Bissau et à l'Ouest par la communauté rurale de Guiré Yoro Bocar (ex CR de Salikégné). Cette commune a été répartie en 6 zones en tenant compte des aspects socio-culturels, économiques et agro-écologiques (PLD, 2011). Ces zones sont : Coumbacara, Diambourcombo, Bambadinka, Dialacoumbi, Saré Niyel et Thidelly (Ndiaye, 2020).

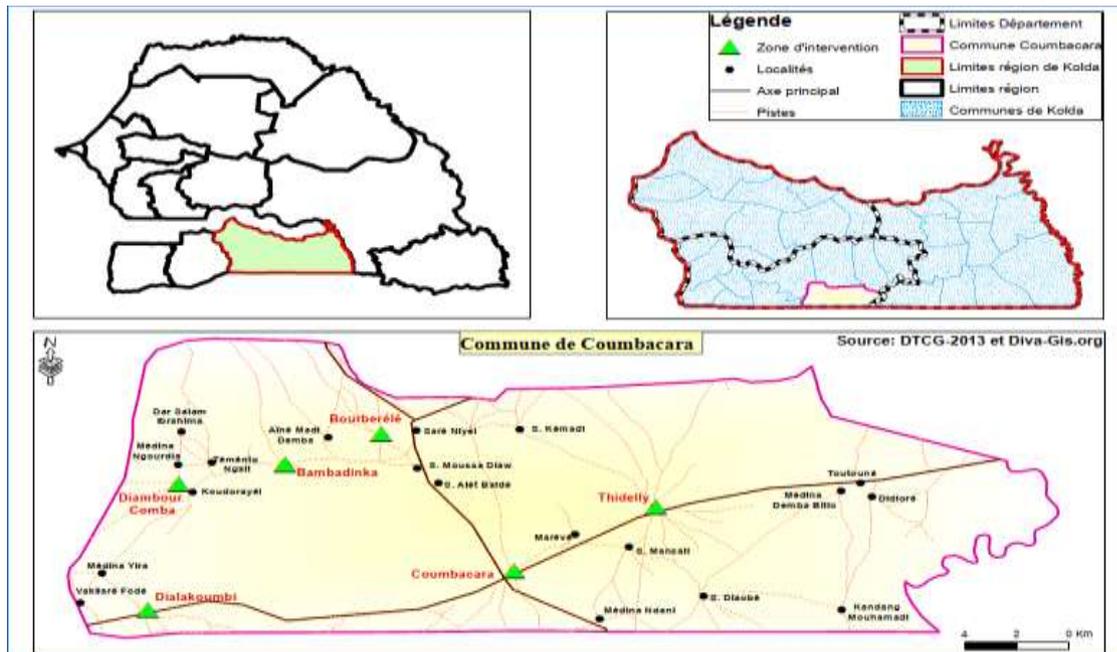


Figure 1 : Carte de découpage administrative de la commune de Coumbacara.

Source : DTCG-2013 et Diva-Gis.org

La commune de Coumbacara appartient au domaine sud soudanien continental (Sagna, 2005). Caractérisé par une saison des pluies de juin à octobre et une saison sèche de novembre à mai, la température y varie entre 28 et 40°C avec un vent chaud et sec. La mousson marque le début de la saison des pluies qui souffle du Sud au Nord. La pluviométrie dépasse généralement 1 000 mm.an⁻¹ et le nombre de jours de pluie varie selon l'année (ANSD, 2015).

Trois types de sol se distinguent. Il s'agit des sols sablo-argileux (deck-dior) qui dominent dans la commune, des sols argileux localisés au niveau des dépressions aptes à la riziculture et des sols latéritiques dont les potentialités pourraient être utilisés pour l'aménagement de pistes latéritiques au niveau de certains axes prioritaires (ANSD, 2015).

La commune de Coumbacara dispose de deux grandes forêts classées (Koudoura et Toutouné) mais, son couvert végétal subit de plus en plus des agressions qui entraînent sa dégradation. Ainsi, la végétation de plus en plus clairsemée, est plus dense en zones protégées où le droit d'usage prédomine (PLD, 2011). Les principales espèces rencontrées sont *Daniellia oliveri* (santan), *Khaya senegalensis* (caïlcedrat), *Elaeis guineensis* Jacq. (palmier à huile), *Pterocarpus erinaceus* (Ven), *Cordyla pinnata* (Lepr. ex A. Rich.) Milne-Redh. (Poirier du Cayor) etc.

2.2. Méthodes utilisées

Pour la collecte des données, un inventaire de la végétation ligneuse et une mesure des paramètres dendrométriques des individus recensés ont été effectués.

2.2.1. Inventaire floristique

Un inventaire floristique a été effectué dans six villages (Thidélly, Coumbacara, Saré niyel, Bambadinka, Diambourkombo et Dialacoumbi) de la commune de coumbacara choisis suivant les six zones définies par le PLD (2011). Pour ce faire, un échantillonnage aléatoire et simple a été effectué suivant un transect qui concerne les trois unités d'utilisation de terres que sont les champs de case « *Bambé* », des champs de brousses « *Ngessa* » et les forêts adjacentes « *Ladé* ». Dans chaque village, 12 placettes ont été installées suivant les quatre points cardinaux (Est, Ouest, Nord et Sud) dont 8 placettes dans les systèmes agroforestiers (champs de case et champs de brousse) avec une dimension de 50 m * 50 m et 4 placettes dans les forêts adjacentes avec une dimension de 30 m * 30 m (Ilboudo, 2018). Chaque point cardinal a trois (3) placettes dont une placette dans les champs de case, une placette dans les champs de brousse et une placette dans les forêts adjacentes qui sert de témoin. Au total 72 placettes devraient être installées, mais 62 ont pu être installées sachant que les 10 placettes manquantes correspondent soit à des vallées ou à des lieux de culte (cimetières, etc..) et le rapprochement des villages. Pour la délimitation des placettes, la méthode 3-4-5 du théorème de Pythagore a été utilisée avec un ruban mètre et des piqués.

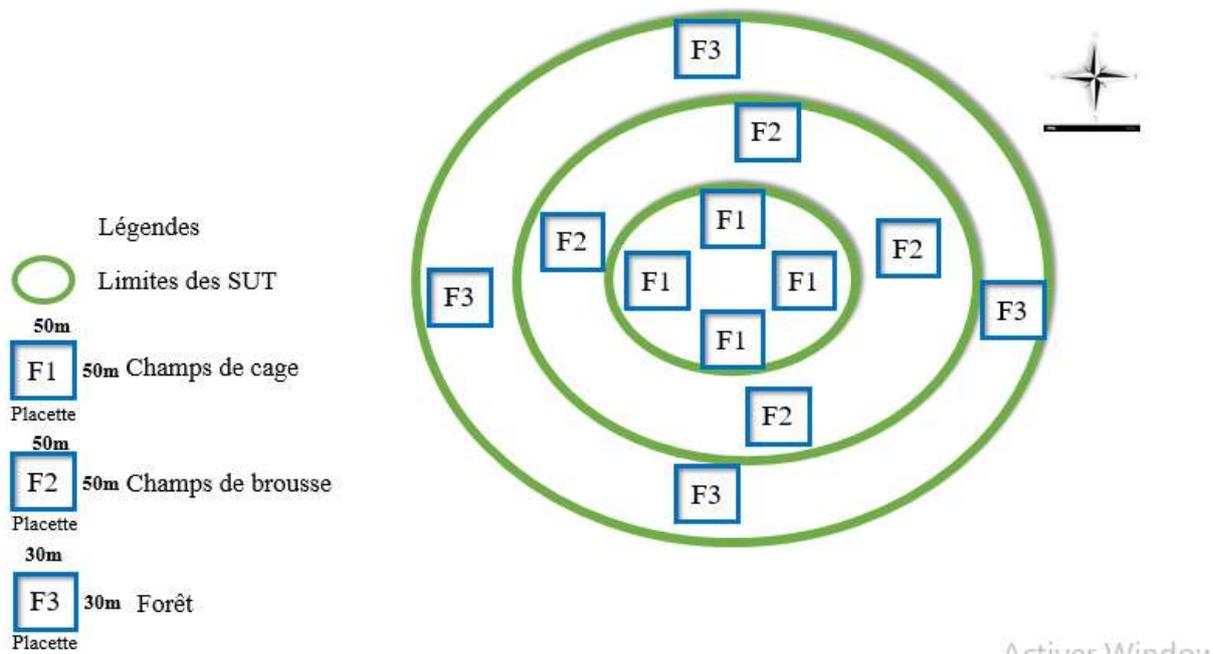


Figure 2 : dispositif des placettes d'inventaire des systèmes d'utilisation des terres, réadapté (Faye et al. (2008))

Dans chacune des placettes installées, l'ensemble des espèces ligneuses ont été inventoriées. Sauf les individus dont le DBH est inférieur à 10 cm qui sont considérés comme régénération dans cette étude, (Kebenzikato et al., 2014). Cet inventaire a permis d'apprécier la diversité floristique pour chaque faciès ou système d'utilisation des terres. Pour les espèces qui n'ont été identifiées sur place, des photographies de différentes parties (feuilles, fruits, tronc, etc.) ont été réalisées et des échantillons collectés pour une identification au laboratoire à l'aide de documents de la nomenclature (Berhaut, 1967 ; Giffard, 1974 ; Tourneux et Yaya, 1998 ; Arbonnier, 2009) et d'autre fonds documentaires de la flore (Ndiaye, 2020).

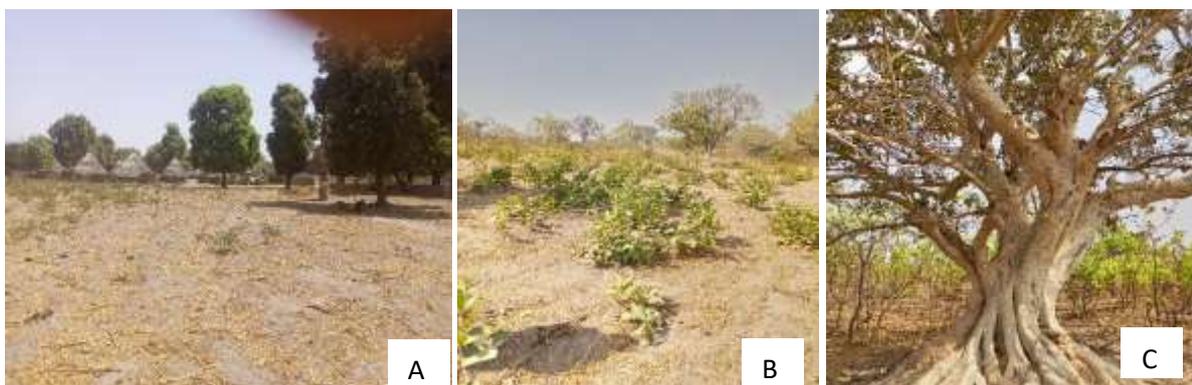


Photo 1 : parcelles de champs de case « *Bambé* » (A) ; champs de brousse « *Nguéssa* » (B) ; forêts « *Ladé* » (C).

2.2.2. Mesure des paramètres dendrométriques

Sur chacun des individus recensés dans les placettes, des mesures dendrométriques ont été effectuées. Ces mesures ont porté sur la hauteur totale de l'arbre, le diamètre à hauteur de poitrine (DBH) et les diamètres croisés Est-Ouest et Nord-Sud du houppier.

La hauteur totale des arbres sur pied a été mesurée à l'aide du dendromètre Blum-Leiss (figure 3A). Cet appareil de mesure comporte 4 échelles de lecture de la hauteur à savoir 15 m, 20 m, 30 m et 40 m. La hauteur est déterminée à partir de l'équation qui s'appuie sur le diagramme de la figure 3B.

$$h = L(\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta) \text{ Avec}$$

L = distance séparant l'opérateur de l'arbre

α = angle de visée vers le sommet de l'arbre

β = angle de visée vers le pied de l'arbre

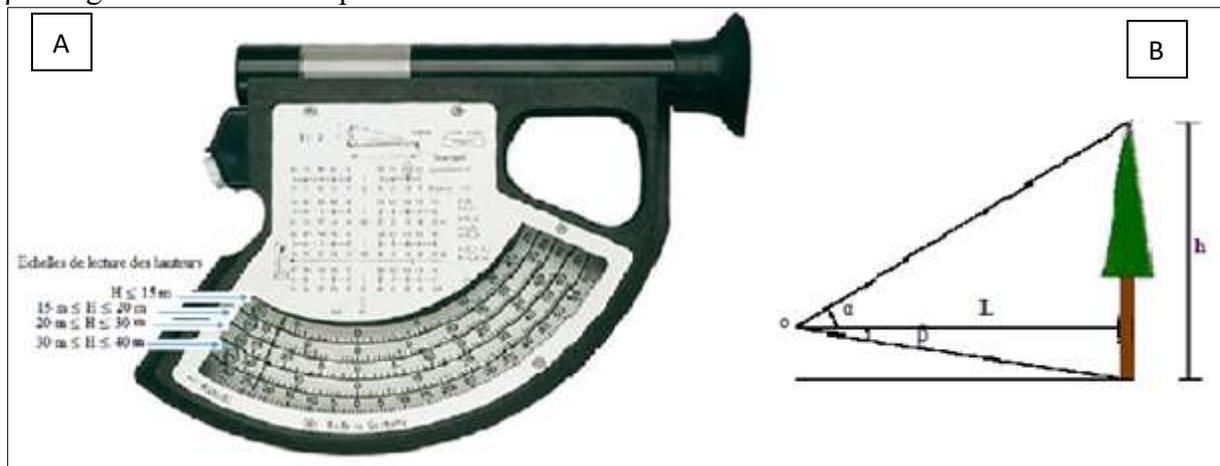


Figure 3 : dendromètre Blum Leiss (A) et diagramme de la méthode de mesure de la hauteur (B).

Le diamètre exprime la grosseur d'une section d'arbre (Rondeux, 1993). Le diamètre à hauteur de poitrine (1,3 m au-dessus du niveau du sol) des arbres a été mesuré à l'aide d'un compas forestier. Cependant quand il est supérieur ou égale à 100 cm, c'est la circonférence du tronc qui est mesurée à l'aide d'un ruban métrique. Il existe des cas particuliers qui nécessitent un réajustement de la hauteur de mesure du diamètre ou de la circonférence.

- Lorsque la forme du tronc de l'arbre n'est pas cylindrique, le diamètre maximum et le diamètre minimum sont déterminés pour une déduction de la valeur du diamètre moyen qui est retenu comme le diamètre du tronc de l'arbre dans la base de données.

- Pour les arbres portant des contreforts qui dépassent 1,3 m, le diamètre ou la circonférence est mesuré à 30 cm au-dessus des contreforts ;
- Pour les arbres avec des défauts à la hauteur de 1,3 m (nœuds, branches, blessure, etc.), le diamètre est pris juste au-dessus de la déformation ;
- Si l'arbre est fourchu en dessous de 1,3 m, chaque tige de diamètre suffisant (≥ 10 cm) est considérée et la moyenne calculée correspond au diamètre de l'arbre ;
- Pour les arbres qui sont situés sur une pente, la hauteur de poitrine (1,30 m) en amont du pied d'arbre est considérée.



Photo 3 : Mesure du diamètre du tronc (DBH) avec un compas forestier (A) et de la circonférence du tronc avec un ruban mètre (B).

Le diamètre du houppier est mesuré à l'aide d'un ruban métrique. Pour ce faire, deux mesures croisées ont été effectuées au niveau de chaque arbre (Est-Ouest et Nord-Sud) puis le diamètre moyen du houppier a été calculé.

L'équation allométrique choisie pour l'évaluation de la biomasse produite par les espèces ligneuses ne prenant en compte que les individus de diamètre à hauteur de poitrine (DBH) supérieur à 10 cm, les données utilisées n'ont porté que sur les paramètres dendrométriques de ces individus.

2.2.3. Traitement des données

2.2.3.1. Evaluation des paramètres structuraux de la végétation ligneuse

❖ Densité

La densité est le nombre d'individus par unité de surface (ind.ha^{-1}). Elle est obtenue par le rapport de l'effectif total des individus dans l'échantillon par la surface échantillonnée.

$$\text{Dob.} = \frac{N}{S}$$

avec *Dob* = Densité observée ; *N* = effectif total d'individus dans l'échantillon considéré et *S* = surface de l'échantillon en ha.

❖ Surface terrière (ST)

La surface terrière ou recouvrement basal désigne la surface d'encrage au sol de l'arbre évaluée à la base du tronc de l'arbre. Elle est exprimée en mètre carré par hectare (m^2ha^{-1}) et obtenue à partir de la formule suivante :

$$S_t = \frac{\sum \pi \left(\frac{d_{1,3}}{2} \right)^2}{S_E}$$

Avec S_t = surface terrière ; $d_{1,3}$ = diamètre en m du tronc à 1,3 m ; S_E = surface de l'échantillon considéré en ha.

❖ Taux de couverture végétale (C)

Le couvert ligneux est la surface de la couronne de l'arbre projetée verticalement au sol. Il est exprimé en mètre carré par hectare ($m^2 ha^{-1}$). Le couvert ligneux est calculé avec la formule ci-dessous :

$$C = \frac{\sum \pi \left(\frac{d_{mh}}{2} \right)^2}{S_E} * 100$$

Avec C = couvert ligneux ; d_{mh} = diamètre moyen du houppier en m ; S = surface de l'échantillon considéré en ha.

❖ Indices de diversités floristiques

✓ Richesse spécifique

Elle correspond au nombre total d'espèces dans un échantillon donnée.

✓ Indice de diversité de SHANNON-WEAVER (H')

Il consiste à rendre compte la diversité des espèces qui composent un peuplement dans un milieu donnée. Il exprime l'importance relative du nombre d'espèces abondantes dans un milieu donné avec

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

p_i = abondance relative de l'espèce i

H' tend vers 0 quand la diversité est minimale. Elle est maximale quand H' tend vers l'infini (Diédhiou et *al.*, 2014)

✓ **Équitabilité de PIÉLOU (J')**

Il permet de mesurer l'équitabilité des espèces du peuplement par rapport à la répartition des individus entre l'ensemble des espèces.

$$J' = H' / \ln S$$

H'= indice de SHANNON-WEARVER et S = richesse spécifique

La valeur de l'équitabilité varie de 0 à 1. Elle tend vers 0 quand la quasi-totalité des effectifs des individus est concentrée sur une espèce, et vers 1 lorsque toutes les espèces ont la même abondance (Ramade, 1990).

2.2.3.2. Estimation de la biomasse et du stock de carbone

2.2.3.2.1. Détermination de la biomasse aérienne et souterraine des espèces ligneuses

La biomasse aérienne (AGB) est déterminée à partir des équations allométriques applicables pour les espèces végétales des forêts tropicales. Le choix de ces équations est fonction du nombre de paramètres qu'elles intègrent (diamètre, hauteur et densité spécifique du bois) et de leur simplicité (Abani, 2012). En effet, pour l'estimation de la biomasse souterraine, l'équation de Cairns *et al.* (1997) est appliquée. En outre la densité du bois est prise dans la base de données de l'ICRAF wood density et de celle de Zanne *et al.* (2009).

Tableau 1 : équations allométriques

Equations allométriques (Kg/arbre)	Auteurs
$AGB = 0,0673 * ((\rho D^2 H))^{0,976}$	Chave <i>et al.</i> (2014)
$BGB = \exp [-1,0587 + 0,8836 \times \ln (AGB)]$	Cairns <i>et al.</i> (1997)

- AGB = Biomasse aérienne ligneuse (Kg) ;
- BGB=Biomasse racinaire ligneuse (Kg) ;
- ρ : Densité spécifique du bois (g/cm³) ;
- H: Hauteur (m) ;
- D : Diamètre à hauteur de poitrine d'homme (cm) ;
- ln = logarithme népérien.

Cette méthode est la plus utilisée en matière de quantification de la biomasse forestière et du stock de carbone (Bakayoko *et al.*, 2012). Elle présente l'avantage d'être rapidement opérationnelle en termes de temps et de coût d'estimation. Cependant, plusieurs auteurs ont souligné que l'utilisation de ces équations allométriques en dehors des sites pour lesquels elles

ont été développées pourrait entraîner des biais au niveau des estimations (Panzou et *al.*, 2016). Cependant, tenant compte des révisions des études de Chave et *al.* (2005) et Feldpausch et *al.* (2012) et des études sur l'application des équations allométriques de Chave et *al.* (2014) en Afrique, ces algorithmes sont applicables à notre site d'étude.

2.2.3.2.2. Estimation du stock de carbone

Elle consiste à multiplier la biomasse aérienne et/ou souterraine par le coefficient 0,47 selon le GIEC (2006). Le stock de carbone est calculé par la formule suivante :

$$C \text{ stocké} = \text{Biomasse} \times 0,47$$

2.2.3.3. Analyse statistique des données

Les données ont été saisies dans le tableur Excel puis le traitement statistique effectué à l'aide du logiciel Rstudio. Le test de normalité des données a été effectué. Lorsque les données ne suivent pas les lois normales, elles sont normalisées par la fonction $\ln(X+1)$ avant d'être soumises une analyse de variance (ANOVA). A la suite de cette ANOVA, si les différences sont significatives le test de comparaison des moyennes de Tukey au seuil de signification de 5% est effectué. Afin d'établir la typologie des espèces d'une part et la production de biomasse et stockage de carbone suivant les systèmes d'utilisation des terres, une Analyse en Composantes Principales (ACP) suivie d'une Classification Hierarchique des composantes Principales (HCPC) ont été effectuées.

CHAPITRE 3 : RESULTATS

3.1. Caractéristiques de la végétation ligneuse des systèmes d'utilisation de terres (SUT)

3.1.1. Cortège floristique et fréquence de présence des espèces ligneuses dans les SUT

Le tableau 2 illustre la composition floristique et la fréquence de présence des espèces dans les différents Systèmes d'Utilisation des Terres (SUT) de la commune de Coumbacara.

Au total, 48 espèces ont été inventoriées dans la commune de Coumbacara. Ces espèces sont réparties en 44 genres et 24 familles. Considérant les différents systèmes d'utilisation des terres, il est apparu que les forêts sont plus diversifiées floristiquement avec 41 espèces réparties en 37 genres et 20 familles. Elles sont suivies des champs de brousse qui renferment 23 espèces réparties en 21 genres et 10 familles. Les champs de case sont les moins diversifiés avec 18 espèces réparties en 16 genres et 11 familles.

Globalement dans la commune de Coumbacara, les familles les plus représentées sont les *Caesalpiaceae* avec 8 espèces (16,66%), les *Minosaceae* avec 6 espèces (12,5%), les *Combretaceae* et les *Anacardiaceae* avec 4 espèces chacune (8,33%) et les *Malvaceae* avec 3 espèces (2,08%).

Du point de vue de la fréquence des espèces, les résultats ont montré que dans les forêts adjacentes aux champs de cultures, les espèces les plus fréquentes sont *Piliostigma reticulatum* (DC.) Hochst. *Lannea acida* A. Rich., *Prosopis africana* (Guill. & Perr.) Taub. avec chacune une fréquence de présence de 52,4% et *Holarrhena floribunda* DC. (47,6%).

Dans les champs de brousse, les espèces les plus fréquentes sont : *Terminalia macroptera* Guill. & Perr. (66,7%), *Combretum glutinosum* Perr. (57,9%) et *Combretum nigricans* Lepr. ex Guill. & Perr. (33,3%). Et dans les champs de case, ce sont les espèces *Mangifera indica* L. (50%) et *Adansonia digitata* L. (31,8%) qui sont les plus fréquentes.

Tableau 2 : composition floristique et fréquence de présence (F%) des espèces dans les différents SUT.

Familles	Genres	Espèces	(F%) Systèmes d'utilisation des terres		
			Champs de case	Champs de brousse	Forêt
<i>Anacardiaceae</i>	<i>Anacardium</i>	<i>Anacardium occidentale</i> L.	4,5	21,1	14,3
	<i>Lannea</i>	<i>Lannea acida</i> A. Rich.	0	15,8	52,4
	<i>Mangifera</i>	<i>Mangifera indica</i> L.	50	21,1	0
	<i>Spondias</i>	<i>Spondias mombin</i> L.	0	0	9,5
<i>Annonaceae</i>	<i>Hexalobus</i>	<i>Hexalobus monopetalus</i> (A. Rich.) Engl. et Diels.	0	0	19
<i>Apocynaceae</i>	<i>Holarrhena</i>	<i>Holarrhena floribunda</i> (G. Don.).	0	15,8	47,6
	<i>Saba</i>	<i>Saba senegalensis</i> (A. DC.).	0	0	4,8
<i>Arecaceae</i>	<i>Elaeis</i>	<i>Elaeis guineensis</i> (Jacq.)	0	0	38,1
<i>Celastraceae</i>	<i>Maytenus</i>	<i>Maytenus senegalensis</i> (Lam.) Exll.	0	0	9,5
<i>Caesalpiniaceae</i>	<i>Afzelia</i>	<i>Afzelia africana</i> Smith ex pers.	4,5	0	0
	<i>Cassia</i>	<i>Cassia sieberiana</i> Del.	0	5,3	4,8
	<i>Cordyla</i>	<i>Cordyla pinnata</i> (Rolfe) Hutch. et Dalziel.	0	15,8	33,3
	<i>Daniellia</i>	<i>Daniellia oliveri</i> (Rolfe) Hutch. et Dalziel.	9,1	5,3	42,9
	<i>Erythrophleum</i>	<i>Erythrophleum africanum</i> (Welw. ex Benth.).	0	0	4,8
		<i>Erythrophleum suaveolens</i> (Guill. Et Perr.).	0	0	4,8
	<i>Piliostigma</i>	<i>Piliostigma reticulatum</i> (DC.) Hochst.	4,5	15,8	52,4
<i>Tamarindus</i>	<i>Tamarindus indica</i> L.	0	10,5	4,8	
<i>Chrysobalanaceae</i>	<i>Neocarya</i>	<i>Neocarya macrophylla</i> (Sabine).	0	0	4,8
<i>Combretaceae</i>	<i>Combretum</i>	<i>Combretum glutinosum</i> Perr.	4,5	57,9	61,9
		<i>Combretum nigricans</i> Lepr. Ex Guillem. et Perrot.	10,5	33,3	10,5
	<i>Terminalia</i>	<i>Terminalia avicennoides</i> Guill. et Perr.	5,3	4,8	5,3
		<i>Terminalia macroptera</i> (Guill. Et Perr.).	36,8	66,7	36,8
<i>Euphorbiaceae</i>	<i>Jatropha</i>	<i>Jatropha curcas</i> L.	4,5	0	0

<i> Icacinaceae </i>	<i> Icacina </i>	<i> Icacina senegalensis </i> A. Juss.	4,5	26,3	14,3
<i> Lamiaceae </i>	<i> Vitex </i>	<i> Vitex doniana </i> (L.)	0	0	9,5
<i> Loganiaceae </i>	<i> Strychnos </i>	<i> Strychnos spinosa </i> Lam.	0	0	14,3
<i> Malvaceae </i>	<i> Adansonia </i>	<i> Adansonia digitata </i> (L.)	31,8	10,5	4,8
	<i> Bombax </i>	<i> Bombax costatum </i> Pellegr. et Vuillet.	0	5,3	19
	<i> Cola </i>	<i> Cola cordifolia </i> (Cav.)	0	5,3	4,8
<i> Meliaceae </i>	<i> Azadirachta </i>	<i> Azadirachta indica </i> (Desr.).	0	5,3	0
	<i> Khaya </i>	<i> Khaya senegalensis </i> (Desr.).	9,1	5,3	9,5
<i> Mimosaceae </i>	<i> Acacia </i>	<i> Acacia ataxacantha </i> DC.	0	0	9,5
	<i> Dicrostachys </i>	<i> Dicrostachys cinera </i> (Wight. et Arn.).	0	0	9,5
	<i> Parkia </i>	<i> Parkia biglobosa </i> (Jacq.) Benth.	0	5,3	9,5
	<i> Faidherbia </i>	<i> Faidherbia albida </i> Del. (A. Chev.).	4,5	0	9,5
	<i> Prosopis </i>	<i> Prosopis </i>	<i> Prosopis africana </i> (Guill. et Perr.).	4,5	10,5
<i> Prosopis juliflora </i> (SW.) DC.			0	0	4,8
<i> Moraceae </i>	<i> Ficus </i>	<i> Ficus gnaphalocarpa </i> (Miq.) Steud. ex A. Rich	4,5	5,3	9,5
<i> Myrtaceae </i>	<i> Eucalyptus </i>	<i> Eucalyptus camaldulensis </i> (Dehnh.)	4,5	0	0
<i> Papilionaceae </i>	<i> Erythrina </i>	<i> Erythrina senegalensis </i> A. DC.	0	0	4,8
	<i> Pterocarpus </i>	<i> Pterocarpus erinaceus </i> (Poir.)	0	0	4,8
<i> Rubiaceae </i>	<i> Gardenia </i>	<i> Gardenia ternifolia </i> Schumach. et Thonn	0	0	4,8
	<i> Mitragyna </i>	<i> Mitragyna inermis </i> (Willd.) O. Ktze	0	0	9,5
<i> Rutaceae </i>	<i> Citrus </i>	<i> Citrus sinensis </i> (L.*) Osbeck*	0	5,3	0
<i> Sterculiaceae </i>	<i> Sterculia </i>	<i> Sterculia setigera </i> Del.	0	0	19
<i> Tiliaceae </i>	<i> Grewia </i>	<i> Grewia bicolor </i> Juss.	0	0	14,3
<i> Verbenaceae </i>	<i> Gmelina </i>	<i> Gmelina arborea </i> Roxb. ex Sm.	4,5	0	0
<i> Zygophyllaceae </i>	<i> Balanites </i>	<i> Balanites aegyptiaca </i> (L.) Delile	0	0	4,8
Total espèces			41	23	18

3.1.2. Structure démographique du peuplement ligneux des différents SUT

3.1.2.1. Structure verticale

La structure est marquée par une faible représentation des individus de hauteur inférieure à 5 m et des individus de hauteur supérieure à 20 m (Figure 4). En effet, les individus de hauteur inférieure à 5 m (jeunes) représentent 4,02 ; 6 et 5,4% du peuplement ligneux respectivement dans les forêts, les champs de brousse et les champs de case. Les individus de hauteur supérieure à 20 m représentent 13,57 ; 6 et 8,11% du peuplement ligneux respectivement dans les forêts, les champs de brousse et les champs de case. Quel que soit le SUT, ce sont les classes de hauteur intermédiaire qui sont les plus représentées traduisant ainsi un bon niveau de recrutement des individus de faible hauteur vers les classes intermédiaires. En effet, dans les forêts et dans les champs de brousse, c'est la classe de hauteur comprise entre [5-10 m[qui prédomine avec respectivement 33,17 et 40% du peuplement. Dans les champs de case, c'est la classe de hauteur comprise entre [10-15 m[qui prédomine avec 29,73% du peuplement. Elle est suivie de la classe de hauteur [5-10 m[avec 27,03% du peuplement.

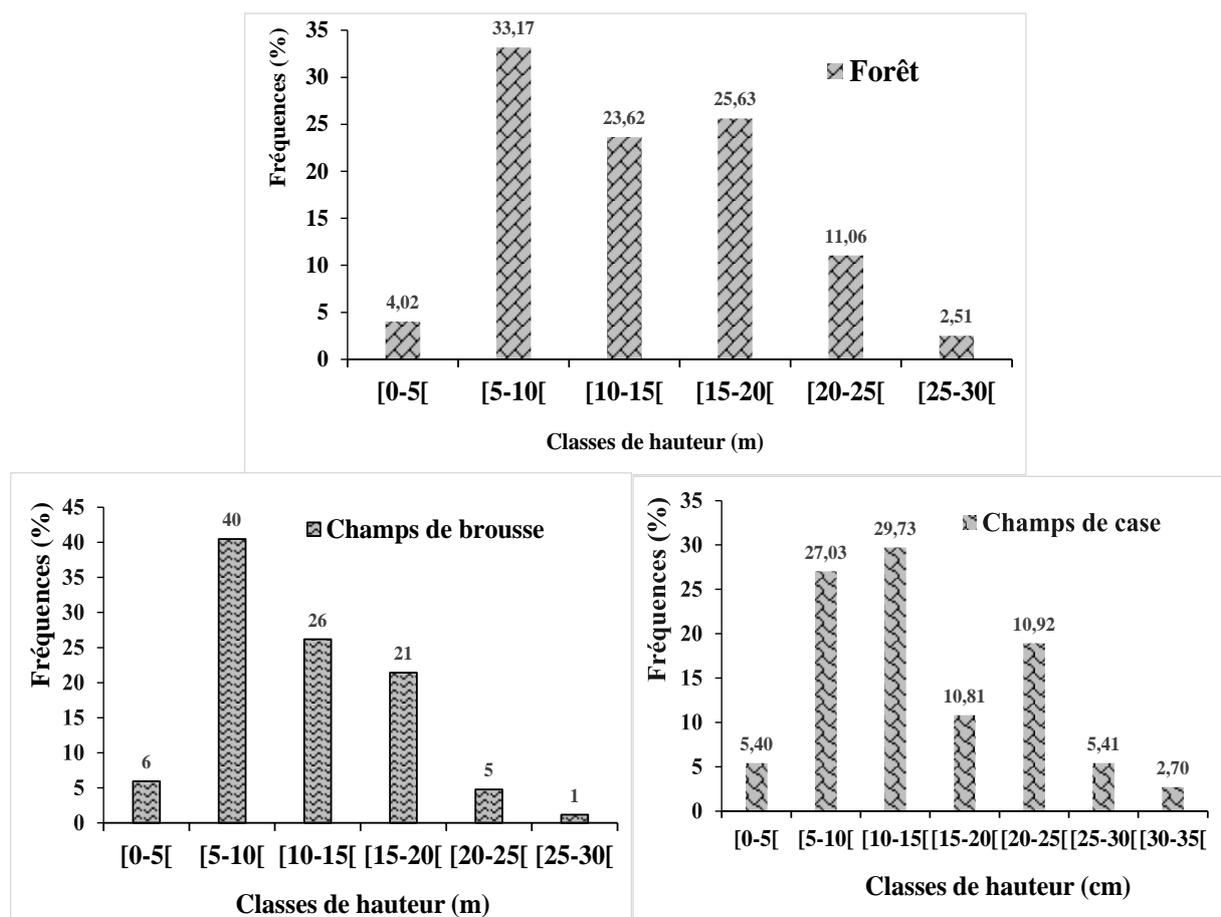


Figure 4 : distribution des individus du peuplement ligneux par classes de hauteur selon les différents SUT de la commune de Coumbacara

3.1.2.2. Structure horizontale

La Figure 5 présente dans les champs de case une distribution irrégulière du peuplement avec une prédominance des individus de classes de diamètre compris entre [70-80 cm]. Cette classe représente 18,75% du peuplement ligneux.

Quant aux champs de brousse et les forêts, leur peuplement ligneux présente une structure de type exponentiel décroissant synonyme d'un peuplement jeune et équilibré et traduisant une bonne régénération de la végétation ligneuses. La structure horizontale de la végétation ligneuse de ces SUT est caractérisée par une prédominance des individus de diamètre compris entre [10-20 cm] avec 27 et 30% des individus du peuplement ligneux respectivement dans les forêts et les champs de brousse. Cette classe de diamètre est suivie par les classes [20-30 cm] et [30-40 cm] avec 25 et 17% des individus du peuplement dans les forêts et 20 et 17% des individus du peuplement dans les champs de brousse.

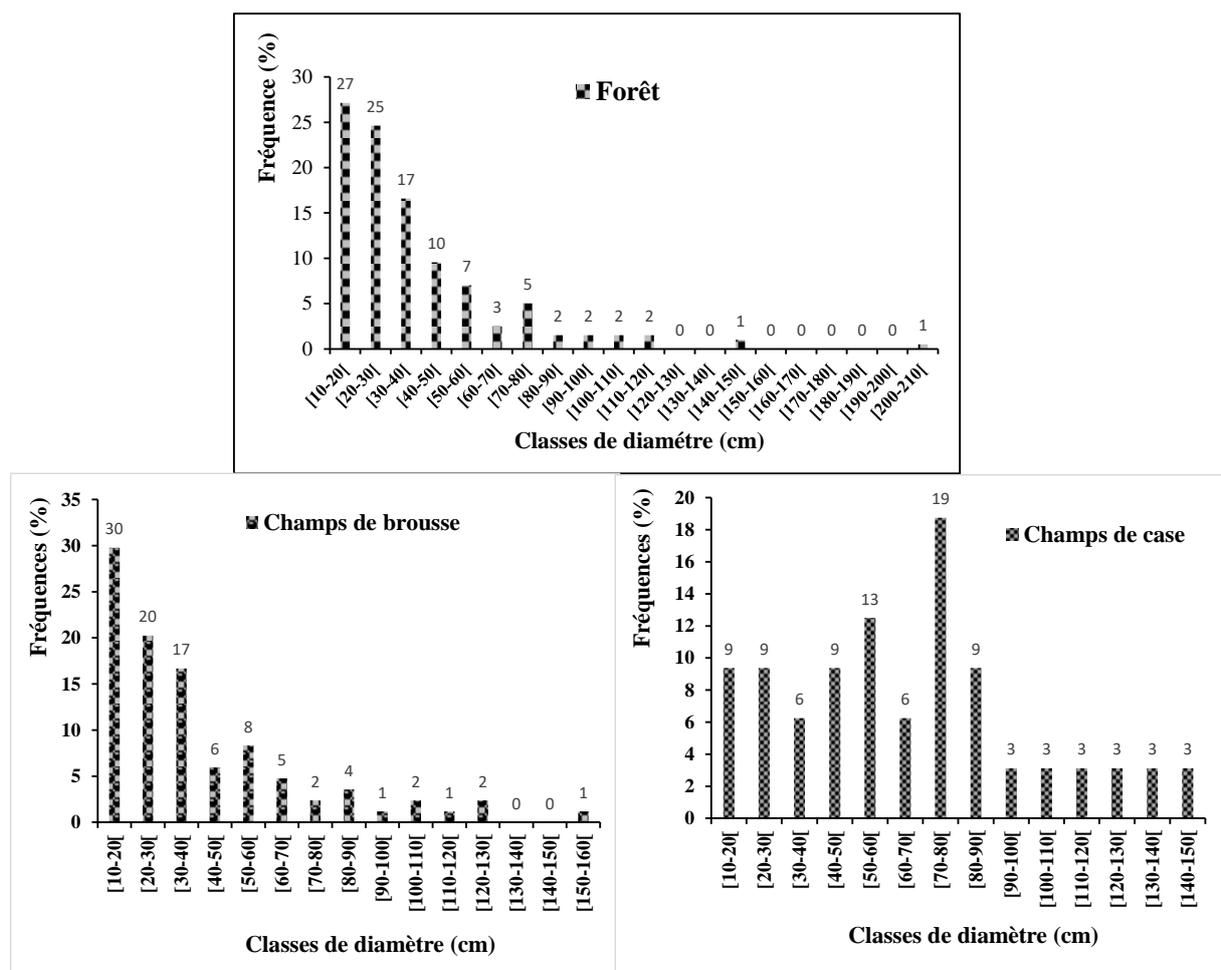


Figure 5 : distribution des individus du peuplement ligneux par classes de diamètres selon les différents SUT de la Commune de Coumbacara

3.1.3. Caractéristiques structurales et dendrométriques de la végétation ligneuse des SUT

L'analyse de variance portée sur les valeurs normalisées des paramètres structuraux de la végétation ligneuse a montré une différence significative entre les systèmes d'utilisation des terres (Tableau 3). Les valeurs des paramètres structuraux à savoir la densité moyenne, le taux de couverture moyen et la surface terrière moyenne sont plus élevés au niveau de la forêt avec respectivement $4,92 \text{ ind. ha}^{-1}$; $4,05\%$ et $0,16 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$. Les données de ces paramètres dans les champs de brousse ($3,01 \pm 0,5 \text{ ind. ha}^{-1}$; $2,45 \pm 0,88\%$ et $0,035 \pm 0,034 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$) sont ainsi plus faibles que celles des forêts mais plus élevées que celles enregistrées dans les champs de case ($1,89 \pm 0,65 \text{ ind. ha}^{-1}$; $1,91 \pm 1,12\%$ et $0,046 \pm 0,054 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$).

Tableau 3 : Caractéristiques des paramètres structuraux et dendrométriques de la végétation ligneuse en fonction des systèmes d'utilisation des terres

SUT	Densité (indha ⁻¹)	Taux de couverture (%)	Surface terrière (m ² .ha ⁻¹)	Diamètre (cm)	Hauteur (m)
Champs de case	$1,89 \pm 0,65^a$	$1,91 \pm 1,12^a$	$0,046 \pm 0,054^a$	$81,56 \pm 53,10^a$	$14,14 \pm 6,97^a$
Champs de brousse	$3,01 \pm 0,57^b$	$2,45 \pm 0,88^a$	$0,035 \pm 0,034^a$	$39,57 \pm 30,91^b$	$11,17 \pm 5,46^b$
Forêt	$4,92 \pm 0,39^c$	$4,05 \pm 0,57^b$	$0,16 \pm 0,084^b$	$37,26 \pm 28,55^b$	$12,32 \pm 5,74^{ab}$
Probabilité	$2e^{-16} ***$	$3,01e^{-10} ***$	$6,47e^{-9} ***$	$2,77e^{-12} ***$	$3,43e^{-2} *$

SUT : Système d'utilisation des terres ; *** traduit le degré de significativité $P < 10^{-3}$. Les chiffres qui suivent \pm représentent l'écart type. Les données des paramètres structuraux ont été normalisées par $\ln(x+1)$. Les chiffres reliés par les mêmes lettres, sur la même colonne, ne sont pas significativement différents.

L'ANOVA portée sur les données des paramètres dendrométriques (hauteur moyenne et diamètre moyen du tronc), révèle une différence significative entre faciès. Ces paramètres sont aussi plus élevés au niveau des champs de case avec respectivement $14,14 \pm 6,97 \text{ m}$ et $81,56 \pm 53 \text{ cm}$ pour la hauteur moyenne et le diamètre moyen du tronc des arbres. Ces champs de cases sont suivis par les champs de brousse avec une hauteur moyenne de $11,17 \pm 5,46 \text{ m}$ et un diamètre moyen du tronc de $39,57 \pm 30,91 \text{ cm}$ et des forêts avec $12,32 \pm 5,74 \text{ m}$ et $37,26 \pm 28,55 \text{ cm}$ respectivement pour la hauteur moyenne et le diamètre moyen du tronc.

3.1.4. Diversité spécifique de la végétation ligneuse des différents SUT

La diversité spécifique du milieu a été appréciée par la richesse spécifique moyenne, l'indice de Shannon moyen et l'équitabilité de Pielou moyen. L'examen des résultats de l'ANOVA portés dans le tableau 4 révèle une différence significative de la diversité spécifique au niveau des SUT. Ainsi, la richesse spécifique, l'indice de Shannon et l'équitabilité de Pielou sont significativement plus élevés au niveau des forêts avec des valeurs respectives de $7,85 \pm 3,48$ espèces ; $1,8 \pm 0,49$ bits et $0,90 \pm 0,08$; suivies des champs de brousse ($3,31 \pm 1,82$ espèces ; $0,86 \pm 0,6$ bits et $0,65 \pm 0,40$) et enfin des champs de case ($1,63 \pm 1,09$ espèces ; $0,33 \pm 0,49$ bits et $0,35 \pm 0,47$). Non seulement les forêts sont plus diversifiées, mais la répartition des individus y est régulière entre les espèces. Pour les champs de case et les champs de brousse, une différence significative n'est observée que pour l'indice de Shannon et l'indice d'équitabilité de Pielou avec des valeurs significativement plus importantes au niveau des champs de brousse.

Tableau 4 : variation de la diversité spécifique du peuplement ligneux en fonction des systèmes d'utilisation des terres

SUT	Richesse spécifique	Indice de Shannon	Equitabilité de Pielou
Champs de case	$1,63 \pm 1,09^a$	$0,33 \pm 0,49^a$	$0,35 \pm 0,47^a$
Champs de brousse	$3,31 \pm 1,82^a$	$0,86 \pm 0,62^b$	$0,65 \pm 0,40^b$
Forêts	$7,85 \pm 3,48^b$	$1,8 \pm 0,49^c$	$0,90 \pm 0,08^b$
Probabilité	$1,24e^{-11} ***$	$6,86e^{-12} ***$	$3,38e^{-5} ***$

SUT : Système d'utilisation des terres ; *** traduit le degré de significativité $P < 10^{-3}$. Les chiffres suivis de \pm représentent l'écart type. Les chiffres reliés par les mêmes lettres, sur la même colonne, ne sont pas significativement différents.

3.1.5. Typologies des espèces en fonction des systèmes d'utilisation des terres

La Figure 6 ci-dessous est une représentation de l'analyse en composantes principales de la matrice des systèmes d'utilisation des terres et la fréquence des espèces inventoriées. Les deux premiers axes absorbent 90,8% de l'information. Ainsi, les champs de brousses (F2) et les Forêts (F3) sont fortement et positivement corrélés à l'axe des abscisses avec des valeurs respectives de 50,90% et 40,51%. Par contre, les champs de Case (F1) sont positivement corrélés à l'axe des ordonnées avec une contribution de 80,17 % sur cette dimension. La première dimension (axe des abscisses) représente des SUT relativement peu anthropisés liés à l'éloignement des concessions (champs de brousse) alors que l'axe des ordonnées est caractérisé par les SUT des champs de case qui sont fortement anthropisés.

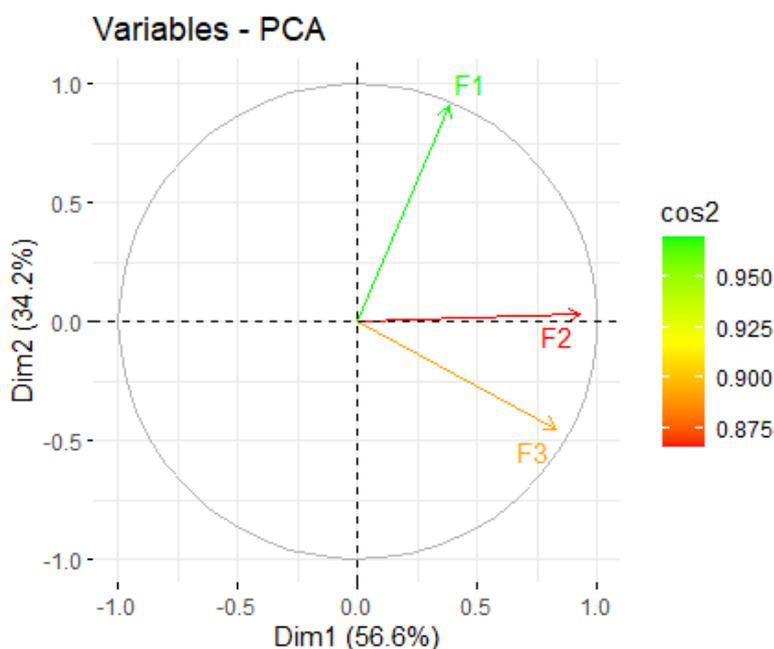


Figure 6 : diagramme de l'Analyse en Composantes principales (ACP) du cercle de corrélation des systèmes d'utilisation des terres (F1= Champs de Case ; F2= Champs de brousse et F3= Forêts).

La classification hiérarchique sur les composantes principales (Figure 7) a permis de définir des groupes d'espèces qui caractérisent le plus chaque SUT. Ainsi trois groupes (*clusters*) sont formés.

Le groupe 1 (*Cluster 1*) englobe majoritairement les espèces telles que *Anacardium occidentale*, *Icacina senegalensis* et *Tamarindus indica*. Ce groupe est faiblement corrélé à la dimension 1 et caractérise les champs de brousse.

Le groupe 2 (*cluster 2*) met en évidence les espèces qui caractérisent les champs de case et qui sont fortement corrélées à la dimension 2 (axe des ordonnées). Il s'agit spécifiquement de *Mangifera indica* et *Adansonia digitata*.

Le groupe 3 (*cluster 3*) illustre les forêts qui sont fortement corrélés à la dimension 1 (axe des abscisses). Ce groupe est caractérisé par les espèces *Combretum glutinosum*, *Terminalia macroptera*, *Piliostigma reticulatum*, *Prosopis africana*, *Lannea acida*.

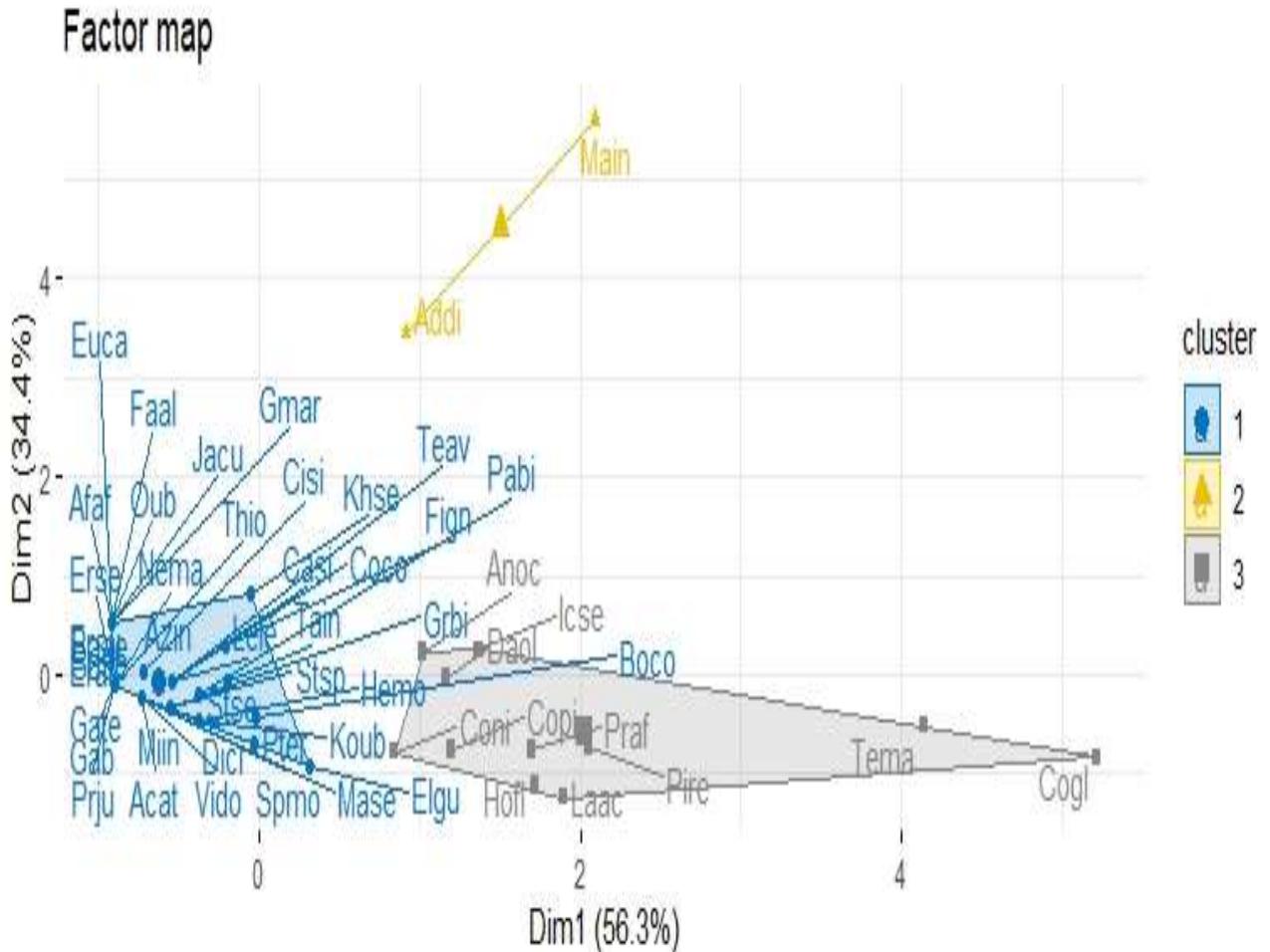


Figure 7 : diagramme de la classification hiérarchique des espèces sur les composantes principales.

3.2. Biomasse et stock de carbone de la végétation ligneuse des SUT

3.2.1. Estimation de la biomasse aérienne et souterraine de la végétation ligneuse des SUT

L'exploitation du tableau 5 montre une variation très hautement significative de la biomasse aérienne ligneuse et de la biomasse souterraine entre les SUT avec des probabilités respectives de $3,97e^{-7}$ et $1,31e^{-9}$. En effet, la biomasse aérienne ligneuse (AGB) et la biomasse souterraine (BGB), des forêts avec des valeurs respectives de $3,92 \pm 0,88$ et $2,19 \pm 0,66 \text{ t. ha}^{-1}$ est statistiquement plus importante que celle des champs de case ($2,04 \pm 1,35$ et $0,85 \pm 0,70 \text{ t. ha}^{-1}$) et des champs de brousses ($2,05 \pm 1,04$ et $2,88 \pm 1,59 \text{ t. ha}^{-1}$). Par contre la biomasse aérienne et souterraine produite par les ligneux n'est pas significativement différente entre les champs de case et les champs de brousse.

Tableau 5 : variation des valeurs normalisées de la biomasse aérienne et souterraine de la végétation ligneuse des systèmes d'utilisation des terres.

SUT	AGB (t. ha ⁻¹)	BGB (t. ha ⁻¹)	Biomasse totale (t. ha ⁻¹)
Champs de case	2,04±1,35 ^a	0,85 ±0,70 ^a	2,90± 2,05 ^a
Champs de brousse	2,05±1,04 ^a	0,83 ±0,55 ^a	2,88± 1,59 ^a
Forêts	3,92±0,88 ^b	2,19±0,66 ^b	6,12 ±1,55 ^b
Probabilité	3,97e ⁻⁷ ***	1.31e ⁻⁹ ***	4.27e ⁻⁸ ***

SUT : Système d'utilisation des terres ; AGB : biomasse aérienne ; BGB : biomasse souterraine

*** traduit le degré de significativité $P < 10^{-3}$ les chiffres qui suivent \pm représentent l'écart type. Les données ont été normalisées par $\ln(x+1)$. Les chiffres reliés par les mêmes lettres, sur la même colonne, ne sont pas significativement différents.

3.2.2. Estimation du carbone stocké dans la végétation ligneuse des SUT

La quantité de carbone stockée dans la biomasse aérienne et dans la biomasse souterraine des ligneux a varié significativement suivant les systèmes d'utilisation des terres (Tableau 5). Une différence très hautement significative est notée entre les forêts, les champs de case et les champs de brousses avec des p values respectives de $1,12 \times 10^{-5}$ et $5,41 \times 10^{-10}$ pour le carbone stocké dans la biomasse aérienne et souterraine. La quantité de carbone stocké dans la biomasse aérienne et souterraine de la végétation ligneuse des forêts ($1,57 \pm 0,19$ et $1,58 \pm 0,57$ t C. ha⁻¹) est statistiquement plus élevée que celle obtenue dans les champs de case ($0,99 \pm 0,51$ et $0,54 \pm 0,49$ t C. ha⁻¹) et dans les champs de brousse ($1,05 \pm 0,38$ et $0,51 \pm 0,37$ t C. ha⁻¹). Aucune différence significative n'a été observée entre le carbone stocké dans la végétation ligneuse des champs de case et celui de la végétation ligneuse des champs de brousse.

Tableau 6 : variation des valeurs normalisées de Carbone stocké dans la végétation ligneuse des différents systèmes d'utilisation des terres

SUT	Carbone aérien (t C. ha ⁻¹)	Carbone racinaire (t C. ha ⁻¹)	Carbone total (t C. ha ⁻¹)
Champs de case	0,99 ±0,51 ^a	0,54±0,49 ^a	1,54±0,98 ^a
Champs de brousse	1,05 ±0,38 ^a	0,51±0,37 ^a	1,56± 0,74 ^a
Forêts	1,57± 0,19 ^b	1,58±0,57 ^b	3,16± 0,76 ^b
Probabilité	1, 12 e ⁻⁵ ***	5,41e ⁻¹⁰ ***	1,53e ⁻⁸ ***

SUT : Système d'utilisation des terres ; *** traduit le degré de significativité $P < 10^{-3}$. Les chiffres qui suivent \pm représentent l'écart type. Les données ont été normalisées par $\ln(x+1)$. Les chiffres reliés par les mêmes lettres, sur la même colonne, ne sont pas significativement différents.

3.2.3. Relation entre les paramètres de stockage du carbone et les SUT

La figure 8 représente le diagramme de l'analyse en composantes principales réalisée à partir de la matrice 3 Systèmes d'utilisations / 7 paramètres de l'estimation de la biomasse et du stock de carbone. Cette figure avec une inertie de 84,5 % (60,9 % pour la dim1 et 23,6 % pour la dim2) montre que le plan factoriel constitué par les axes 1 et 2 contient l'essentielle de l'information sur les relations systèmes d'utilisation des terres/paramètres d'estimation du stock de carbone. Le groupe F1 et le groupe F2 sont formés par la dimension 2 (axe des ordonnées), et représentent les champs de case et les champs de brousse. Ainsi ces deux groupes sont corrélés à la hauteur (h) totale et au diamètre à hauteur de poitrine (d) des arbres. Cependant le groupe F3 (forêt) est formé par la dimension 1 (axe des abscisses) et est fortement corrélé à la biomasse aérienne (AGB), souterraine (BGB), au carbone aérien (cae), au carbone souterrain (csout) et à la densité du bois.

Il apparaît ainsi que des trois variables (densité du bois, hauteur totale et diamètre à hauteur de poitrine) c'est la densité du bois qui est plus déterminante sur le stockage du carbone.

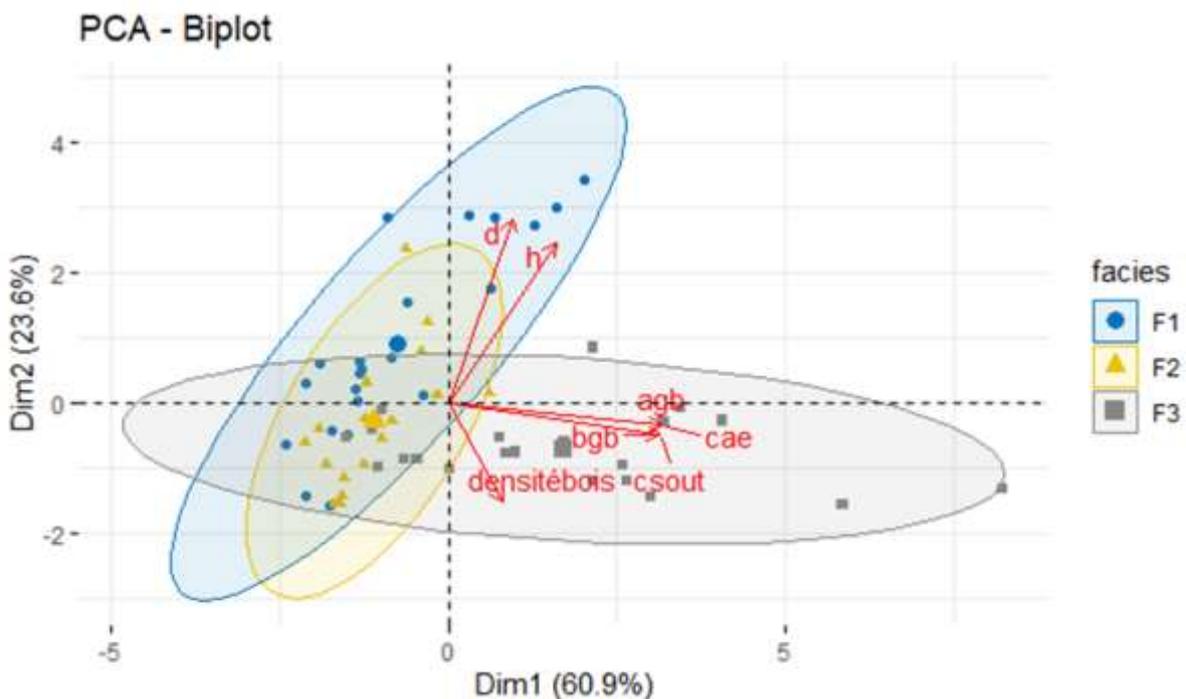


Figure 8 : carte de la typologie des SUT sur la base des paramètres de stockage du carbone générée par l'ACP

CHAPITRE 4 : DISCUSSION

Les systèmes d'utilisation des terres de la commune de Coumbacara sont répartis en champs de case, champs de brousse et forêts. L'analyse globale de la flore révèle une richesse spécifique de 48 espèces appartenant en 44 genres et 24 familles botaniques. Ainsi les *Cesalpiniaceae* (8 espèces) et les *Mimosaceae* (6 espèces) sont les plus représentées. Les *Anacardiaceae* et les *Malvaceae* représentées respectivement par *Mangifera indica* (50%) et *Adansonia digitata* (31,8%) sont plus fréquentes au niveau des champs de case. Dans les champs de brousse les espèces les plus fréquentes sont celles des familles des *Combretaceae* telle que *Terminalia macroptera* (66,7%) et des *Anacardiaceae* représentée par *Anacardium occidentale* (21,1%). Dans les forêts, les espèces les plus fréquentes sont *Combretum glutinosum* (61,9%), *Prosopis africana* (52,4%) et *Daniellia oliveri* (42,9%) qui appartiennent aux *Combretaceae*, *Mimosaceae* et *Cesalpiniaceae* respectivement. La dominance des fruitiers dans les champs de case a été relatée par l'étude de la perception paysanne sur les espèces ligneuses dans la commune de Coumbacara effectuée par Ndiaye (2020). Selon cette étude, *Saba senegalensis* (29,5 %), *Cordyla pinnata* (19,6 %) et *Elaeis guineensis* (10,1 %) sont les espèces dominantes. Ce sont surtout des espèces caractéristiques des vallées et où se pratiquent la riziculture. Alors que pour les autres systèmes de culture pratiqués sur le plateau, dominent les fruitiers recensés par cette étude. Ces systèmes d'utilisation des terres de la haute Casamance ont une composition floristique comparable à celle du bassin arachidier où Mbow et al. (2005) ont recensé 48 espèces réparties en 26 familles.

L'analyse de la structure démographique du peuplement ligneux des systèmes d'utilisation des terres a montré que les champs de case sont caractérisés par des individus de grande taille et de gros diamètre. Ces caractéristiques indiquent que dans les champs de case, le peuplement est vieillissant comme l'a affirmé Diédhiou et al. (2014). En effet, la pression anthropique y étant très forte entraînant ainsi une faible régénération des espèces ligneuses.

Dans les champs de brousse et dans les forêts, le peuplement ligneux présente une structure de type exponentiel décroissant synonyme d'un bon état de renouvellement des ressources végétales ; c'est à dire un peuplement relativement jeune et équilibré. Cette analyse soutient les observations de Bationo et al. (2001) qui considèrent que la structure de type exponentiel décroissant des populations indique une bonne régénération de l'espèce.

Les champs de case sont caractérisés par une faible densité ($1,89 \pm 0,65$ ind. ha⁻¹), une faible richesse spécifique ($1,63 \pm 1,09$ espèces), un faible taux de couverture ($1,91 \pm 1,12\%$) et de faible surface terrière ($0,046 \pm 0,054$ m²/ha). Les faibles valeurs de la densité et de l'indice de régularité dans les champs de case résulteraient de l'exploitation des espèces à usage multiple par les populations comme le révèlent Mbow et *al.* (2005).

Les valeurs élevées des indices de diversité (richesse spécifique, l'indice de Shannon et l'équitable de Piélou) et de la densité dans les forêts et dans les champs de brousses comparées à celles des champs de cases, semblent être corrélées au gradient de l'effet anthropique. Ces résultats corroborent ceux de Pullan (1974) qui soutient que sur les parcs agroforestiers de l'Afrique de l'Ouest, la différence entre les zones caractérisées par un grand nombre de petits arbres et celles qui ne comportent que quelques arbres aux larges couronnes s'expliquent souvent par la durée d'exploitation agricole »

La Classification Hiérarchique sur les Composantes Principales révèle trois groupes selon leurs caractéristiques. Il s'agit du groupe d'espèces caractéristiques des champs de brousses dominé majoritairement par *Anacardium occidentale*, *Icacina senegalensis* et *Tamarindus indica*. Ce groupe est caractérisé par des espèces de faible diamètre et de faible hauteur avec une faible densité et une diversité relativement élevée. La forte présence de *Anacardium occidentale* est due à sa rentabilité économique qui pousse davantage les producteurs à exploiter les espaces agricoles pour la mise en place de nouvelles plantations (Lawal et *al.*, 2007) comme c'est le cas pour cette *Acacardiaceae*.

Le groupe 2 représente les champs de case où dominant *Mangifera indica* et *Adansonia digitata*. Ces sont de grands arbres caractérisés par de gros diamètre avec des densités faibles. Ce sont des fruitiers délibérément introduits et/ou préservés par les populations malgré les fortes pressions exercées sur le milieu. Ce phénomène caractérise la volonté des habitants d'accéder aux produits et d'affirmer leur droit de propriété (Assogbadjo et *al.*, 2021). La structure et la distribution spatiale des parcs à baobab dans la zone d'étude sont également en partie déterminées par des facteurs socio-économiques et culturels (Bationo et *al.*, 2010).

Le dernier groupe représente les forêts où dominant *Combretum glutinosum*, *Terminalia macroptera*, *Piliostigma reticulatum*, *Prosopis africana*, *Lannea acida*. Ce groupe renferme plus de *Combretaceae*. Il regroupe des espèces capables de coloniser facilement le milieu avec comme conséquence leur dominance et une modification de la structure ligneuse (Mbow et *al.*,

2005). Selon Diatta, (2019), les *Combretaceae* constituent un indicateur pertinent pour mesurer l'état de la végétation, mais également la pression anthropique sur les ressources.

L'estimation de la biomasse aérienne (AGB) et souterraine (BGB) des espèces ligneuses a été faite à l'aide de l'équation de Chave *et al.* (2014) et de Cairns *et al.* (1997) respectivement. Les résultats révèlent que les biomasses aériennes et souterraines des forêts adjacentes aux terres cultivées sont supérieures à celles des champs de case et des champs de brousse. Dans ces forêts, les valeurs réelles de biomasse aérienne et de biomasse souterraine sont respectivement de 68,13 t.ha⁻¹ et 9,88 t.ha⁻¹ et correspondant à 32,02 t C.ha⁻¹ et 4,64 t C.ha⁻¹ respectivement pour un stock de carbone. Selon l'analyse de la typologie des SUT en fonction des variables, cette production de biomasse et du stock de carbone des espèces ligneuses sont fortement plus corrélés aux densités de bois élevés plutôt qu'à la hauteur et le diamètre. Ainsi le stock moyen de carbone estimé par Ifo et Binsangou (2019) dans les forêts récemment exploitées au Congo est de 45,5 t C.ha⁻¹. Cette quantité est légèrement supérieure à celle obtenu dans le cadre de cette étude. En effet la densité du bois est un paramètre essentiel pour l'estimation de la biomasse. Cependant la quantité de la biomasse estimée sans la densité du bois tend vers une surestimation ou à une sous-estimation des résultats. Comme les résultats de Mbow (2009) dans les savanes soudaniennes et soudano-guinéennes des forêts classées de Bala, Kantora, Mampaye, Ouli, Patako et Welor au Sénégal. L'estimation de la biomasse et la quantité de carbone pour ces résultats avec le modèle allométrique de type polynomial varient de 7,9 à 102,2 t MSha⁻¹ pour la biomasse et de 3,93 à 50,89 t C.ha⁻¹ pour le stock de carbone. Au Burkina Faso, Ouedraogo *et al.* (2019) ont obtenu des valeurs de 35,33 et 4,55 tMS.ha⁻¹ respectivement pour la biomasse aérienne et la biomasse racinaire et des valeurs de 17,66 et 2,28 t C ha⁻¹ respectivement pour le stock de carbone aérien et racinaire.

Dans les systèmes destinés à l'exploitation agricole, il n'y a pas eu de différence significative entre les champs de case et les champs de brousse pour la biomasse aérienne et souterraine ainsi que le stock de carbone. Les quantités réelles de biomasse aérienne et souterraine obtenues correspondent respectivement à 15,54 tMS.ha⁻¹ et 2,01 t.ha⁻¹ dans les champs de case et 11,29 t MS.ha⁻¹ et 1,66 t MS.ha⁻¹ dans les champs de brousse. Ces valeurs correspondent à des stocks de carbone respectifs de 7,30 tC.ha⁻¹ et 0,94 tC.ha⁻¹ dans les champs de case et 5,31 tC.ha⁻¹ et 0,78 t C.ha⁻¹ dans les champs de brousse. Cette faible production de biomasse ligneuse et de stock de carbone dans ces systèmes agricoles est expliquée par Monssou *et al.* (2016) comme étant liée à la faible diversité des espèces ligneuses et par conséquent à des densités de bois faibles caractéristiques de *Adansonia digitata* et de *Mangifera indica* qui dominent dans les

champs de Case. Ainsi, la production de biomasse et de stock de carbone dans les systèmes de culture est plus expliquée par les variables hauteur et diamètres à hauteur de poitrine. Aussi, nos résultats en termes de stock de carbone restent largement inférieurs à ceux de Saïdou et *al.* (2012) qui ont obtenu pour la partie aérienne ligneuse et vivante des systèmes agroforestiers à karité et à néré en zone soudanienne du Bénin un stock de $20,17 \pm 4,19 \text{ tC.ha}^{-1}$. Ils sont par contre plus importants que ceux obtenus par Peltier et *al.* (2007) et Diatta et *al.* (2016) qui ont respectivement trouvé un stock de carbone de $5,046 \text{ tC.ha}^{-1}$ dans la biomasse aérienne d'un parc à *Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn. du Nord Cameroun et $2,40 \text{ tC.ha}^{-1}$ dans la biomasse aérienne d'un parc agroforestier à *Cordyla pinnata* dans le Sud du Bassin Arachidier (Sénégal). Diatta et *al.* (2016) affirment également que le parc agroforestier dans le Bassin Arachidier sénégalais est dans un état de dégradation poussée et entrainerait un déséquilibre dans les flux de carbone.

Conclusion

La présente étude a pour objectif d'évaluer la diversité et d'estimer la biomasse aérienne et souterraine ainsi que le stock de carbone des arbres dans les systèmes d'utilisation des terres de la commune de Coumbacara. Il est ressorti de cette étude que les forêts adjacentes aux champs sont caractérisées par une forte densité, une diversité élevée et une faible hauteur et diamètre des arbres. La quantité de biomasse produite et la quantité de carbone stockée y sont plus importantes. Quant aux champs de case et aux champs de brousse, ils sont caractérisés par une diversité et une densité faible et par une hauteur et un diamètre du tronc des arbres relativement élevés. La biomasse produite et le stock de carbone y sont relativement élevés.

Ces résultats permettent d'affirmer que la biomasse et le stock de carbone des ligneux évoluent suivant un gradient décroissant d'anthropisation des formations naturelles plus stables (forêt) vers celles perturbées (champs de case et champs de brousse). Toutefois, ces dernières destinées à l'agriculture ont un potentiel de stockage de carbone relativement élevé qui mérite d'être préserver.

Au vu de l'importance de ces résultats pour l'estimation de la contribution des écosystèmes forestiers et agroforestiers à l'atténuation des effets du changement climatique, il apparaît opportun de reconduire cette étude dans les autres zones agro-écologiques du Sénégal.

En outre, il apparaît nécessaire de mettre en place une politique de restauration de ces milieux anthropisés afin d'accroître leur potentiel de séquestration de carbone en vue d'une meilleure contribution à l'atténuation des effets du changement climatique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abani S.Z.J. (2012).** Application des mesures dendrométriques pour l'estimation de la biomasse aérienne dans la forêt secondaire de la Réserve Forestière de Voko (Province de la Tshopo, RD Congo). Mémoire, Présenté et défendu en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur en Gestion des Ressources Naturelles Renouvelables. *Option: Aménagement des écosystèmes forestiers*. Université de Kisangani 46 p.
- Agobia C.A. (1999).** Enhancing sustainable livelihoods in drought prone areas of Mudzi (Makaha Ward) and Gwanda (Gwanda Ward 19). *Building on Adaptive Strategies. IISD, Community Drought Mitigation Project, Final Report Project*. Number 050/19284, September 1999. 34 p.
- Agridape. (2011).** Forêt et agroforesterie. Revue sur l'agriculture durable à faible exports externes. Volume 27. N°2. 46 p.
- Ahmad F., Goparaju L., Qayum A. (2019).** FAO guidelines and geospatial application for agroforestry suitability mapping: case study of Ranchi, Jharkhand state of India. *Agroforestry Systems*, **93**(2) : 531-544.
- Angelsen A., Rudel T.K. (2013).** Designing and implementing effective REDD+ policies: A forest transition approach. *Review of Environmental Economics and Policy*, **7**(1): 91-113.
- ANSD. (2015).** Rapport de projection de la population du Sénégal 2013-2063. Dakar (Sénégal) 175p.
- Assogbadjo B.E.J., Hounkpevi A., Barima Y.S.S., Akabassi G.C., Padonou E.A., Sangne Y.C., Assogbadjo A.E., Kakaï R.G. (2021).** Diversité et état de conservation des espèces ligneuses alimentaires à la périphérie de la Forêt Classée de la Lama (Bénin) . Published: 31-12-2021 *Int. J. Biol. Chem. Sci.* **15**(6): 2456-2474.
- Arbonnier M. (2009).** Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest. Editions Quæ et Muséum national d'histoire naturelle de Paris, 579p.
- Badiane M., Camara B., Ngom D., Diedhiou M.A.A. (2019).** Perception communautaire des parcs agroforestiers traditionnels à *Faidherbia albida* (Del.) Chev. en Basse Casamance, Sénégal. *Afrique Science*, **15**(1): 214-226.
- Baets D.N., Gariépy S., Vésina A. (2007).** Le portrait de l'agroforesterie au Québec. 88 p
- Barnaud C., Antona M., Marzin J. (2011).** Vers une mise en débat des incertitudes associées à la notion de service écosystémique. *[Vertigo] La revue électronique en sciences de l'environnement*, **11**(1).
- Bationo B.A., Ouedraogo S. J., Guinko S. (2001).** Longévité des graines et contraintes à la survie des plantules de *Azelia africana* Sm. dans la forêt classée de Nazinon (Burkina Faso). *Annales des Sciences Forestières*, **58** : 69-75.
- Bationo B.A., Maïga A., Compaore P., Kalinganire A. (2010).** Dimension socioculturelle du baobab *Adansonia digitata* L. dans le Plateau central du Burkina Faso. *Bois et Forêts des tropiques*, n ° **306** (4).

- Béer J., Harvey C., Ibrahim M., Harmand, J.M., Somarriba E., Jiménez F. (2003).** Servicios ambientales de los sistemas agroforestales. *Agroforesteria en las Américas*. **10**(37-38) : 80-87.
- Berhaut J. (1967).** Flore illustrée du Sénégal. Editions Clairafrique deuxième édition, 485p.
- Boffa J.M. (2000).** Les parcs agroforestiers en Afrique Subsaharienne. *Cahier FAO conservation* 34 : Rome. ISBN 92-5-204376-4.
- Boven K., Morohashi J. (2002).** Best Practices using Indigenous Knowledge. Nuffic, The Hague, The Netherlands, and unesco/most. Paris, France. 280 p.
- Boyé A. (2001).** Situation des ressources génétiques forestières du Sénégal. Atelier sousrégional FAO/IPGRI/CIRAF sur la conservation, la gestion, l'utilisation durable et la mise en valeur des ressources génétiques forestières de la zone sahélienne (Ouagadougou, 22-24 sept. 1998). Note thématique sur les ressources génétiques forestières. Document FGR/8F. Service de la mise en valeur des ressources forestières, Division des ressources forestières. FAO, Rome (non publié). P 31
- Brown S., Gillespie A.J.R. & Lugo A.E. (1989).** Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *For. Sci.*, **35**(4) : 881-902.
- Brown S. (2002).** Measuring carbon in forests: current status and future challenges. *Environmental Pollution*, **116**(3) : 363-372.
- Cairns, A. M., Helmer, H. E. B. S., et Baumgardner, A. G. (1997).** Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia* **111** : 1-11.
- Camara B., Sagna B., Ngom D., Niokane M., Gomis Z. (2017).** Importance socioéconomique de *Elaeis guineensis* Jacq. (Palmier à huile) en Basse Casamance (Sénégal). *European Scientific Journal* April 2017 edition **Vol.13**, N°12 ISSN :1857-7881 (Print) e - ISSN 1857-7431.
- Camirand J., Gingras C. (2011).** Les changements climatiques : quels en sont les causes et les impacts. Agriculture et climat. 4p.
- Chave J., Andalo C., Brown S., Cairns M. A., Chambers J. Q., Eamus D., Ister H. Fo., Fromard F., Higuchi N., Kira T., Lescure J.-P., Nelson B. W., Ogawa H., Puig H., Riera B., Yamakura T. (2005).** Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Ecosystem Ecology*, **145** : 87-99 DOI 10.1007/s00442-005-0100-x.
- Chave, J., Coomes, D., Jansen, S., Lewis, S.L., Swenson, N.G. and Zanne, A.E. (2009).** Towards a Worldwide Wood Economics, Spectrum. *Ecology Letters*, **12**, 351-366. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01285.x>
- Chave J., Réjou-Méchain M., Búrquez A.M., Chidumayo E., Colgan M.S., Delitti W.B.C., Duque A., Eid T., Fearnside P.M., Goodman R.C., Henry M., Martínez-Yrizar A., Mugasha W.A., Muller-Landau H.C., Mencuccini M., Nelson B.W., Ngomanda A., Nogueira E.M, Ortiz-Malavassi E, Péliissier R, Ploton P, Ryan C.M, Saldarriaga J.G.,**

- Vieilledent G. (2014).** Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, **20** : 3177–3190.
- Chidumayo E., Okali D., Kowero G., Larwanou, M. (2011).** Forêts, faune sauvage et changement climatique en Afrique. *African Forest Forum, Nairobi, Kenya*. 356 p.
- Daily G. C., Alexander S., Ehrlich P. R., Goulder L., Lubchenco J., Matson P. A., Mooney H. A., Postel S., Schneider S. H., Tilman D., Woodwell G. M. (1997).** Ecosystem Services: Benefits Supplied to Human Societies by Natural Ecosystems. *Ecological Society Washington, D.C.* 18 p.
- Dalimier J., Achard F., Delhez B., Desclée B., Bourgoïn C., Eva H., Gourlet-Fleury S., Hansen M., Kibambe J-P., Mortier F., Ploton P., Réjou-Méchain M., Vancutsem C., Jungers Q., Defourny P. (2021).** Répartition des types de forêts et évolution selon leur affectation. Les forêts du bassin du Congo, 34 p.
- Diatta M. (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
- Diatta, A. A., Ndour, N., Manga, A., Sambou, B., Faye, C. S., Diatta, L., Dieng, S. D. (2016).** Services écosystémiques du parc agroforestier à *Cordyla pinnata* (Lepr. ex A. Rich.) Milne-Redh. dans le Sud du Bassin Arachidier (Sénégal). *Internationa. Journal of Biological and Chemical Sciences.*, vol **10**, n°6 : 2511–2525. DOI: 10.4314/ijbcs.v10i6.9.
- Diatta T. C. (2019).** Caractérisation de la végétation ligneuse des parcs agroforestiers et importance de l'espèce *Parkia biglobosa* (Jacq.) R. Br. Ex G.Don dans les exploitations agricoles de l'arrondissement de Tendouck (Bignona, Basse Casamance). Mémoire de Master 2. Université Assane Seck de Ziguinchor. 72p.
- Diedhiou M.A.A., Faye E., Ngom D., Toure M.A. (2014).** Identification et caractérisation floristiques des parcs agroforestiers du terroir insulaire de Mar Fafaco (Fatick, Sénégal). *Journal of Applied Biosciences* **79** : 6855 – 6866 ISSN 1997–5902.
- Dimobe K. (2017).** Dynamique, séquestration de carbone et modèles de variations des savanes soudaniennes du Burkina Faso et du Ghana (Afrique de l'Ouest). Thèse de Doctorat. Spécialité : Sciences et Phytoécologie. Laboratoire Biologie/ Ecologie Végétale, Université Ouaga I Pr Joseph KI-ZERBO, Ouagadougou, BF, 179 p.
- Dixon R.K. (1995).** Sources or sinks of greenhouse gases ? **31**: 99-116.
- Diwediga B., Le Q.B., Agodzo S., Wala K. (2017).** Potential storages and drivers of soil organic carbon and total nitrogen across river basin landscape : The case of Mo river basin (Togo) in West Africa. *Ecological Engineering*, **99** : 298-309.
- Djomo A.N., Knohl A., Gravenhorst G. (2011).** Estimations of total ecosystem carbon pools distribution and carbon biomass current annual increment of a moist tropical forest. *Forest Ecology and Management*, **261**(8) : 1448-1459.

- Ebuy J., Lokombe J.P., Ponette Q., Sonwa D., Picard N. (2011).** Allometric equation for predicting aboveground biomass of three tree species. *Journal of tropical Forest Science.*, **23**(2), 125-132.
- Ekoungoulou R., Liu X., Ifo S.A., Loumeto J.J., Folega F. (2014).** Carbon stock estimation in secondary forest and gallery forest of Congo using allometric equations.[J]. *International Journal of Scientific & Technology Research*, (3) : 465-474.
- FAO (2010).** Évaluation des ressources forestières mondiales. Termes et définitions. Rome. 40 p. <http://www.fao.org/docrep/014/am665f/am665f00.pdf>.
- FAO (2012).** Situation des forêts du monde. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. Rome, 66 p.
- Faye E., Diatta M., Samba A.N.S., Lejoly, J. (2008).** Usages et dynamique de la flore ligneuse dans le terroir villageois de Latmingué (Sénégal). *Journal of Agriculture and Environment for International Development - JAEID*, **108**(2) : 191- 206. DOI: 10.12895/jaeid.20142.240
- Fayolle A., Gillet J-F., Bourland N., Doucet J-L. (2013).** Tree allometry in Central Africa: Testing the validity of pantropical multi-species allometric equations for estimating biomass and carbon stocks. *Forest Ecology and Management.*, **305** : 29-37.
- Feldpausch T.R., Lloyd J., Lewis S.L., Brien R.J.W., Gloor M., Monteagudo M.A., Lopez G.G., Banin L., Abu S.K., Affum B.K., Alexiades M., Almeida S., Amaral I., Andrade A., Aragão L.E.O.C., Araujo M.A., Arets E.J.M.M., Arroyo L., G.A. Aymard C, T. R. Baker, O. S. Bánki, Berry N.J. Cardozo N, Chave J. , Comiskey J.A. , Alvarez E., de Oliveira A., Di Fiore A., Djangbletey G, Domingues T.F, Erwin T.L, P. M. Fearnside, M. B. França, M.A. Freitas, N. Higuchi, E. Honorio C,Y. Iida, E. Jiménez, A.R. Kassim,T.J. Killeen, W.F. Laurance, J.C. Lovett, Y. Malhi, B.S. Marimon, B.H. Marimon-Junior, E. Lenza,A. R. Marshall, Mendoza C, Metcalfe D.J., E.T.A. Mitchard, D.A. Neill, B.W. Nelson, R. Nilus, Nogueira E.M, Parada A, Peh K.S.H, A. Pena Cruz, Peñuela M.C. , Pitman N.C.A., Prieto A., C. A. Quesada, F. Ramírez,H. Ramírez-Angulo, J. M. Reitsma, Rudas A, Saiz G., Salomão R. P., Schwarz M., Silva N., Silva-Espejo J.E.,M. Silveira, B. Sonké, J. Stropp, H. E. Taedoumg, S. Tan, H. ter Steege, J. Terborgh, M. Torello-Raventos, van der Heijden G.M.F, R.Vásquez, Vilanova E, Vos V.A, White L, Willcock S, Woell H, O.L. Phillips. (2012).** Tree height integrated into pantropical forest biomass estimates. *Biogeosciences*, **9** (8) : 3381- 3403.
- Folega F., Zhang C., Samake G., Kperkouma W., Batawila K., Zhao X., Koffi A. (2011).** Evaluation of agroforestry species in potential fallows of areas gazetted as protected areas in North-Togo. *African Journal of Agricultural Research*, **6**(12) : 2828-2834.
- Folega F., Diwediga B., Guuroh R.T., Kperkouma W., Akpagana K. (2020).** Riparian and stream forests carbon sequestration in the context of high anthropogenic disturbance in Togo. *Moroccan Journal of Agricultural Sciences*, **1** (1). 12p.
- Follett, R. F. (2001).** Soil Management Concepts and Carbon Sequestration in Cropland Soils. *Soil & Tillage Research*, **64** : 77-92.

- Gbedomon R., Salako V., Chadare F., Kakaï R.G., Assogbadjo A. (2016).** Gendered motivation for home gardening and maintenance of agrobiodiversity : a case study in Benin, West Africa. *Annales des Sciences Agronomiques*, **20**(2) : 91-104.
- Geoff, R. (2009).** Current Adaptation Measures and Policies. In: Seppälä, R., Buck, A., Katila, P.(eds.), *Adaptation of Forests and People to Climate Change. A Global Assessment Report*. IUFRO World Series Volume **22**. Helsinki. 12 p.
- Gibbs H.K., Brown S., Niles J.O., Foley J.A. (2007).** Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality. *Environmental Research Letters*, **2**(4) : 045023. 13p.
- Gibbs H. K., Ruesch A. S., Achard F., Clayton M. K., Holmgren P., Ramankutty N., Foley J. A. (2010).** Tropical forests were the primary sources of new agricultural land in the 1980s and 1990s Turner, Arizona State University, Tempe, AZ. **107** (38) 16732-16737. <https://doi.org/10.1073/pnas.0910275107>
- GIEC. (2003).** Recommandations en matière de bonnes pratiques pour le secteur de l'utilisation des terres, changements d'affectation des terres et foresterie. *Institute for Global Environmental Strategies (IGES)*. ISBN 92-9169-217-4. 594 p
- GIEC. (2006).** Lignes directrices du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre ; agriculture, foresterie et autres affectations des terres. *Institute for Global Environmental Strategies*, vol.4, Japon, 93 p.
- GIEC. (2013).** Résumé à l'intention des décideurs, changements climatiques 2013 : les Eléments Scientifiques. Contribution du Groupe de travail I au cinquième Rapport d'Evaluation du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'évolution du climat. *Cambridge University Press : Cambridge, Royaume-Uni et New York, Etats Unis d'Amérique*, 204 p.
- GIEC. (2018).** Résumé à l'intention des décideurs, Réchauffement planétaire de 1,5 °C, Rapport spécial du GIEC sur les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1,5 °C par rapport aux niveaux préindustriels et les trajectoires associées d'émissions mondiales de gaz à effet de serre, dans le contexte du renforcement de la parade mondiale au changement climatique, du développement durable et de la lutte contre la pauvreté. *Organisation météorologique mondiale, Genève, Suisse*, 32 p.
- GIEC. (2019).** Résumé à l'intention des décideurs, Changement climatique et terres émergées : rapport spécial du GIEC sur le changement climatique, la désertification, la dégradation des sols, la gestion durable des terres, la sécurité alimentaire et les flux de gaz à effet de serre dans les écosystèmes terrestres. 39 p.
- Giffard P.L. (1974).** L'Arbre dans le paysage Sénégalais. Centre Technique Forestier Tropical. Dakar, 3 p.
- Gold M.A., Rietveld W.J., Garrett H.E., Fisher F. (2000).** Agroforestry nomenclature, Concepts and practices for the USA, dans *North American agroforestry : an integrated science and practice*. pp. 32-63.
- Hamon X., Dupraz C., Liagre F. (2009).** L'Agroforesterie Outil de Séquestration du Carbone en Agriculture. Compte d'Affectation Spécial pour le Développement Agricole et Rural (CASDAR) du Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et de la Pêche. 18 p

- Henry M., Besnard A., Asante W.A., Eshun J., Adu-Bredu S., Valentini R., Bernoux M., Saint-André L. (2010).** Wood density, phytomass variations within and among trees, and allometric equations in a tropical rainforest of Africa. *For. Ecol. Manage.*, **260** : 1375-1388.
- Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Peter G., Jones J.A. (2005).** Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International journal of climatology*. **25**, 1965–1978.
- Idohou R., Fandohan B., Salako VK., Kassa B., Gbèdomon R.C., Yédomonhan H., Glèlè Kakai R.L., Assogbadjo A.E. (2014).** Biodiversity conservation in home gardens: traditional knowledge, use patterns and implications for management. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, **10**(2): 89-100 DOI : <https://doi.org/10.1080/21513732.2014.910554>
- Iboudo D. (2018).** Evaluation de la biomasse et du potentiel de séquestration de carbone par les petites formations forestières des savanes en zone soudanienne du Burkina Faso : cas du site de l’Ecole Nationale des Eaux et Forêts (ENEF). Mémoire de fin de cycle. Diplôme d’ingénieur du développement rural Option : vulgarisation agricole. *Université Nazi Boni (Unb)*. 80p.
- Ifo S.A., Binsangou S.M. (2019).** Variabilité spatiale du stock de carbone de la biomasse aérienne de la zone urbaine vers la forêt tropicale dense dans cinq localités de la république du Congo. Conférence OSFACO : Des images satellites pour la gestion durable des territoires en Afrique, Cotonou, Bénin. fihal-02189395ff. 16 p.
- IPCC. (1998).** The regional impact of climate change : An assessment of vulnerability. In: Watson, R.T., Zinyowera, M.C. and Moss, R.H. (eds.), Special report of IPCC Working Group II, *Cambridge University Press, Cambridge*. 530 p.
- IPCC. (2000).** Land use, land-use change and forestry (LULUCF). Watson, R.T. et al. (eds). *Cambridge University Press*. 375 pp.
- IPCC. (2001).** Special Report on The Regional Impacts of Climate Change: An Assessment of Vulnerability. Intergovernmental Panel on Climate Change, W MO/UNEP, Geneva. 10 p.
- Kebezikato A. B., Wala K., Dourma M., Atakpama W., Dimobe K., Pereki H., Batawila K., Akpagana K. (2014).** Distribution et structure des parcs à *Adansonia digitata* L. (baobab) au Togo (Afrique de l’Ouest). *Afrique SCIENCE* **10**(2): 434 – 449 434 ISSN 1813-548X. <http://www.afriquescience.info>.
- Kombate B., Dourma M., Folega F., Woegan A.Y., Kpérkouma W., Akpagana K. (2019).** Structure et potentiel de séquestration de carbone des formations boisées du Plateau Akposso en zone sub-humide au Togo. *Afrique SCIENCE*, **15**(2) : 70-79.
- Kumar B. M. et Nair P. K. R. (2011).** Carbon Sequestration Potential of Agroforestry Systems : Opportunities and Challenges. *Advances in Agroforestry*, vol. **8**, 326 p.
- Larwanou M., Elasha B.O., Kowero G. (2011).** Mesures d’adaptation et d’atténuation du changement climatique dans le domaine forestier. Forêts, faune sauvage et changement climatique en Afrique. 356 p.

- Lawal J.O., Jaiyeola C.O. (2007).** Economic analysis of cocoa wine produced from cocoa powder, *Journal Agricultural Food and Environ*, **5** (2): 76 - 77.
- Liu, S., Kairé, M., Wood, E., Diallo, O. et Tieszen, L. L. (2004).** Impacts of land use and climate change on carbon dynamics in south-central Senegal. *Journal of Arid Environments*, **59**: 583-604.
- Luedeling E., Neufeldt H. (2012).** Carbon sequestration potential of parkland agroforestry in the Sahel. *Climatic Change*, **115**(3-4): 443-461.
- Mbow M.A., Faye E.H., Kaire M., Akpo L.E., Diouf M. (2005).** Diversité d'une végétation ligneuse soudanaise dans les systèmes d'utilisation des terres du sud-ouest du bassin arachidier (senegal). *Journal des Sciences et Technologies*, CAD, Vol. 7(1) : 21 – 34.
- Mbow C. (2009).** Potentiel et dynamique des stocks de carbone des savanes soudanaises et soudano- guinéennes du Sénégal. Thèse de Doctorat d'Etat des Sciences. Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD), Dakar, Sénégal, 291 p.
- MEA. (2005).** Rapport de synthèse de l'Evaluation des écosystèmes pour le Millénaire. 59P.
- Monssou, E. O., Vroh, B. T. A., Goné, B. Z. B., Adou, Y. C. Y., et N'Guessan, K. E. (2016).** Evaluation de la diversité et estimation de la biomasse aérienne des arbres du Jardin Botanique de Bingerville (District d'Abidjan, Côte d'Ivoire). *European Scientific Journal* vol.12, n°.6 : 168–184.
- Mugasha W.A., Eid T., Bollandsås O.M., Malimbwi R.E., Chamshama S.A.O., Zahabu E., Katani J.Z. (2013).** Allometric models for prediction of above- and belowground biomass of trees in the miombo woodlands of Tanzania. *For. Ecol. Manage.*, **310** : 87-101.
- Murphy D., Drexhage J., Wooders P. (2009).** Les mécanismes internationaux du marché du carbone au sein d'un accord post-2012 sur les changements climatiques. *Institut international du développement durable (IIDD)*, 35 p
- Nair, P.K.R. (1993).** An introduction to agroforestry. *Kluwer Académie Publishers, Dordrecht, Pays-Bas*, 499 p.
- Nair P.K.R., Kumar B.M., Nair V.D. (2009a).** Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. *J. Plant Nutri. Soil Sci.* **172** : 10–23.
- Nair P.K.R., Nair V. D., KumaR B.M., Haile S.G. (2009b).** Soil carbon sequestration in tropical agroforestry systems: a feasibility appraisal. *Environmental Science and Policy*, in press. 15 p.
- Ndiaye L. (2020).** Perception communautaire sur la diversité floristique et les biens et services écosystémiques fournis par la végétation ligneuse dans la commune de Coumbacara (Kolda, Sénégal). Mémoire de master. Université Assane Seck de Ziguinchor; 75p.
- Ndour Y.B., Sall S.N., Loum M., Diouf A., Wélé A., Ndiaye O., Masse D., Lardy L.C. (2020).** Dynamique de stockage du carbone dans les sols du Sénégal. *Acquis de la recherche et perspectives In : Carbone des sols en Afrique : Impacts des usages des sols et des pratiques agricoles.* 14p..

- New M., Lister D., Hulme M., Makin I. (2002).** A high-resolution data set of surface climate over global land areas. *Climate Research Clim Res.* Vol. **21**: 1–25.
- Ngom D., Charahabil M.M., Sarr O., Bakhoun A., Akpo L.E. (2014).** Perceptions communautaires sur les services écosystémiques d’approvisionnement fournis par le peuplement ligneux de la Réserve de Biosphère du Ferlo (Sénégal). *VertigO- la revue électronique en sciences de l’environnement*, Vol. **14**. N°2.
- Ngomanda A., Laurier N. Obiang E., Lebamba J., Moundounga Q., Mavouroulou H., Gomat G., Mankou S., Loumeto J., Iponga D.M., Ditsouga F.K., Koumba R.Z., Bobé K.H.B., Okouyi C.M., Nyangadouma R., Lépengué N., Mbatchi B., Picard N. (2014).** Site-specific versus pantropical allometric equations: Which option to estimate the biomass of a moist central African forest? *Forest Ecological Management.*, **312** : 1-9.
- Opere A., Olago D., Chidumayo E., Osman E.B. (2011).** Processus et impact du changement climatique. Forêts, faune sauvage et changement climatique en Afrique, 356p.
- Ouedraogo W.O., Gomgnimbou A.P. K., Santi S., Ilboudo D., Toguyeni A. (2009).** 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.
- Panzou, L. J. G., Doucet, J. J., Loumeto, J. J., Biwole, A., Bauwens, S., et Fayolle, A. (2016).** Biomasse et stocks de carbone des forêts tropicales africaines (synthèse bibliographique). *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment (BASE)*, Vol.**20** (4) : 508–522.
- Peltier, R., Forkong, N. C., Ntoupka, N., Manlay, R., Henry, M., et Morillon, V. (2007).** Evaluation du stock de carbone et de la productivité en bois d’un parc à karités du Nord Cameroun. *Bois et Forêts des Tropiques*. <cirad-00189696>, **294**(4),39–50.
- PLD. (2011).** Plan Local de Développement 2011 – 2016. Elaboré avec l’appui de World Vision Sous la coordination de L’Agence régionale de développement de Kolda. Communauté Rurale Coumbacara. 158p.
- Pullan R.A. (1974).** Farmed parklands in West Africa. *Savanna*, **3** (2) : 119-151.
- Ramade F. (1990).** Eléments d’écologie. Ecologie fondamentale. McGRAW-HILL, Paris, 403p.
- Rondeux, J. (1993).** Les Mesures des Arbres et Des Peuplements Forestiers. *Presses Agronomiques de Gembloux*. Gembloux, 521 p.
- Saïdou A., Dossa A.F.E., Gnanglè P.C., Balogoun I., Aho N. (2012).** Evaluation du stock de carbone dans les systèmes agroforestiers à karité (*Vitellaria paradoxa* et à néré (*Parkia biglobosa* Jacq. G. Don) en zone Soudanienne du Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB)*. Numéro Spécial Agriculture & Forêt : 1–9.
- Sagna P. (2005).** Dynamique du Climat et son Evolution Récente dans la partie Ouest de l’Afrique Occidentale. Thèse de Doctorat/Faculté des Lettres et Sciences Humaine/UCAD. Dakar (Sénégal). **Tome II**, 518p.

- Saj S., Jagoret P., Ngogue H.T. (2013).** Carbon storage and density dynamics of associated trees in three contrasting *Theobroma cacao* agroforests of Central Cameroon. *Agroforest Systèmem* **87** :1309–1320.
- Salles J.M. (2015).** Evaluer la biodiversité et les services écosystémiques : pourquoi, comment, pour quels résultats, avec quelles limites. *Mardis d'EcoServ*, INRA. 39p.
- Sarr O., Bakhoum A., Diatta S., Akpo L. E. (2013).** L'arbre en milieu soudano-sahélien dans le bassin arachidier (Centre-Sénégal). *Journal of Applied Biosciences*, 61 : 4515-4529.
- Solly B., Dieye E.B., Sy O., Sane T., Diedhiou I., Ba B. D., Thior M. (2020).** Dynamique de la déforestation en zone frontalière au nord de la Haute Casamance (Sénégal) *The dynamics of deforestation in the border zone north of Upper-Casamance (Senegal)*: 21-35.
- Solly B., Dieye E.B., Sy O., Barry B. (2018).** Suivi de la déforestation par télédétection Haute résolution dans le département de Médina Yoro Foulah (Haute-Casamance, Sénégal).8 p
- Stephenson N.L., Das A.J. Zavala M.A. (2014).** Rate of tree carbon accumulation increases continuously with tree size. *Nature*, **507** : 90–93
- Takimoto, A., Nair V. D. et Nair, P. K. R. (2008).** Carbon stock and sequestration potential of traditional and improved agroforestry systems in the West African Sahel. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **125** : 159-166.
- Tourneux H., Yaya D. (1998).** Dictionnaire peul de l'agriculture et de la nature (Diamaré, Cameroun), suivi d'un index français-fulfulde, Ed. Karthala / CTA / CIRAD, Paris / Wageningen / Montpellier, 547 p.
- Tschakert T.P., Khouma M., Sène M. (2004).** Biophysical potential for soil carbon sequestration in agricultural systems of the Old Peanut Basin of Senegal. *Journal of Arid Environments*, **59**(3) : 511-533.
- Woomer, P. L., Tieszen, L. L., Tappan, G. et Sall, M. (2004).** Land use change and carbon stocks in Senegal. *Journal of Arid Environments*, **59** : 625-642.
- Woomer, P. L., Touré, A. et Sall, M. (2004).** Carbon stocks in Senegal's Sahel transition zone. *Journal of Arid Environments*, **59** : 499-510.
- Young, A. (1989).** Agroforestry for Soil Conservation. *ICRAF Science and Practice of Agroforestry, Nairobi, Kenya*; 276 p.
- Zanne, A., Lopez-Gonzalez, G., Coomes, D., Ilic, J., Jansen, S., Lewis, S., Miller, R., Swenson, N., Wiemann, M. & Chave, J. (2009).** Global Wood Density Database. Dryad Digital Repository.