

UNIVERSITE ASSANE SECK DE ZIGUINCHOR

\*\*\*\*\*

UFR DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES

\*\*\*\*\*

DEPARTEMENT D'AGROFORESTERIE

\*\*\*\*\*



Mémoire de Master d'Agroforesterie

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

Thème :

**EVALUATION DU STOCK DE CARBONE DE LA  
VEGETATION LIGNEUSE DES PRINCIPALES  
ZONES DE PARCOURS AU SENEGAL**

Présenté par :

**M. ADAMA KA**

Sous la supervision de Dr Daouda NGOM, Maître de conférences (UCAD) :

Encadreurs : **Dr Ismaïla COLY**, Maître-Assistant (UASZ) et

**Dr Abdoul Aziz DIOUF**, Chercheur au CSE (Dakar)

Soutenu publiquement le 16 janvier 2020 devant le jury composé de :

Président:	<b>M. Mohamed. M. CHARAHABIL</b>	Maître de conférences	UFR-ST / UASZ
Membres:	<b>M. Ismaïla COLY</b>	Maître Assistant	UFR-ST / UASZ
	<b>M. Abdoul Aziz DIOUF</b>	Chercheur	CSE/ Dakar
	<b>M. Mayécor DIOUF</b>	Chargé de Recherches	CRA/ISRA Djibelor
	<b>M. Aly DIALLO</b>	Assistant	UFR-ST / UASZ

**Année Universitaire 2018-2019**

## **DEDICACES**

A mes parents particulièrement mon feu père et ma mère pour l'éducation de base, les valeurs morales qu'ils nous ont inculquées et les sacrifices consentis pour notre bien-être. J'apprécie très fort vos efforts, conseils, amours inconditionnels et affections envers moi. Un papa exemplaire à qui je souhaite un repos en paix de son âme et longévité et santé à ma maman.

A mes épouses pour leur confiance, leur soutien, leur compagnie et leur amour inconditionnel ;

A mes enfants à qui je témoigne toute mon affection ;

A mes tantes et oncles pour leur soutien constant ;

A mes frères, sœurs, cousins, cousines, neveux et nièces pour leur affection sans faille et leur compréhension, solidarité et tolérance ;

A mes belles Familles pour leur compréhension et leur soutien constant ;

A mes tuteurs pour leur ouverture, leur gentillesse et leur tolérance ;

A mes ami(e)s et camarades stagiaires au CSE pour les moments d'angoisse et de joie vécus ensemble.

## **REMERCIEMENTS**

Je rends grâce à Allah, le très haut, le tout puissant, le très miséricordieux de m'avoir donné la vie, la santé et le courage d'accomplir ce travail et je prie sur son prophète Mouhamed (PSL). L'aboutissement de ce travail a nécessité le concours et l'appui de certaines personnes, qui par leur soutien, leur disponibilité, leur conseil m'ont permis de mener à terme cette étude.

Ainsi, je tiens à remercier :

- mon encadreur, Dr Ismaïla COLY Enseignant-chercheur au département d'Agroforesterie de l'Université Assane SECK de Ziguinchor, pour avoir accepté de m'encadrer depuis la Licence malgré son emploi du temps très chargé. Sa modestie, sa disponibilité et sa sagesse nous laisseront le souvenir d'un professeur exemplaire. Veuillez trouver ici l'expression et le témoignage de ma profonde gratitude.

- mon maître de stage, Dr Abdoul Aziz DIOUF, naturaliste au CSE pour m'avoir accepté dans sa structure et guidé mes premiers pas dans cette recherche. Malgré son calendrier très chargé, il a été toujours à ma disposition avec modestie. Son expérience dans l'utilisation des outils de Système d'Information Géographique (SIG) m'a été d'un grand apport. Je lui en suis très reconnaissant.

- l'ensemble des Enseignant-chercheurs du département à savoir Dr Mouhamed M. CHARAHABIL, chef du département d'Agroforesterie, Dr Ousmane NDIAYE, Dr Ngor NDOUR, Dr Siré DIEDHIOU, Dr Djibril SARR, Dr Aly DIALLO et Dr Boubacar CAMARA pour la formation de qualité.

-le Dr Mayécour DIOUF pour avoir accepté malgré ses multiples charges de participer à l'évaluation de ce travail ;

- le Capitaine Ibrahima DIOP, Ingénieur des travaux des eaux et forêts (ITEF), Chargé de projet au CSE et Responsable du suivi de la végétation pour sa disponibilité, ses guides et ses explications sur le fonctionnement du matériel utilisé ;

-le personnel du CSE de Dakar plus particulièrement le Dr Elhadji SOW, Mr Aliou BADARA ;

- les docteurs (Arfang O. K. GOUDIABY, Mamadou Abdoul Ader DIEDHOU, Maurice DASYLVA, Papa Ibrahima DJIGNALY) et doctorants du département d'Agroforesterie ;

- Mention spéciale à ma promotion, pour l'assistance, les conseils, les échanges et les entreaides.

# TABLE DES MATIERES

DEDICACES.....	i
REMERCIEMENTS .....	ii
LISTES DES ACRONYMES, ABREVIATIONS ET SIGLES .....	v
TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	vii
LISTE DES TABLEAUX .....	vii
RESUME .....	vii
ABSTRACT .....	ix
INTRODUCTION .....	1
CHAPITRE 1: REVUE BIBLIOGRAPHIQUE.....	3
1.1. Rôle de la végétation ligneuse dans l'atténuation du changement climatique .....	3
1.2. Les méthodes d'évaluation de la biomasse et du stock de carbone de la végétation.....	4
ligneuse.....	4
1.2.1. Evaluation de la Biomasse aérienne (AGB=Above Ground Biomass, en anglais) .....	4
1.2.2. Prédiction de la biomasse en utilisant les mesures de volumes.....	7
CHAPITRE 2 : MATERIEL ET METHODES.....	9
2.1. Présentation de la zone d'étude .....	9
2-1-1 Situation géographique et administrative.....	9
2.1.2. Caractéristiques biophysiques .....	10
2.2. Matériel utilisé.....	11
2.3. Méthodes utilisées .....	12
2.3.1. Choix des sites.....	12
2.3.2. Relevés de végétation.....	12
2.3.3. Traitement des données .....	14
2.3.3.1. Evaluation de la biomasse ligneuse aérienne .....	14
2.3.3.2. Evaluation de la Biomasse Souterraine (Below Ground Biomass ou BGB).....	14
2.3.3.3. Evaluation de la Biomasse totale.....	14
2.3.3.4. Estimation du Carbone stocké dans la Biomasse (C).....	15
CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION .....	16
3.1. Résultats .....	16
3.1.1. Composition floristique et richesse spécifique.....	16
3.1.2. Stock de carbone de la végétation ligneuse.....	18
3.1.3. Potentiel de séquestration de carbone de la végétation suivant les domaines .....	21
3.1.3.2. Stock de carbone selon les genres .....	23

3.1.4. Stock de carbone de la végétation ligneuse suivant les écorégions.....	23
3.1.4.1. Stock de carbone selon les familles.....	24
3.1.4.2. Stock de carbone selon les genres .....	25
3.1.4.3. Stock de carbone selon les espèces.....	26
3.1.5. Stock de carbone de la végétation ligneuse suivant les sites.....	27
3.2. Discussion .....	28
CONCLUSION.....	32
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	33
ANNEXES.....	41
Annexe 1: La répartition des sites (localités) suivant les écorégions.....	41
Annexe 2 : Liste des espèces ligneuses recensées dans les ZPS suivant les domaines et les écorégions .....	42
Annexe 3 : contribution absolue et relative des différents genres à la séquestration du carbone suivant les domaines .....	43
Annexe 4: contribution des différentes familles à la séquestration du carbone suivant les différentes écorégions.....	45
Annexe 5 : contribution spécifique au stockage de carbone de la végétation ligneuse des zones de parcours selon les écorégions .....	46

## **LISTES DES ACRONYMES, ABREVIATIONS ET SIGLES**

**AFC** : Agro-Forêts-Cacao

**AGB** : Biomasse Aérienne

**ANAT** : Agence National pour l'Aménagement du Territoire

**ANSD** : Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie

**BGB** : Biomasse Souterraine

**Btot**: Biomasse Totale

**C** : Carbone

**CCNUCC** : Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique

**CSE** : Centre de Suivi Ecologique

**CO<sub>2</sub>** : Dioxyde de Carbone

**DSah** : Domaine Sahélien

**DSou** : Domaine Soudanien

**EXP** : Exponentiel

**FAO** : Food and Agriculture Organization

**FE** : Facteur d'Expansion

**GES** : Gaz à Effet de Serre

**GIEC** : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

**Gt** : Gigatonne

**ITEF** : Ingénieur des Travaux des Eaux et Forets

**LN** : Logarithme Népérien

**MDP** : Mécanisme de Développement Propre

**MEPN** : Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature

**PSC** : Potentiel de Séquestration de Carbone

**REDD** : Réduction des Emissions de gaz à effet de serre en évitant la Déforestation et la  
Dégradation des forêts

**RPA** : Région Agro-pastorale Mixte

**RPF** : Région Pastorale Ferrugineuse

**RPS** : Région Pastorale Sableuse

**RTO** : Région Transitoire Orientale

**SCS** : Site de Contrôle au Sol

**UASZ** : Université Assane Seck de Ziguinchor

**UFR** : Unité de Formation et de Recherche

**UTM** : Universal Transverse de Mercator

**WGS** : World Geodetic System

**ZPS** : Zone de Parcours du Sénégal

## TABLE DES ILLUSTRATIONS

### LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1</b> : récapitulatif des équations allométriques individuelles de quelques espèces du Sénégal utilisées par Henry et al. (2011). .....	5
<b>Tableau 2</b> : relations allométriques biomasse et mensurations de quelques espèces ligneuses proposées par Ickowicz (1995) et Bellefontaine et al. (1997) cités par Singangar (2001) .....	6
<b>Tableau 3</b> : équations allométriques pour <i>Combretum glutinosum</i> (Mbow, 2009 ; Hamel et al., 2010) .....	6
<b>Tableau 4</b> : équations allométriques proposées par Brown (1997) et Mbow (2009).....	7
<b>Tableau 5</b> : composition floristique des ligneux de la zone d'étude.....	16
<b>Tableau 6</b> : richesse spécifique des zones de parcours suivant les écorégions et les domaines climatiques. ....	18
<b>Tableau 7</b> : biomasse produite et carbone séquestré par la végétation ligneuse des zones de parcours à l'échelle de la zone d'étude et de la moyenne par individu.....	19
<b>Tableau 8</b> : variation du stock de carbone suivant les familles dans la zone d'étude .....	19
<b>Tableau 9</b> : quantité de carbone stocké suivant les espèces ligneuses dans les zones de parcours du Sénégal .....	20
<b>Tableau 10</b> : contribution relative des différentes familles à la séquestration du carbone suivant les zones.....	22
<b>Tableau 11</b> : contribution des cinq différentes familles ayant le PSC le plus important suivant les différentes écorégions. ....	25

### LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1</b> : repartition des quatre écorégions de la zone d'étude.....	9
<b>Figure 2</b> : localisation des sites de contrôle au sol de la végétation ligneuse des ZPS .....	13
<b>Figure 3</b> : variation de la quantité carbone séquestrée en fonction des genres dans les ZPS..	20
<b>Figure 4</b> : potentiel de sequestration de carbone (t C/ha) suivant les domaines. ....	21
<b>Figure 5</b> : potentiel de sequestration du carbone de la végétation ligneuse des ZPS suivant les écorégions.....	24
<b>Figure 6</b> : stockage générique de carbone dans les quatre écorégions (RPS, RPA, RPF et RTO).....	26
<b>Figure 7</b> : variation du stock de carbone de la végétation ligneuse en fonction des sites de la zone d'étude .....	27

## RESUME

Les forêts fournissent des biens et services pour 1,2 milliards de personnes dans le monde. Grâce à leur aptitude à séquestrer le CO<sub>2</sub> et donc à réduire sa concentration dans l'atmosphère, elle contribue fortement à l'atténuation des conséquences des changements climatiques. L'objectif global de cette étude est de contribuer à une meilleure connaissance du potentiel de séquestration de la végétation ligneuse des zones de parcours du Sénégal (ZPS). Ainsi, un échantillonnage systématique de la végétation ligneuse a été réalisé à travers 96 placettes circulaires réparties dans 24 sites de contrôle au sol (SCS), soit 4 placettes par site, en fonction des écorégions. La superficie d'une placette est de 1250 m<sup>2</sup> (R2=19,95 m) et 2500 m<sup>2</sup> (R1=28,22 m) respectivement dans les formations soudanienne et sahélienne. La zone d'étude comporte 51 espèces réparties en 40 genres appartenant à 23 familles. Les données dendrométriques collectées sur les ligneux de Circonférence >10cm ont permis d'évaluer les biomasses aérienne et souterraine et les stocks de carbone (C) à l'aide d'équations allométriques. Le stock de C est de 370,77 t C/ha dans toute la zone d'étude. Dans le domaine soudanien, *Sterculiaceae*, *Combretaceae* et *Papilionaceae* sont les familles qui contribuent plus à la séquestration du Carbone avec respectivement 31,87 %, 26,06 % et 19,26 %. Quant au domaine sahélien, ce sont les familles *Balanitaceae*, *Combretaceae* et *Anacardiaceae* qui sont les impliquées avec respectivement 44,01 %, 22,27 % et 15,61 % t C/ha. Pour les écorégions, les stocks de C sont de 78,50 t C/ha dans l'écorégion transitoire orientale (RTO), 34,10 t C/ha dans l'écorégion agropastorale mixte (RPA), 32,41 t C/ha dans l'écorégion pastorale ferrugineuse (RPF) et 9,79 t C/ha dans l'écorégion pastorale sableuse (RPS) (=DSah). Les familles ayant les plus fortes proportions de séquestrations de C sont : *Sterculiaceae* (38,08%), *Combretaceae* (26,39%), dans la RTO ; *Sterculiaceae* (49,90%), *Combretaceae* (21,34%), dans la RPA ; *Papilionaceae* (51,71%) et *Combretaceae* (29,85%) dans la RPF. Suivant les sites, C3L8 (116,03 t C/ha), C4L7 (83,33 t C/ha), C2L6 (68,92 t C/ha) stockent à eux seuls 39,62 % du carbone séquestré contre 25,02% pour les 16 autres sites plus faibles séquestrations.

**Mots clés :** biomasse, domaines, écorégions, stock de carbone, zones de parcours, Sénégal

## **ABSTRACT**

Forests provide goods and services to 1.2 billion people around the world. Thanks to their ability to sequester CO<sub>2</sub> and therefore reduce its concentration in the atmosphere, it contributes significantly to mitigating the consequences of climate change. The overall objective of this study is to contribute to a better understanding of the sequestration potential of woody vegetation in rangelands of Senegal (RLS). Thus, a systematic sampling of woody vegetation was carried out through 96 circular plots distributed in 24 ground control sites (SCS), or 4 plots per site, depending on the ecoregions. The area of a plot is 1250m<sup>2</sup> (R2 = 19.95 m) and 2500 m<sup>2</sup> (R1 = 28.22 m) respectively in the Sudanian and Sahelian formations. The study area includes 51 species divided into 40 genera belonging to 23 families. Dendrometric data collected on woods of Circumference > 10 cm were used to assess above and below ground biomass and carbon (C) stocks using allometric equations. The C stock is 370.77 t C / ha throughout the study area. In sudanian domain, Sterculiaceae, Combretaceae and Papilionaceae are the families that contribute more to the sequestration of Carbon with 31.87 %, 26.06% and 19.26% respectively. As for sahelian domain, it is the families Balanitaceae, Combretaceae and Anacardiaceae which are involved with 44.01 %, 22.27 % and 15.61 % t C / ha respectively. For ecoregions, C stocks are 78.50 t · C / ha in the eastern transition region (RTO), 34.10 t C / ha in the mixed pastoral-agricultural region (RPA), 32.41 t C / ha in the ferruginous pastoral region (RPF) and 9.79 t C / ha in the sandy pastoral region (RPS) (= DSah). The families with the highest proportions of C sequestrations are: Sterculiaceae (38.08%), Combretaceae (26.39 %), in the RTO; Sterculiaceae (49.90 %), Combretaceae (21.34%), in the RPA; Papilionaceae (51.71 %) and Combretaceae (29.85%) in the RPF. Depending on the site, C3L8 (116.03 t C / ha), C4L7 (83.33 t C / ha), C2L6 (68.92 t C / ha) alone store 39.62 % of the carbon sequestered against 25.02 % for the 16 other sites with the lowest sequestrations.

**Key words:** biomass, domains, ecoregions, carbon stock, rangelands, Senegal

## INTRODUCTION

Les forêts du monde couvrent environ 31 % des terres de la planète soit un peu plus de 4 milliards d'hectares. Ces forêts fournissent des biens et services qui sont essentiels pour 1,2 milliards de personnes dans le monde (FAO, 2004; FAO, 2011). En tant qu'écosystème, une forêt contient du carbone dans plusieurs compartiments. A l'échelle mondiale, le carbone se répartit de la façon suivante : sol (45 %), nécro masse (biomasse morte, 11 %), et biomasse vivante (aérienne et souterraine, 44 %) (FAO, 2000).

Le CO<sub>2</sub> est un des gaz à effet de serre qui contribue actuellement au réchauffement de la planète. La photosynthèse, qui est activée par le rayonnement solaire, permet à une plante de capter le CO<sub>2</sub> de l'atmosphère afin de synthétiser des glucides (Kozlowski *et al.*, 1991). Ainsi les forêts, par la séquestration biologique du carbone, contribuent à la lutte contre le changement climatique. Cette séquestration du carbone consiste à capturer le CO<sub>2</sub> de l'atmosphère et à le stocker dans des réservoirs pour une longue durée de vie. L'évaluation du stockage et/ou de la séquestration de C dans un écosystème implique toutefois une meilleure connaissance de ses puits et flux de carbone (CCNUCC, 2005 ; Hamel *et al.*, 2010). Face aux défis socioéconomiques, écologiques liés aux changements climatiques (CC), et suite aux opportunités offertes par le processus REDD et MDP, il serait donc important d'avoir une idée assez précise des stocks de carbone présents dans les différents compartiments des écosystèmes. Depuis quelques années, de plus en plus de recherches se sont focalisées sur le stockage du Carbone au Sénégal même si elles sont moins avancées par rapport à celles faites dans les forêts tropicales humides. Au Sénégal, pour combler le manque de données sur le stockage de C des systèmes forestiers, agroforestiers et de savane, des travaux de modélisation de la dynamique du carbone ont été effectués par plusieurs auteurs comme Liu *et al.*, (2004), Parton *et al.* (2004) et Wooster *et al.* (2004) cités par Diatta (2015). Depuis 1987, le Centre de Suivi Ecologique (CSE) a utilisé des images satellitaires, des modèles, des équations de biomasse foliaire et destructive pour estimer le stock de carbone des espèces ligneuses dans des SCS. Cependant, la dynamique du carbone dans les systèmes agroforestiers des pays du Sahel est sous-étudiée (Takimoto *et al.*, 2008). Par ailleurs il n'existe pas à notre connaissance, des études qui abordent à la fois le stockage de carbone de plusieurs systèmes agroforestiers dans plusieurs textures du sol. Le Sénégal est un pays sahélien où la majeure partie de son territoire est constituée de végétation naturelle desservie par un cheptel pastoral qui se déplace d'un point à un autre suivant la disponibilité des ressources en eau et des pâturages. C'est dans ce contexte que le CSE a initié une étude consistant à effectuer un suivi bisannuel de la

végétation ligneuse des principales zones de parcours au Sénégal puis une utilisation des méthodes allométriques pour évaluer le carbone stocké. Cette étude a pour objectif de contribuer à une meilleure connaissance de la capacité de stockage du carbone de la végétation ligneuse des zones de parcours du Sénégal (ZPS).

Cet objectif se décline en différents objectifs spécifiques à savoir:

- évaluer le potentiel de séquestration de carbone de la végétation ligneuse des ZPS suivant les écorégions et les domaines climatiques;
  
- Evaluer la contribution des différents groupes taxonomiques à la séquestration du carbone suivant les écorégions et les domaines climatiques.

Ce mémoire est structuré en trois chapitres: le premier aborde la synthèse bibliographique, le second décrit le matériel et les méthodes utilisées et le troisième présente les résultats et leur discussion.

# CHAPITRE 1: REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

## 1.1. Rôle de la végétation ligneuse dans l'atténuation du changement climatique

L'importance capitale de la végétation ligneuse pour le bien-être des communautés locales a été démontrée par beaucoup d'études ethnobotaniques dans les zones arides et semi-arides d'Afrique et du Sénégal en particulier (Gning et *al.*, 2013, Sarr et *al.*, 2013). Par ailleurs, le maintien de la végétation naturelle permet de réduire les émissions de CO<sub>2</sub>, d'éviter la déforestation et la dégradation des forêts tout en garantissant une sécurité alimentaire durable pour le paysan (Amougou et *al.*, 2018).

La biomasse terrestre est un réservoir important (environ 2000 Gt de C) mais éphémère de carbone, car une partie de la matière organique morte est oxydée en CO<sub>2</sub>. Ainsi, la respiration et la photosynthèse des végétaux s'accompagnent d'un gain annuel de 1,9 Gt C qui est en partie contrebalancé par la perte de végétation (déforestation) ce qui donne un gain annuel net de carbone dans la biomasse terrestre de l'ordre de 0,2 Gt C. La situation des échanges dits "naturels" entre les écosystèmes continentaux et l'atmosphère, indique que 120 Gt de Carbone sont échangés chaque année entre ces deux réservoirs. La biomasse totale en bois des ligneux sur pied se répartit en biomasse aérienne et en biomasse souterraine (TayoGamo, 2014 ; Amougou et *al.*, 2013).

Parmi ces compartiments contenant le carbone, la biomasse aérienne vivante est la plus étudiée car c'est la plus accessible et la plus importante en carbone. Donc, la biomasse aérienne vivante reste la variable de référence pour décrire le carbone stocké dans la végétation (Molto, 2012). Le contenu en carbone de la biomasse morte et de la litière des feuilles n'a pas été évalué (Diatta, 2015).

Vue l'importance de l'évaluation des stocks de carbone dans la végétation ligneuse dans l'optique d'apprécier sa contribution à l'atténuation des changements climatiques, des équations allométriques non destructives ou des modèles ont été développés. Ces équations permettent le calcul de la biomasse sèche des arbres à partir de caractéristiques dendrométriques plus faciles à mesurer (TayoGamo, 2014) et d'en déduire le stock de C. De nombreuses équations ont été publiées pour les forêts de la planète; elles utilisent le diamètre à hauteur d'homme, seul ou associé à la densité ligneuse spécifique et à la hauteur des arbres (Brown et *al.*, 2015).

Des équations allométriques ont été utilisées par quelques auteurs au Mali et au Sénégal (Woomer et *al.*, 2004 ; Takimoto et *al.*, 2008 ; Henry et *al.*, 2011) pour estimer la biomasse aérienne et souterraine des arbres. Ces équations ont été recommandées par la CCNUCC

(2006) pour évaluer la biomasse ligneuse dans plusieurs zones en dépit des contrastes pluviométriques.

La méthode non destructrice est choisie pour pallier aux contraintes liées aux moyens et au temps mais aussi du fait que l'abattage d'un arbre requiert une autorisation de l'administration forestière, d'un espace restreint et du propriétaire des terres (TayoGamo, 2014).

Aussi, le problème majeur posé dans l'estimation de la biomasse est l'absence de modèles standards de conversion des variables dendrométriques des arbres (densité du bois, Diamètre à hauteur de poitrine, hauteur) en biomasse aérienne. C'est pourquoi l'usage des modèles allométriques est une étape cruciale dans l'estimation de la biomasse aérienne (Chave et *al.*, 2005).

L'évaluation de la quantité de carbone stockée par les espèces végétales dans un écosystème est un processus basé sur la quantification de la biomasse ligneuse (Diatta, 2015).

La prédiction de cette biomasse est faite à partir des paramètres dendrométriques que sont le diamètre du tronc et la hauteur de l'arbre ou la combinaison des deux (Brown, 1997), la circonférence et la densité de bois (Baker et *al.*, 2004).

## **1.2. Les méthodes d'évaluation de la biomasse et du stock de carbone de la végétation ligneuse**

Il existe plusieurs méthodes d'estimation de la biomasse végétale totale (Kairé, 1999 ; TayoGamo, 2014 ; Diatta, 2015 ; N'guessan et *al.*, 2015). Les méthodes existantes pour le calcul du carbone forestier sont la méthode allométrique non destructrice et la méthode destructrice. Les équations allométriques permettent d'estimer la quantité de C stockée dans la zone, à partir de sa biomasse totale en se servant des paramètres mesurables tels que la Hauteur totale, le Diamètre du tronc, la Circonférence du tronc, la Densité du bois (TayoGamo, 2014).

### **1.2.1. Evaluation de la Biomasse aérienne (AGB=Above Ground Biomass, en anglais)**

L'estimation de la biomasse aérienne des arbres est réalisée à partir du modèle allométrique de Henry et *al.* (2011) (Tableau 1). Ces derniers ont eu à développer des équations allométriques applicables à certaines espèces ligneuses d'Afrique subsaharienne.

**Tableau 1** : récapitulatif des équations allométriques individuelles de quelques espèces du Sénégal utilisées par Henry et *al.* (2011).

Espèces	Equations Allométriques	Pluviométrie en mm
<i>Acacia senegal</i> et <i>Balanites aegyptiaca</i>	$\log_{10}Y = (2,55 \times \log_{10}(Cb)) + 0,07$	224
<i>Boscia senegalensis</i> et <i>Commiphora africana</i>	$\log_{10}Y = (2,26 \times \log_{10}(Cb)) + 0,38$	224
<i>Guiera senegalensis</i>	$\log_{10}Y = -2,18 + (2,15 \times \log_{10}(Cb))$	224
<i>Combretum glutinosum</i>	$Y = 0,0512 \times Db^{(2,63)}$	1022

En l'absence d'équations allométriques individuelles pour certaines espèces d'arbres étudiées, l'équation généralisée développée par Henry et *al.* (2011) a été utilisée pour estimer la biomasse ligneuse au-dessus du sol. Cette équation est de la forme :

$$Y = \exp(-2,289 + (2,649 \times \log(Db)) - (0,021 \times \log(Db^2)))$$

Où

Y correspond à la biomasse aérienne en kg/ha et Db est le diamètre à la base à 0,30 cm

Cette même équation (dont **Log** est remplacé par **Ln**) a été appliquée par Kaire et *al.* (2013) dans les formations végétales forestières, savanes et agroforestières en Afrique de l'ouest. Aussi, Youl (2003) a utilisé l'équation  $Y = 0,172D^{2,39}$  pour toutes les espèces de la savane de l'Ouest du Burkina Faso.

Le tableau 2 indique les relations allométriques entre la biomasse et quelques paramètres dendrométriques de quelques espèces ligneuses.

**Tableau 2** : relations allométriques biomasse et mensurations de quelques espèces ligneuses proposées par Ickowicz (1995) et Bellefontaine et al. (1997) cités par Singangar (2001)

<i>Espèces</i>	<b>Relation allométrique</b>
<i>Acacia raddiana</i>	$Y=52,8 D - 44,64$ $Y=0,5 C^{2,35}$
<i>Acacia seyal</i>	$\text{Ln}Y=1,40 \text{ Ln}C + 0.46$ $Y=14,05 C^{1,40}$
<i>Acacia senegal</i>	$\text{Ln}Y=0,47 \text{ Ln}S + 0,77 \text{ Ln}N + 0,91 \text{ Ln}H - 4,85$ $Y=2,34 C^{1,88}$
<i>Guiera senegalensis</i>	$Y=3,09 C^{1,89}$
<i>Pterocarpus lucens</i>	$Y=0,95 C^{2,64}$
<i>Ziziphus mauriciana</i>	$Y=1,38 C^{1,91}$

**Y**=Biomasse en kg ; **D**=**Db**=Diamètre à la base en cm et **C**=**Cb**=Circonférence à la base en cm.

En ce qui concerne les équations spécifiques, Mbow (2009) a développé des régressions allométriques pour l'espèce *Combretum glutinosum*.

**Tableau 3** : équations allométriques pour *Combretum glutinosum* (Mbow, 2009 ; Hamel et al., 2010)

<b>Modèles</b>	<b>Equations</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
Quadratique	$y = 37,91 - 12,287 * D + 1,494 * D^2 - 0,0194 * D^3$	0,908
Polynomiale	$y = -0,02 * D^3 + 1,518 * D^2 - 12,467 * D + 38,681$	0,908
Cubique	$y = -25,505 + 2,917 * D + 0,47 * D^2$	0,905

Les trois équations des régressions allométriques établies pour cette espèce sont de type Quadratique, Polynomiale et Cubique (Tableau 3)

La méthode d'estimation de la biomasse décrite par Mette et Wilkie (2010) définit les régressions suivantes ;

$Y = \exp(-1.996 + 2.32 \cdot \ln(Db))$  (pour les arbres situés en zones de savane)

$Y = 42.69 - 12.800 (Db) + 1.242 (Db^2)$  (pour les arbres situés dans les autres zones écologiques)

Dans le contexte sénégalais, ces équations (Tableau 4) sont logiquement performantes, vue les données d'inventaire réalisées sur les différentes strates de six forêts classées (Bala, Mampaye, Kantora, Ouli, Patako et Wélor) des savanes soudaniennes et du domaine soudan-guinéen du Sénégal par Mbow (2009).

**Tableau 4** : équations allométriques proposées par Brown (1997) et Mbow (2009)

<b>Modèles allométriques</b>	<b>Zones climatiques</b>	<b>Equations allométriques</b>	<b>Intervalle en cm</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
FAO3-1997	Forêt sèche Mexique  Pmm < 900mm	$Y = \exp(-2,134 + 2,530 \cdot \ln(D))$	Non indiqué	0,97
FAO4-1997	Forêt sèche Mexique  Pmm < 900mm	$Y = 21,297 - 6,953(D) + 0,740(D^2)$	4-141	0,92
Quadratique Mbow-2009	Sud Bassin Arachidier et Soudano- Guinéen	$Y = 49,84 - (10,34 \cdot D) + (0,89 \cdot D^2)$	4-112	0,930

Y=Biomasse en kg par Sujet      D=Db en cm

### 1.2.2. Prédiction de la biomasse en utilisant les mesures de volumes

Le modèle utilisé par Molto (2012) pour évaluer la biomasse aérienne est basé sur la formule de calcul de la masse M d'un cylindre de diamètre D, de longueur H, et de densité (d):  $M = d \cdot V$

d: la densité du bois ( $g/cm^3$ ), M: la masse sèche (kg) et V: le volume ( $cm^3$ )

Selon MoundoungaMavouroulou (2012), la biomasse sèche est prédite en utilisant la même formule :

$$V = G * H ; \quad G = \pi * (Db/2)^2 = \pi Db^2/4 \quad \text{ou} \quad G = C^2/4 \pi$$

donc  $V = \pi (Db^2/4) * H$

avec  $G$  = Surface du tronc de l'arbre à 30 cm *et*  $H$  = Hauteur totale de l'arbre en m

L'approche utilisant un facteur d'expansion (FE) et de conversion (d) consiste en une estimation du volume sur écorce et par la suite en sa conversion en quantité de biomasse, via une formule préétablie pour les arbres (Brown, 1997).

La Fao propose des formules globales applicables pour tous les arbres de la planète, en utilisant un facteur de forme de 0,5 (Ponce-Hernandez, 2004).

Lorsque les arbres de l'inventaire ne sont pas identifiés ou quand l'espèce relevée n'a pas une densité connue, il faut une stratégie de remplacement de valeurs manquantes. Habituellement, cette stratégie est soit taxinomique (utilisation d'information taxinomique incomplète : Genre, Famille...) soit locale (utilisation des densités de bois des arbres proches) (Flores & Coomes, 2011). Pour les espèces à densité spécifique inconnue, la valeur par défaut  $d = 0,58 \text{ g/cm}^3$  a été retenue (Brown, 1997).

$$B_{tot} = V * d * FE$$

avec  $B_{tot}$  : Biomasse totale ;  $V$  : Volume sur l'écorce ;  $d$  : densité de bois (= 0,58 g/cm<sup>3</sup>) ;  
FE : Facteur d'Expansion de la biomasse (0,5)

## CHAPITRE 2 : MATERIEL ET METHODES

### 2.1. Présentation de la zone d'étude

L'étude a été menée dans les 24 SCS du Centre de Suivi écologique du Sénégal (CSE). Ces sites sont situés dans 4 écorégions selon le découpage proposé par Tappan *et al.* (2004) (Figure 1). Ce sont la région pastorale sableuse (RPS), la région pastorale ferrugineuse (ou latéritique) (RPF), la région agro-pastorale mixte (RPA) et la région de transition orientale (RTO).

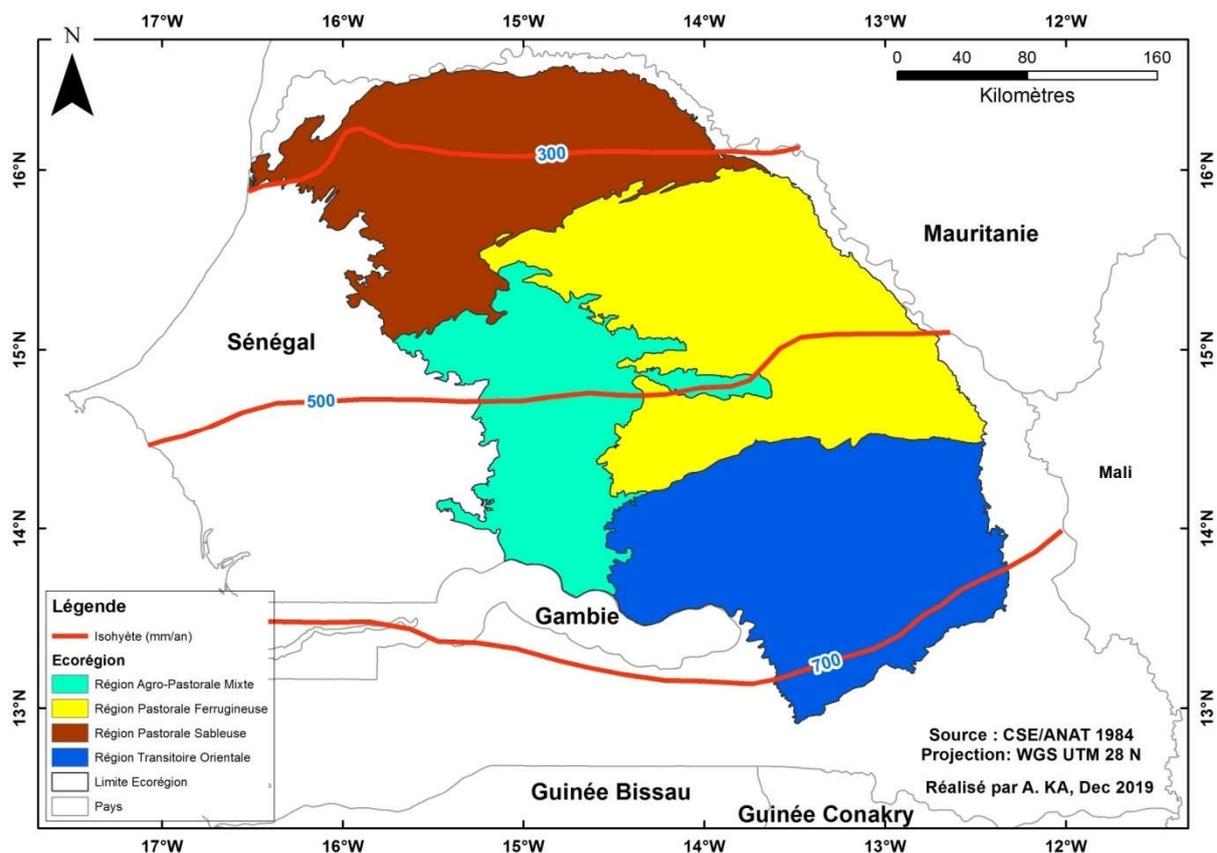


Figure 1 : repartition des quatre écorégions de la zone d'étude

#### 2-1-1 Situation géographique et administrative

**Région Pastorale Sableuse :** l'écorégion sableuse abrite une bonne partie des départements de Linguère, Podor et Dagana avec une étendue de 24,763 km<sup>2</sup>. Elle est limitée au Nord par la région de Saint-Louis et de la Mauritanie, au Sud par celles de Kaffrine et de Tambacounda, à l'Est par la région de Matam et la république du Mali, et à l'Ouest par la région de Thiès.

**Région Pastorale Ferrugineuse :** la région pastorale ferrugineuse correspond essentiellement à la région de Matam (29245 km<sup>2</sup>) (Tappan *et al.*, 2004). Elle est limitée au Nord par la région

de Saint-Louis et la Mauritanie, au Sud-Ouest par la région de Kaffrine, au Sud-Est par la région de Tambacounda, et à l'Ouest par la région de Louga (Ndiaye, 2012).

**Région Agro-Pastorale Mixte :** elle est située au centre du Sénégal avec une superficie de 8436 km<sup>2</sup> et recoupe les départements de Kounghoul et de Malem Hodar, dans le bassin arachidier. Elle est limitée au Nord par les écorégions pastorales sableuse et ferrugineuse, au Sud par la République de Gambie, à l'Est par la région transitoire orientale et à l'Ouest par la région de Kaolack.

**Région Transitoire Orientale :** située dans la région administrative de Tambacounda (42 706 km<sup>2</sup>) avec une superficie de 27869 km<sup>2</sup> (Tappan et *al.*, 2004), elle est limitée au Nord par la région pastorale ferrugineuse, au Sud par la région de Kédougou et la république de Guinée, à l'Est par la République du Mali, à l'Ouest par l'écorégion mixte et la République de Gambie (ANSD, 2018).

### 2.1.2. Caractéristiques biophysiques

**Région Pastorale Sableuse :** le climat est sahélien avec une température moyenne annuelle de 28,6° c. La pluviométrie moyenne du site de 1999-2013 est 345 mm (Diouf et *al.*, 2015). Ainsi, dans l'année, on distingue classiquement deux saisons : une saison sèche de 8 à 9 mois (octobre à juin) et une saison des pluies de 3 à 4 mois (Diouf et *al.* 2013). Les sols sont sableux brun-rouges, sablo-ferrugineux et tropicaux (Tappan et *al.*, 2004 ; MEPN, 2008). La végétation est constituée d'arbustes et d'arbres dispersés avec une prédominance des genres *Acacia* et *Combretum*. Elle est occupée par une pseudo-steppe arbustive et arborée principalement constituée de *Boscia senegalensis* (Pers.) Lam. ex Poir., *Balanites aegyptiaca* (L.) Delile, *Calotropis procera* (Aiton) W.T.Aiton, *Acacia tortilis raddiana* (Savi), *Sclerocarya birrea* (A.Rich.) Hochst., et *Combretum glutinosum* Auct.et Perr. (Tappan et *al.*, 2004 ; Diouf et *al.*, 2015 ; Ndiaye et *al.*, 2015 ; Sagna, 2015). L'essentiel du tapis herbacé est constitué par *Dactyloctenium aegyptium* (L.) Willd., *Aristida mutabilis* Trin & Rupr., *Cenchrus biflorus* Roxb. (CSE, 2009 ; Ndiaye, 2013 ; Ndiaye et *al.*, 2014 ; Sagna, 2015).

**Région Pastorale Ferrugineuse :** le climat est tropical sec, de type soudano-sahélien, caractérisé par des pluies qui s'étendent de juin à octobre (Ngom et *al.*, 2013). La moyenne des précipitations entre de 1999-2013 est de 488 mm (Diouf et *al.*, 2015). La température moyenne annuelle est de 28,6° c (Ngom et *al.*, 2013). Les sols ferrugineux sont tropicaux peu-profonds (Tappan et *al.*, 2004), à substrat cuirassé et ferrugineux (Ndiaye et *al.*, 2010). Ces sols sont de texture sableuse à sablo-argileuse, et aussi pauvres en matières organiques

(Bakhoum, 2013), ou à concrétions ferrugineuses (Fall, 2008). La végétation est une savane arbustive (CSE, 2009 ; Sagna 2015), buissonnante souvent relativement dense (Tappan et al, 2004). Les ligneux dominants sont *Pterocarpus lucens* Guill. & Perr., *Commiphora africana* (A.Rich.) Engl., *C. glutinosum*, *Guiera senegalensis* Guill. & Perr., (Sagna 2015 ; Diouf et al, 2015). La strate herbacée est dominée par *Andropogon gayanus* Kunth, *Z. glochidiata* et *C. biflorus* (Sagna, 2015).

**Région Agro-Pastorale Mixte :** le climat est tropical sec, de type soudano-sahélien (Coly et al., 2005). Les précipitations sont irrégulières avec une pluviométrie moyenne annuelle de 524 mm entre 1999-2013 (Diouf et al., 2015). La température moyenne annuelle est de 29,6 °c (Sarr et al., 2013). Les sols sont peu-profonds glaiseux et caillouteux (Tappan et al, 2004). Cependant, ils restent aptes à la culture de l'arachide précoce (Fall, 2008). La végétation est caractérisée par des savanes arborée et arbustive. Les principales espèces ligneuses sont *C. glutinosum*, *G.senegalensis*, *G. bicolor* Juss.(Tappan et al., 2004).

**Région Transitoire Orientale :** le climat est de type soudano-sahélien et soudanien. La pluviométrie moyenne annuelle est de 633 mm entre 1999-2013 (Diouf et al., 2015). La période de basse température s'observe de juillet à février et celle de haute température se situe entre Mars et Juin (ANDS, 2015).Les sols sont peu-profonds glaiseux et caillouteux au-dessus de la latérite des plateaux (Tappan et al., 2004). Ils sont ferrugineux tropicaux lessivés sur cuirasse latéritique à concrétion ferrugineuse à pseudo-gley (Ba, 2008 ; Fall, 2008). La végétation de type soudano-sahélien (Ba, 2008), est constituée par des savanes arborées (dominées par les combrétacées) et savanes boisées. Les ligneux dominants sont *C. glutinosum*, *Strychnos spinosa* Lam., *Acacia macrostachya* Reich.ex DC. (Tappan et al, 2004).

## 2.2. Matériel utilisé

Pour la collecte des données sur le terrain, le matériel utilisé est constitué : (i) d'un ruban-métrique de 1,5 m pour la mesure de la circonférence du tronc des arbres ; (ii) d'un ruban-métrique de 50 m pour la mesure du rayon de la placette et celle du houppier; (iii) d'un ruban-métrique de 100 m pour l'élaboration de la ligne du transect ; (iv) d'un GPS Garmin pour la prise des coordonnées géographiques des placettes ; (v) d'un clisimètre pour l'estimation de la hauteur totale de l'arbre et (vi) d'une boussole suunto pour la vision de la direction du site et des jalons pour délimiter les placettes.

## **2.3. Méthodes utilisées**

### **2.3.1. Choix des sites**

Les 24 sites de contrôle au sol (SCS) ont été établis en 1987 sur la base d'une subdivision du paysage en lignes et colonnes numérotées. Ainsi, le nom d'un site est constitué du numéro de ligne précédé du numéro de colonne (CxLy) de façon croissante suivant un gradient Nord-Sud pour « y » et Ouest-Est pour « x ». Les sites sont répartis dans quatre (4) écorégions en fonction de plusieurs aspects (climat, sol, formation végétale, etc.). Il s'agit des régions pastorales sableuse (10 sites), ferrugineuse (6 sites), agricole mixte (4 sites) et transitoire orientale (4 sites).

Les 24 sites représentatifs des différents biotopes ont été mis en place selon les critères suivants : éloignement par rapport aux points d'eau, aux villes et aux zones de culture ; homogénéité relative du milieu ; distance minimale de 30 km entre les sites et bonne représentativité du milieu.

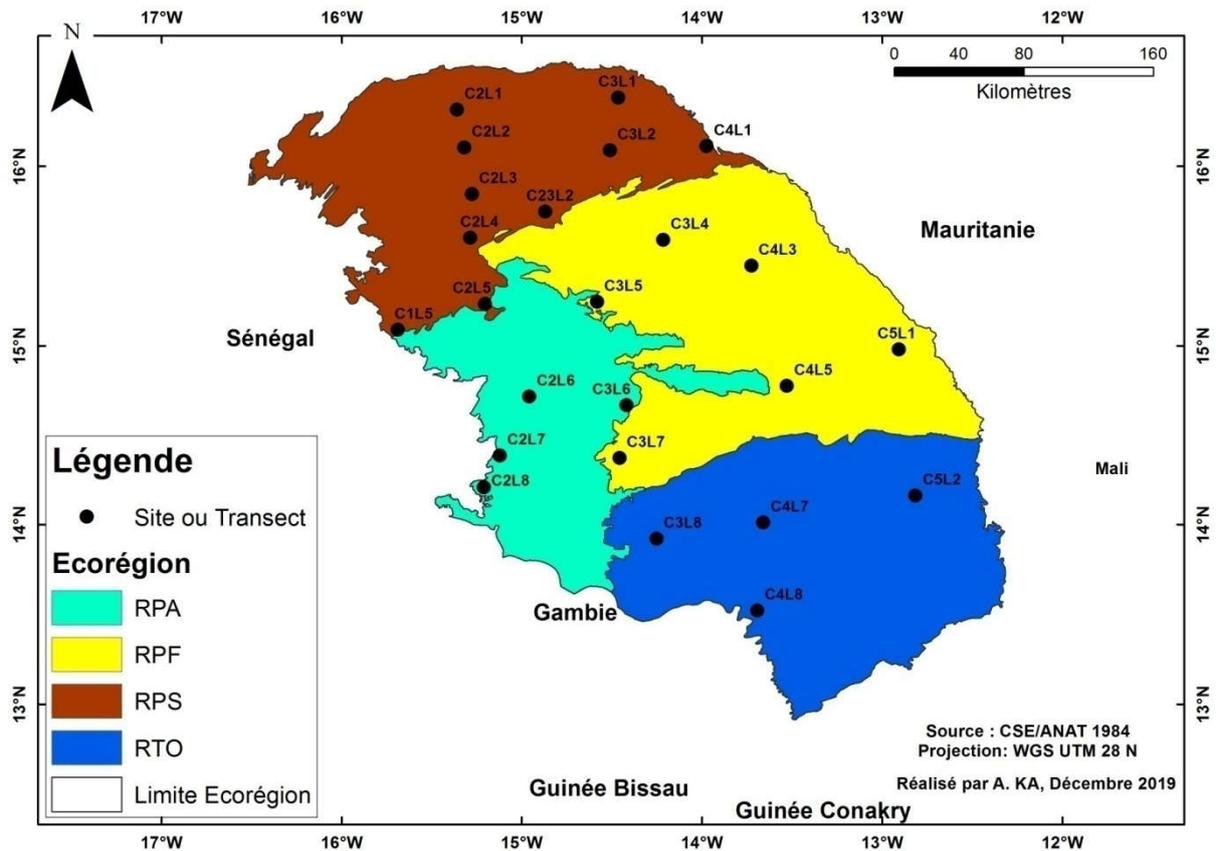
La répartition des sites (localités) suivant les écorégions sont présentées en Annexe 1

### **2.3.2. Relevés de végétation**

L'inventaire des espèces ligneuses a été effectué dans 96 placettes durant la saison sèche (Février-Mars) de l'année 2017, dans les 24 SCS (Figure 2)

La collecte des données a été effectuée sur la base d'un échantillonnage systématique. En effet, 24 transects correspondants aux différents sites ont été réalisés. Le long de chaque transect, d'une longueur d'un (1) km, quatre placettes circulaires distantes de 200 m ont été installées sans les extrémités. Dans chaque placette, toutes les espèces ont été inventoriées et les paramètres dendrométriques de l'ensemble des individus de circonférence supérieure à 10 cm sont mesurés. Ces paramètres sont : la hauteur totale de l'individu (H) ; la circonférence à la base (Cb) et le diamètre croisé du houppier. Dans le cas des arbrisseaux caractéristiques des espèces multicaules, seule la plus grosse tige a été prise en compte (CSE, 1998).

Parmi les 24 sites étudiés, 10 se retrouvent dans le domaine sahélien et 14 dans le domaine soudanien. La taille des placettes est fonction de la densité des arbres et varie en général entre 1/4 ha (2500 m<sup>2</sup>) et 1/8 ha (1250 m<sup>2</sup>) (CSE, 1998 ; Bayala, 2003) avec respectivement des rayons R1= 28,22 m pour le domaine sahélien et R2= 19,95 m pour le domaine soudanien.



**Figure 2 :** localisation des sites de contrôle au sol de la végétation ligneuse des ZPS

Le centre de ces unités d'échantillonnage est identifié par un ou plusieurs arbres- repères marqués, dont la direction par rapport à l'axe du transect est définie à l'aide d'une boussole Suunto et les distances notées. Le début du transect est matérialisé par un arbre marqué à la peinture blanche d'un trait horizontal (arbre-repère) et les lieux de chaque placette sont matérialisés par deux arbres repères de traits horizontaux de couleur rouge. L'emplacement de la première placette est marqué par un trait rouge, celui de la deuxième placette de deux traits rouges, ceux des troisièmes et quatrièmes placettes sont dans le même ordre d'idée marqués respectivement de trois et quatre traits rouges. Ces arbres ont été prédéfinis par le CSE suivant qu'ils soient relativement grands et proches du centre de la placette.

### 2.3.3. Traitement des données

Les données ont été saisies avec le Tableur Excel qui a aussi servi à l'élaboration des tableaux et des graphiques.

#### 2.3.3.1. Evaluation de la biomasse ligneuse aérienne

La biomasse aérienne des ligneux a été calculée par la méthode appliquée par Brown (1997) et Mbow (2009) dans la zone soudano-sahélienne. L'équation est de la forme :

$$Y = 21,297 - 6,953(Db) + 0,740(Db^2) \text{ Où}$$

**Y** correspond à la biomasse aérienne en kg/ha et **Db** est le diamètre à la base à 0,30 cm

Elle est une des équations allométriques plus performante dans le contexte Sénégalais. Cette équation est applicable dans des zones sèches de pluviométrie faible et quasiment similaire à celle développée par Kairé et *al.* (2013) dans les zones forestières et agroforestières de l'Afrique Occidentale de même que celle utilisée par Mette et Wilkie (2010) dans des zones savanneuses de pluviométrie inférieure à 900 mm.

#### 2.3.3.2. Evaluation de la Biomasse Souterraine (Below Ground Biomass ou BGB)

La biomasse racinaire de toutes les espèces a été estimée à l'aide de l'équation utilisée par Diatta, (2015), Nguessan et *al.* (2015) et Kaire et *al.* (2013). Cette équation se présente comme suit:

$$Y \text{ (t /ha)} = \exp (-1,0587 + 0,8836 * \ln(Btot))$$

Avec **Btot** = la biomasse totale au-dessus du sol en t.ha<sup>-1</sup>

L'estimation de la biomasse racinaire des ligneux sur pied a été faite en conformité avec les lignes directrices établies par le GIEC (2006). En effet, selon ce dernier, l'équivalence en biomasse racinaire des ligneux sur pied correspond à la valeur de la biomasse aérienne (AGB) multiplié par un coefficient de 0,24 (Root to shoot ratio) (TayoGamo, 2014):

$$BGB \text{ (t/ha)} = AGB * 0,24$$

#### 2.3.3.3. Evaluation de la Biomasse totale

La biomasse totale est évaluée à partir des biomasses aérienne et souterraine. Cette biomasse totale est calculée à l'aide de la formule suivante :

$$Btot \text{ (t/ha)} = AGB + BGB \text{ avec}$$

Btot = biomasse totale ; AGB = biomasse aérienne et BGB = biomasse souterraine

#### **2.3.3.4. Estimation du Carbone stocké dans la Biomasse (C)**

La quantité de carbone stocké dans la biomasse sur une aire délimitée est obtenue en multipliant la Biomasse totale par le contenu en carbone des végétaux. Dans les études non destructives, le facteur de conversion le plus communément utilisé pour l'estimation de la quantité de carbone dans la biomasse est celui recommandé par le GIEC (2003) et Nair (2012), c'est-à-dire 0,5. Cette quantité de carbone stocké est évaluée par la formule suivante :

$$\mathbf{C = Btot (t/ha) * 0,5.}$$

## CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION

### 3.1. Résultats

#### 3.1.1. Composition floristique et richesse spécifique

La flore ligneuse recensée au niveau des zones de parcours du Sénégal étudiées est riche de 51 espèces, réparties en 40 genres appartenant à 23 familles (Tableau 5). Sur les 23 familles inventoriées, les plus représentées sont les *Combretaceae* (8 espèces), suivies des *Mimosaceae* et des *Caesalpiniaceae* (5 espèces chacune), des *Anacardiaceae* et des *Papilionaceae* (4 espèces chacune). Les genres les plus représentés sont : *Acacia* et *Combretum* (4 espèces chacun) et *Lannea* (3 espèces).

**Tableau 5** : composition floristique des ligneux de la zone d'étude

Familles	Genres	Espèces
<i>Anacardiaceae</i>	<i>Lannea</i>	<i>L. acida</i> A. Rich.
		<i>L. microcarpa</i> Engl. & K. Krause
		<i>L. velutina</i> A. Rich.
	<i>Sclerocarya</i>	<i>S. birrea</i> (A. Rich.) Hochst.
<i>Annonaceae</i>	<i>Annona</i>	<i>A. senegalensis</i> Pers.
	<i>Hexalobus</i>	<i>H. monopetalus</i> (A. Rich.) Engl. & Diels
<i>Apocynaceae</i>	<i>Adenium</i>	<i>A. obesum</i> (Forssk.) Roem. & Schult.
<i>Asclepiadaceae</i>	<i>Calotropis</i>	<i>C. procera</i> (Aiton) W.T. Aiton
	<i>Leptadenia</i>	<i>L. pyrothechnica</i> (Forssk.) Decne.
<i>Balanitaceae</i>	<i>Balanites</i>	<i>B. aegyptiaca</i> (L.) Delile
<i>Bignoniaceae</i>	<i>Stereospermum</i>	<i>S. kunthianum</i> Cham.
<i>Bombacaceae</i>	<i>Adansonia</i>	<i>A. digitata</i> L.
	<i>Bombax</i>	<i>B. costatum</i> Pellegr. & Vuillet
<i>Boraginaceae</i>	<i>Cordia</i>	<i>C. ssp</i> Lam. Ou L.
<i>Burseraceae</i>	<i>Commiphora</i>	<i>C. africana</i> (A. Rich.) Engl.
	<i>Bauhinia</i>	<i>B. rufescens</i> Lam.
	<i>Burkea</i>	<i>B. africana</i> Hook. f.
	<i>Cordyla</i>	<i>C. pinnata</i> (Lepr.) Miln. Red.
	<i>Detarium</i>	<i>D. microcarpum</i> Guill. & Perr.
<i>Caesalpiniaceae</i>	<i>Piliostigma</i>	<i>P. reticulatum</i> (DC.) Hochst.
	<i>Boscia</i>	<i>B. angustifolia</i> A. Rich.
		<i>B. senegalensis</i> (Pers.) Lam. ex Poir.
<i>Capparis</i>	<i>C. decidua</i> (Forssk.) Edgew.	
<i>Celastraceae</i>	<i>Maytenus</i>	<i>M. senegalensis</i> (Lam.) Exell
	<i>Anogeissus</i>	<i>A. leiocarpus</i> (DC.) Guill. & Perr.
<i>Combretaceae</i>	<i>Combretum</i>	<i>C. glutinosum</i> auct. et Perr.
		<i>C. lecardii</i> Engl. & Diels
		<i>C. microcarpum</i> G. Don
		<i>C. nigricans</i> Lepr. ex Guill. & Perr.
	<i>Guiera</i>	<i>G. senegalensis</i> J.F. Gmel.

	<i>Terminalia</i>	<i>T. avicennodis</i> Guill. & Perr. <i>T. macroptera</i> G. et Perr.
<b>Papilionaceae</b>	<i>Dalbergia</i>	<i>D. melanoxyton</i> Guill. & Perr.
	<i>Pterocarpus</i>	<i>P. erinaceus</i> Poir. <i>P. lucens</i> Guill. & Perr.
	<i>Xeroderrus</i>	<i>X. stuhlmannii</i> (Taub.) Mendonça & E.P. Sousa
	<i>Hymenocardiaceae</i>	<i>Hymenocardia</i>
<i>Hymenocardiaceae</i>	<i>Hymenocardia</i>	<i>H. acida</i> Tul.
<b>Loganiaceae</b>	<i>Strychnos</i>	<i>S. spinosa</i> Lam.
<b>Mimosaceae</b>	<i>Acacia</i>	<i>A. macrostachya</i> Reich. ex DC. <i>A. radiana</i> (Savi) <i>A. senegal</i> (L.) Willd. <i>A. seyal</i> Auct.
	<i>Dichrostachys</i>	<i>D. cinerea</i> (L.) Wight. et Arn.
	<b>Rhamnaceae</b>	<i>Ziziphus</i>
	<i>Ziziphus</i>	<i>Z. mauriciana</i> auct.
<b>Rubiaceae</b>	<i>Crossopterys</i>	<i>C. febrifuga</i> (Afzel. ex G. Don) Benth.
	<i>Gardenia</i>	<i>G. ternifolia</i> Schumach. & Thonn.
	<i>Feretia</i>	<i>F. apodanthera</i> Delile
<b>Simaroubaceae</b>	<i>Hannoa</i>	<i>H. undulata</i> (Guill. & Perr.) Planch.
<b>Sterculiaceae</b>	<i>Sterculia</i>	<i>S. setigera</i> Delile
<b>Tilliaceae</b>	<i>Grewia</i>	<i>G. bicolor</i> Juss.
<b>Verbenaceae</b>	<i>Vitex</i>	<i>V. doniana</i> Sweet

Selon les écorégions, la flore ligneuse de la RTO est riche de 33 espèces, réparties en 27 genres appartenant à 17 familles. Les familles des *Combretaceae* (8 espèces), *Anacardiaceae*, *Caesalpiniaceae*, *Papilionaceae* et *Rubiaceae* (3 espèces chacune) sont les plus représentées. Les genres *Combretum* et *Lannea* avec respectivement 4 et 2 espèces, sont plus représentés.

Quant à la RPA, elle est riche de 23 espèces, réparties en 17 genres appartenant à 14 familles. Les familles des *Combretaceae* (5 espèces), *Mimosaceae* (4 espèces), *Anacardiaceae* et *Papilionaceae* (2 espèces chacune) sont plus représentées. Les autres familles renferment chacune une espèce. Les genres *Combretum* et *Acacia* avec respectivement 3 et 2 espèces, sont mieux représentés. La RPF est riche de 18 espèces, réparties en 15 genres appartenant à 11 familles botaniques. Les familles des *Combretaceae* (4 espèces), *Papilionaceae* (3 espèces), *Mimosaceae* et *Rubiaceae* (2 espèces chacune) sont plus importantes. Les genres *Combretum* et *Pterocarpus* avec respectivement 3 et 2 espèces, sont mieux représentés.

La RPS est riche de 16 espèces, réparties en 14 genres appartenant à 11 familles. Les familles des *Combretaceae* (3 espèces), *Asclepiadaceae*, *Capparaceae* et *Mimosaceae* (2 espèces chacune) sont mieux représentées. Le genre *Combretum* est plus représenté avec 2 espèces.

Par rapport aux domaines climatiques, la zone sahélienne correspond à la RPS donc possède la même composition floristique. Quant au domaine soudanien, il est composé de 45 espèces avec 35 genres et 21 familles. Les familles les plus importantes sont : *Combretaceae* (8 espèces), *Anacardiaceae*, *Papilionaceae*, *Mimosaceae* (4 espèces chacune). Les genres dominants sont *Combretum*, *Acacia*, *Pterocarpus* et *Terminalia* avec respectivement 4 ; 3 ; 2 et 2 espèces (Tableau 6).

La liste des espèces ligneuses recensées dans les ZPS suivant les domaines et les écorégions est représentée en Annexe 2.

**Tableau 6** : richesse spécifique des zones de parcours suivant les écorégions et les domaines climatiques.

	Groupes taxonomiques		Richesse spécifique	
	Familles	Genres		
<b>Zone d'étude</b>	ZPS	23	40	51
	RTO	17	27	33
<b>Ecorégions</b>	RPA	14	17	23
	RPF	11	15	18
	RPS	11	14	16
	DSou	21	35	45
<b>Domaines</b>	DSah	11	14	16

**Légende** : RTO=région transitoire orientale ; RPA=région agropastorale mixte ; RPF=région pastorale ferrugineuse ; RPS=région pastorale sableuse ; DSou (= RTO+RPA+RPF)=domaine soudanien ; DSah (=RPS)=domaine sahélien.

### 3.1.2. Stock de carbone de la végétation ligneuse

Sur l'ensemble de la zone d'étude, la biomasse ligneuse aérienne ou épigée (AGB) est évaluée à 637,29 t / ha et la biomasse aérienne moyenne par individu à 180,69 kg (Tableau 7). La

biomasse ligneuse souterraine ou hypogée (BGB) correspondante est de 104,26 t / ha, soit 29,56 kg par individu.

Ainsi, la production de biomasse végétale totale (B<sub>tot</sub>) de la zone d'étude est évaluée à 741,55 t/ha correspondant à une quantité de carbone stockée égale à 370,77 t C /ha avec un stockage moyen de carbone par individu de 0,10 t C. La partie souterraine a stocké 52,13 t C/ha tandis que quantité de carbone stockée par la partie aérienne est évaluée à 318,64 t C/ha.

**Tableau 7** : biomasse produite et carbone séquestré par la végétation ligneuse des zones de parcours à l'échelle de la zone d'étude et de la moyenne par individu

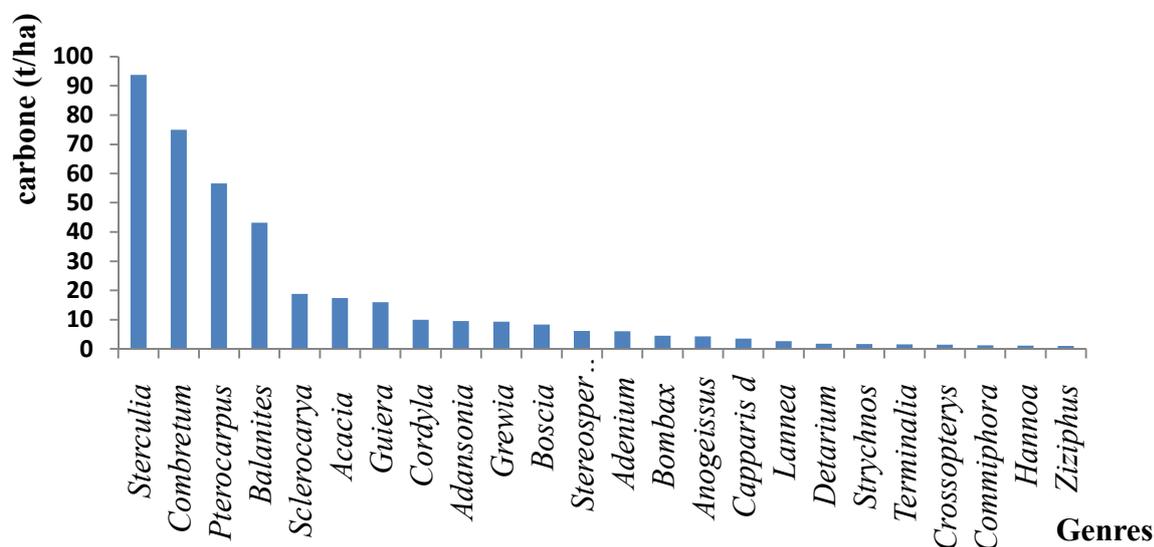
Biomasse	Zone d'étude	Moyenne/individu
Aérienne ou épigée (t/ha)	637,29	0,18
Souterraine ou hypogée (t/ha)	104,26	0,03
Biomasse totale (t/ha)	741,55	0,21
Carbone stocké (t C/ha)	370,77	0,10

Considérant les familles, les *Combretaceae* (95,43 t C/ha), *Sterculiaceae* (93,73 t C/ha), *Papilionaceae* (57,61 t C/ha) et les *Balanitaceae* (43,16 t C/ha) sont les familles qui stockent le plus de carbone dans la zone avec une contribution à la séquestration de C de 73,07 % (Tableau 8). Les deux premières familles stockent environ la moitié (47,62 %) de carbone séquestré par la végétation ligneuse des parcours de la zone d'étude tandis que les deux autres séquestrent le quart de carbone de la zone (25,45 %).

**Tableau 8** : variation du stock de carbone suivant les familles dans la zone d'étude

Familles	Carbone stocké(t C/ha)	Familles	Carbone stocké(t C/ha)
<i>Combretaceae</i>	95,43	<i>Apocynaceae</i>	6,01
<i>Sterculiaceae</i>	93,73	<i>Rubiaceae</i>	2,12
<i>Papilionaceae</i>	57,61	<i>Loganiaceae</i>	1,61
<i>Balanitaceae</i>	43,16	<i>Burseraceae</i>	1,21
<i>Anacardiaceae</i>	21,23	<i>Simaroubaceae</i>	1,13
<i>Mimosaceae</i>	17,37	<i>Rhamnaceae</i>	1,00
<i>Bombacaceae</i>	13,73	<i>Asclepiadaceae</i>	0,78
<i>Caesalpiniceae</i>	12,58	<i>Annonaceae</i>	0,57
<i>Capparaceae</i>	11,66	<i>Celastraceae</i>	0,37
<i>Tilliaceae</i>	9,28	<i>Verbenaceae</i>	0,03
<i>Bignoniaceae</i>	6,09	<i>Hymenocardiaceae</i>	0,02
		<i>Boraginaceae</i>	0,02

Au niveau générique, les genres qui stockent le plus de carbone sont principalement *Sterculia* (93,73 t C/ha), *Combretum* (74,99 t C/ha), *Pterocarpus* (56,59 t C/ha), *Balanites* (43,16 t C/ha), *Sclerocarya* (18,80 t C/ha), *Acacia* (17,35 t C/ha) et *Guiera* (15,96 t C/ha) (Figure 3). La contribution à la séquestration de carbone de ces sept (7) genres est de 80,32%.



**Figure 3 :** variation de la quantité carbone séquestrée en fonction des genres dans les ZPS

Au niveau spécifique, les espèces qui prédominent en termes de quantité de carbone séquestré sont *Sterculia setigera* (93,73 t C/ha), *Combretum glutinosum* (70,89 t C/ha), *Pterocarpus lucens* (45,61 t C/ha), *Balanites aegyptiaca* (43,16 t C/ha) (Tableau 9). Ces espèces contribuent à la séquestration à hauteur de 63,26 % du stock de C total séquestré par la végétation ligneuse des parcours.

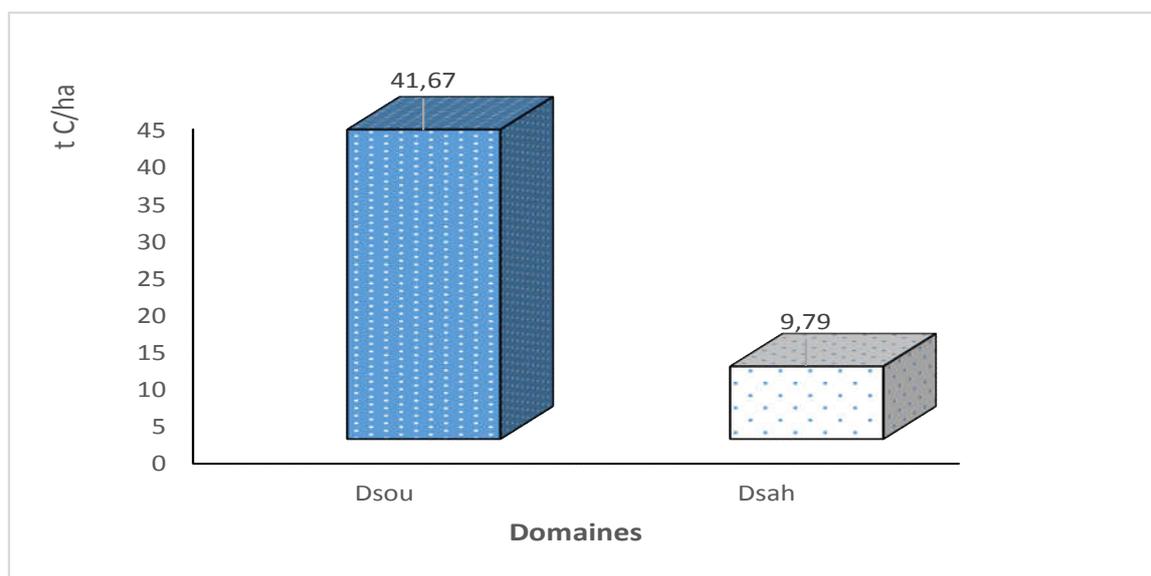
**Tableau 9 :** quantité de carbone stocké suivant les espèces ligneuses dans les zones de parcours du Sénégal

Espèces	Carbone stocké (t C/ha)	Espèces	Carbone stocké (t C/ha)
<i>Sterculia setigera</i>	93,73	<i>Hannoa undulata</i>	1,13
<i>Combretum lutinosum</i>	70,89	<i>Ziziphusm auriciana</i>	1,00
<i>Pterocarpus lucens</i>	45,61	<i>Xeroderris stuhlmannii</i>	0,94
<i>Balanites aegyptiaca</i>	43,16	<i>Calotropis procera</i>	0,78
<i>Sclerocarya birrea</i>	18,80	<i>Burkea africana</i>	0,76
<i>Guiera senegalensis</i>	15,96	<i>Gardenia ternifolia</i>	0,62
<i>Acacia raddiana</i>	12,44	<i>Hexalobus monopetalus</i>	0,56
<i>Pterocarpus erinaceus</i>	11,58	<i>Lannea microcarpa</i>	0,54
<i>Cordyla pinnata</i>	9,94	<i>Combretum lecardii</i>	0,41
<i>Adansonia digitata</i>	9,46	<i>Maytenus senegalensis</i>	0,37
<i>Grewia bicolor</i>	9,28	<i>Bauhinia rufescens</i>	0,36

<i>Boscia senegalensis</i>	8,11	<i>Boscia angustifolia</i>	0,22
<i>Stereospermum kunthianum</i>	6,09	<i>Dalbergia melanoxylon</i>	0,22
<i>Adenium obesum</i>	6,01	<i>Acacia senegal</i>	0,14
<i>Acacia machrostachya</i>	5,02	<i>Lannea velutina</i>	0,13
<i>Bombax costatum</i>	4,48	<i>Terminalia macroptera</i>	0,10
<i>Anogeissus leiocarpus</i>	4,28	<i>Feretia apondanthera</i>	0,09
<i>Capparis decidua</i>	3,53	<i>Vitex doniana</i>	0,03
<i>Combretum micranthum</i>	2,19	<i>Hymenocardia acida</i>	0,02
<i>Lannea acida</i>	1,99	<i>Dichrostachys cinerea</i>	0,02
<i>Combretum nigricans</i>	1,96	<i>Cordia sp</i>	0,02
<i>Detarium microcarpum</i>	1,74	<i>Annona senegalensis</i>	0,01
<i>Stychnos spinosa</i>	1,61	<i>Leptadenia pyrotechnica</i>	0,01
<i>Terminalia avicennioides</i>	1,48	<i>Piliostigma reticulatum</i>	0,004
<i>Crossopteryx febrifuga</i>	1,45	<i>Acacia seyal</i>	0,003
<i>Commiphora africana</i>	1,21		

### 3.1.3. Potentiel de séquestration de carbone de la végétation suivant les domaines

La Figure 4 indique que la quantité de carbone séquestré à l'hectare dans la zone soudanienne (41,67 t C/ha) est largement supérieure à celle séquestrée dans la zone sahéenne (9,79 t C/ha). Il apparaît ainsi que le potentiel de séquestration dans le domaine sahéen (19,03 %) représente environ le quart de celui du domaine soudanien (80,97 %).



**Figure 4** : potentiel de sequestration de carbone (t C/ha) suivant les domaines.

**Légende** : DSou = domaine soudanien ; DSah = domaine sahéen

### 3.1.3.1. Stock de carbone selon les familles

Le Tableau 10 montre que dans la zone soudanienne, les familles des *Sterculiaceae* (31,87 %), *Combretaceae* (26,06 %) et *Papilionaceae* (19,26 %) présentent la plus forte contribution au stockage de carbone tandis que dans la zone sahélienne, ce sont les *Balanitaceae* (44,01 %), *Combretaceae* (22,27 %) et *Anacardiaceae* (15,61 %) qui sont les plus importantes en termes de contribution à la séquestration de carbone. Ces familles totalisent respectivement 77,19 % et 81,89 % de C dans les domaines soudanien et sahélien.

**Tableau 10** : contribution relative des différentes familles à la séquestration du carbone suivant les zones

Familles	Zone soudanienne		Familles	Zone Sahélienne	
	Stock carbone (t · C/ha)	Contribution (%)		Stock carbone (t · C/ha)	Contribution (%)
<i>Sterculiaceae</i>	93,73	31,87	<i>Balanitaceae</i>	42,64	44,01
<i>Combretaceae</i>	76,65	26,06	<i>Combretaceae</i>	21,58	22,27
<i>Papilionaceae</i>	56,65	19,26	<i>Anacardiaceae</i>	15,12	15,61
<i>Bombacaceae</i>	13,94	4,74	<i>Capparaceae</i>	9,59	9,90
<i>Caesalpiniaceae</i>	12,45	4,23	<i>Papilionaceae</i>	1,87	1,93
<i>Tilliaceae</i>	7,87	2,67	<i>Tilliaceae</i>	1,52	1,57
<i>Anacardiaceae</i>	6,56	2,23	<i>Mimosaceae</i>	1,45	1,50
<i>Bignoniaceae</i>	6,27	2,13	<i>Rhamnaceae</i>	1,00	1,03
<i>Apocynaceae</i>	6,01	2,04	<i>Burseraceae</i>	0,97	1,01
<i>Mimosaceae</i>	5,06	1,72	<i>Asclepiadaceae</i>	0,79	0,81
<i>Capparaceae</i>	2,39	0,81	<i>Caesalpiniaceae</i>	0,36	0,37
<i>Rubiaceae</i>	2,17	0,74			
<i>Loganiaceae</i>	1,61	0,55			
<i>Simaroubaceae</i>	1,13	0,38			

<i>Balanitaceae</i>	0,90	0,31
<i>Celastraceae</i>	0,37	0,13
<i>Burseraceae</i>	0,26	0,09
<i>Annonaceae</i>	0,03	0,012
<i>Verbenaceae</i>	0,03	0,01
<i>Hymenocardiaceae</i>	0,02	0,01
<i>Boraginaceae</i>	0,01	0,004

---

### 3.1.3.2. Stock de carbone selon les genres

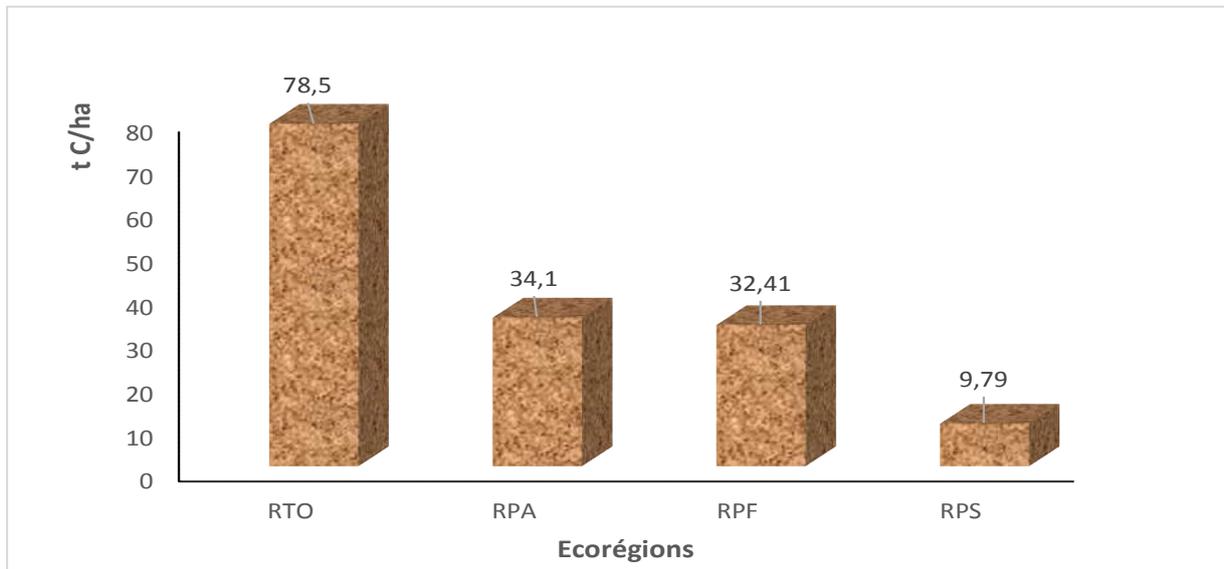
La contribution absolue et relative des différents genres à la séquestration du carbone suivant les domaines est présentée en Annexe 3.

Les genres qui stockent le plus le carbone sont principalement *Sterculia* (93,73 t C/ha), *Combretum* (62,65 t C/ha) et *Pterocarpus* (55,49 t C/ha) dans la zone soudanienne et *Balanites* (42,64 t C/ha), *Sclerocarya* (15,12 t C/ha) et *Combretum* (13,51 t C/ha) dans la zone sahélienne. Ces genres dominants contribuent à eux seuls à hauteur de 72,01% et 73,57% de C séquestré respectivement dans les domaines soudanien et sahélien. Par contre, les stocks de carbone les moins importants sont enregistrés avec les genres *Piliostigma* (0,002 t C/ha), *Annona*, (0,003 t C/ha), *Cordia* (0,004 t C/ha) qui renferment 0,01 % dans le domaine soudanien et *Leptadenia* (0,01 t C/ha), *Bauhinia* (0,37 t C/ha) avec 0,4 % dans le domaine sahélien.

### 3.1.4. Stock de carbone de la végétation ligneuse suivant les écorégions

Le potentiel de séquestration de carbone (PSC) de la végétation ligneuse des zones de parcours est plus important au niveau de la RTO (78,50 t C/ha), suivie de la RPA (34,10 t C/ha), de la RPF (32,41 t C/ha), et de la RPS (9,79 t C/ha) (Figure 5). Ainsi, le PSC de la

végétation ligneuse de la RTO (50,71 %) est plus élevé que celui des trois écorégions (RPA, RPF et RPS) réunies (49,29 %).



**Figure 5** : potentiel de séquestration du carbone de la végétation ligneuse des ZPS suivant les écorégions.

**Légende:** RTO=région transitoire orientale, RPA=région agropastorale mixte, RPF=région pastorale ferrugineuse, RPS=région pastorale sableuse.

### 3.1.4.1. Stock de carbone selon les familles

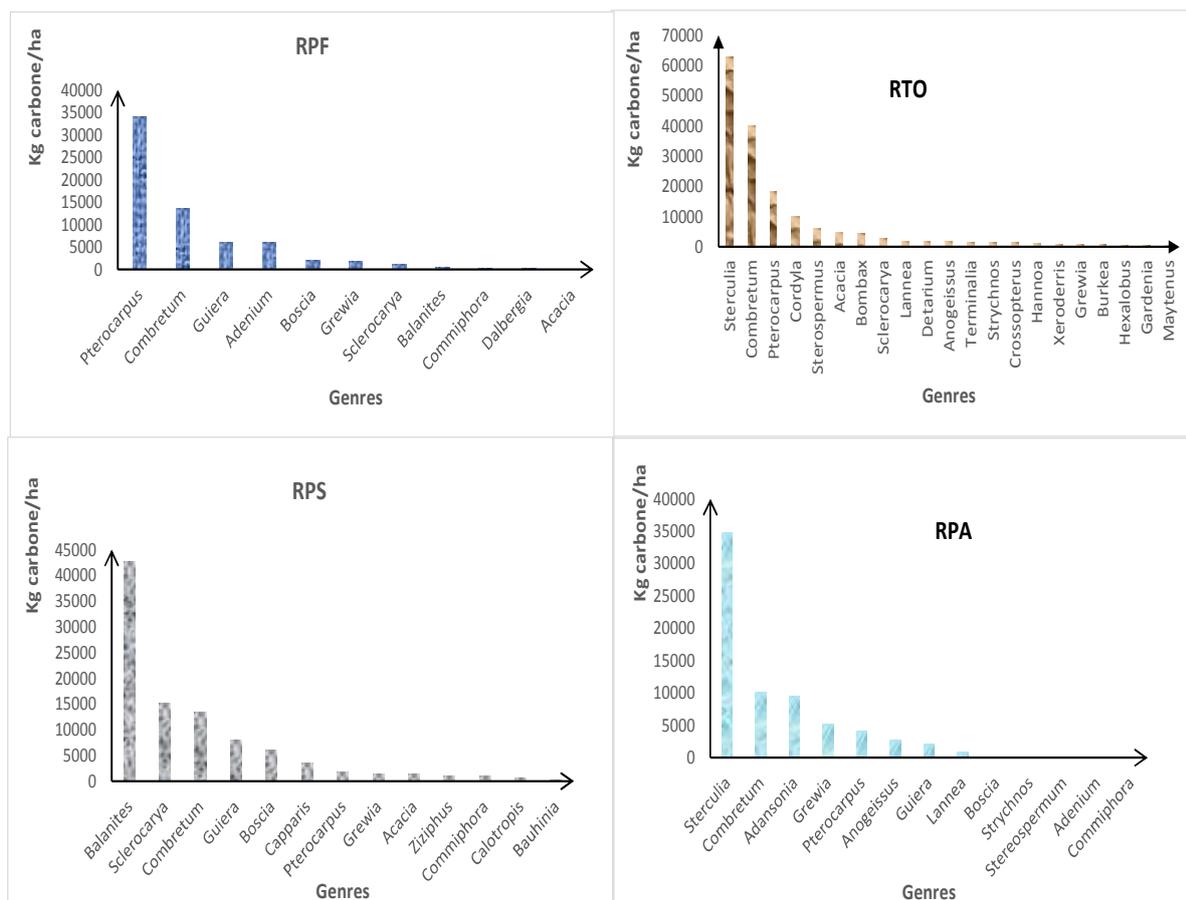
Le Tableau 11 montre la séquestration de carbone des familles en valeurs absolues et relatives en fonction des écorégions. Les familles ayant séquestré les plus fortes proportions de C sont : *Sterculiaceae* (38,08 %), *Combretaceae* (26,39 %), dans la RTO ; *Sterculiaceae* (49,90 %), *Combretaceae* (21,34 %), dans la RPA ; *Papilionaceae* (51,71 %), *Combretaceae* (29,85 %) dans la RPF et *Balanitaceae* (44,01 %), *Combretaceae* (22,27 %), dans la RPS. La famille des *Sterculiaceae* à elle seule stocke la moitié de carbone dans l'écorégion mixte, les *Papilionaceae* plus de la moitié dans l'écorégion ferrugineuse et les *Balanitaceae* emmagasinent environ la moitié de C dans celle sableuse. La famille des *Combretaceae* occupe la deuxième position en termes de quantité de carbone stocké dans toutes les écorégions. La contribution des différentes familles à la séquestration du carbone suivant les différentes écorégions sont présentées en Annexe 4.

**Tableau 11** : contribution des cinq différentes familles ayant le PSC le plus important suivant les différentes écorégions.

	RTO		RPA		RPF		RPS				
Familles	Stock carbone (t C/ha)	Contribution (%)	Familles	Stock carbone (t C/ha)	Contribution (%)	Familles	Stock carbone (t C/ha)	Contribution (%)	Familles	Stock carbone (t C/ha)	Contribution (%)
<i>Sterculiaceae</i>	62,69	38,08	<i>Sterculiaceae</i>	34,81	49,90	<i>Papilionaceae</i>	34,21	51,71	<i>Balanitaceae</i>	42,64	44,01
<i>Combretaceae</i>	43,44	26,39	<i>Combretaceae</i>	14,89	21,34	<i>Combretaceae</i>	19,75	29,85	<i>Combretaceae</i>	21,58	22,27
<i>Papilionaceae</i>	19,18	11,65	<i>Bombacaceae</i>	9,46	13,56	<i>Apocynaceae</i>	5,98	9,03	<i>Anacardiaceae</i>	15,12	15,61
<i>Caesalpiniaceae</i>	12,44	7,56	<i>Tilliacae</i>	5,20	7,46	<i>Capparidaceae</i>	2,02	3,06	<i>Capparidaceae</i>	9,59	9,90
<i>Bignoniaceae</i>	6,05	3,67	<i>Papilionaceae</i>	4,10	5,88	<i>Tilliacae</i>	1,94	2,94	<i>Papilionaceae</i>	1,87	1,94

### 3.1.4.2. Stock de carbone selon les genres

Les genres qui stockent le plus de carbone sont *Sterculia* 62,70 t C/ha (38,08 %) et *Combretum* 40,11 t C/ha (24,37 %) dans la RTO ; *Sterculia* 34,81 t C/ha (49,90 %) et *Combretum* 10,15 t C/ha (14,55 %) dans la RPA ; *Pterocarpus* 33,99 t C/ha (51,38 %) et *Combretum* 13,61 t C/ha (20,57 %), dans la RPF et enfin *Balanites* 42,64 t C/ha (44,01 %) et *Sclerocarya* 15,12 t C/ha (15,61 %) dans la RPS (Figure 6). Les genres *Sterculia* et *Pterocarpus* séquestrent respectivement la moitié de carbone stocké dans la biomasse totale des zones de parcours des écorégions RPA et RPF. Quant au genre *Balanites*, il stocke environ la moitié du carbone contenu dans la végétation de l'écorégion sableuse.



**Figure 6 :** stockage générique de carbone dans les quatre écorégions (RPS, RPA, RPF et RTO).

### 3.1.4.3. Stock de carbone selon les espèces

Le stock de carbone selon les espèces varie d'une écorégion à l'autre (Annexe 5) :

- dans la RTO, les contributions spécifiques à la séquestration de carbone les plus importantes sont notées avec les espèces *Sterculia setigera* 62,69 t C/ha et *Combretum glutinosum* 37,38 t C/ha qui cumulent une valeur relative de 60,79 %;

-dans la RPA, elles sont enregistrées avec *Sterculia setigera* (34,81 t C/ha), *Adansonia digitata* (9,46 t C/ha), *Combretum glutinosum* (9,10 t C/ha). Ces espèces contribuent à la séquestration de carbone dans cette zone à hauteur de C de 76,50 % dont les 49,90 % uniquement par *Sterculia setigera*.

-dans la RPF ce sont les espèces *Pterocarpus lucens* 33,40 t C/ha (50,47 %) et *Combretum glutinosum* 12,87 t C/ha (19,45 %) qui présentent les contributions les plus importantes;

-et dans la RPS, on note une prédominance des espèces *Balanites aegyptiaca* 42,64 t C/ha, *Sclerocarya birrea* 15,12 t C/ha, *Combretum glutinosum* 13,35 t C/ha en termes de stockage

du carbone. Celles-ci totalisent à elles seules dans la région 73,40 % du Carbone séquestré dont les 44,01 % sont occupés par *Balanites aegyptiaca*.

Le stockage spécifique en C de *Sterculia setigera* et *Balanites aegyptiaca* équivaut à celui générique et familial respectivement dans les régions orientale, mixte et sableuse.

Par contre, les espèces qui stockent la plus faible quantité de carbone à l'hectare sont :

dans l'écorégion orientale *Annona senegalensis* (0,01 t C), *Hymenocardia acida* (0,02 t C), *Vitex doniana* (0,03 t C), *Feretia apodanthera* (0,06 t C) et *Guiera senegalensis* (0,07 t C) ;

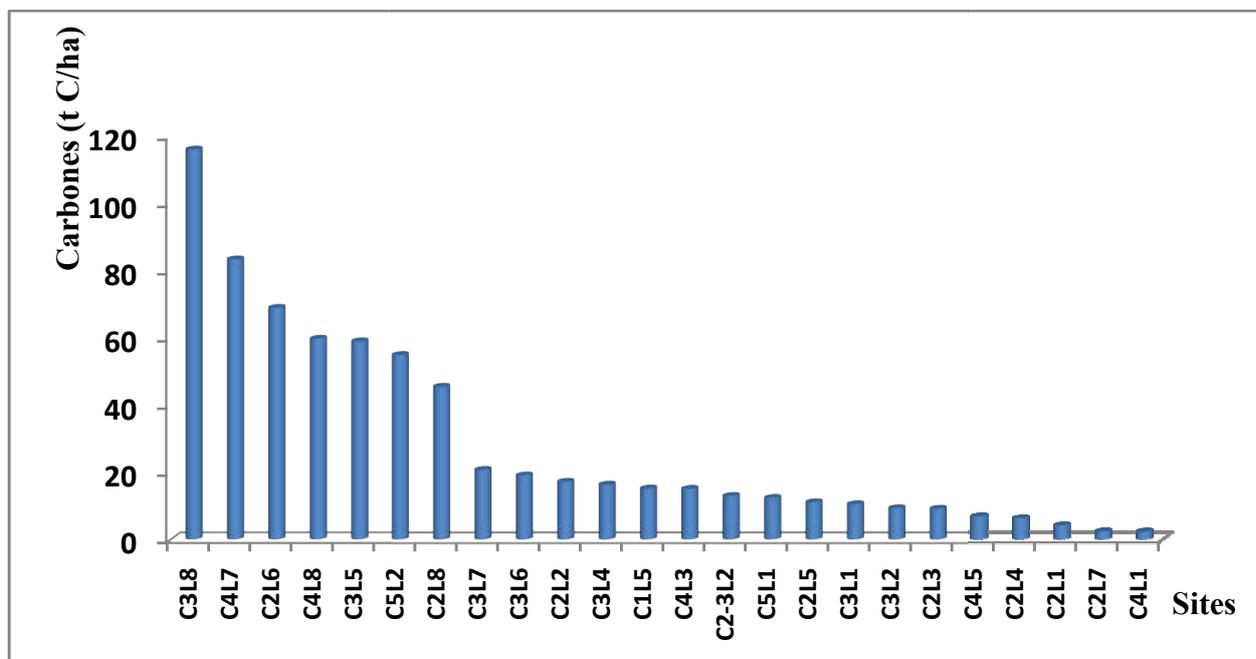
dans la RPF, *Acacia seyal* (0,003 t C), *Piliostigma reticulatum* (0,004 t C), *Acacia raddiana* (0,010 t C), *Dichrostachys cinerea* (0,012 t · C), *Maytenus senegalensis* et *Acacia macrostachya* (0,014 t C chacune)

dans la RPA ; *Dichrostachys cinerea* et *Cordia ssp* ont chacune (0,012 t C), *Feretia apodanthera* (0,030 t C)

et dans l'écorégion sableuse, *Leptadenia pyrotechnica* (0,01 t C) et *Acacia senegal* (0,14 t C).

### 3.1.5. Stock de carbone de la végétation ligneuse suivant les sites

Les sites C3L8 (Malem Niani), C4L7 (Mayel Dibi) et C2L6 (Ranch de Doly) contribuent plus à la séquestration de carbone avec respectivement 116,03 ; 83,33 ; 68,92 t C/ha (Figure 7). Ces trois se situant dans le domaine soudanien séquestrent au total 39,62 % de t C/ha. Les sept (7) premiers de ces 24 sites séquestrent l'essentiel de C soit 71,92 % du carbone séquestré.



**Figure 7** : variation du stock de carbone de la végétation ligneuse en fonction des sites de la zone d'étude

### 3.2. Discussion

L'étude a pour objectif général de contribuer à une meilleure connaissance du potentiel de séquestration de la végétation ligneuse dans les zones parcours du Sénégal. La biomasse végétale totale de la zone d'étude est évaluée à 741,55 t/ha soit une quantité de carbone séquestré de 370,77 t C/ha. Ce résultat est conforme à ceux obtenus en forêts tropicales humides au Guadeloupe par Dorvil (2010) et au Ghana par Henry et *al* (2011) avec respectivement une quantité moyenne de carbone séquestré de 377,09 t C / ha et 355 t C / ha. Ce rapprochement en termes de quantité de carbone séquestré pourrait s'expliquer par une densité des arbres, et d'autres facteurs influençant la variabilité de la biomasse des arbres presque similaires entre ces localités (Kombate et *al.*, 2019). Par contre les quantités de carbone séquestrées dans la zone frontalière du Sud-ouest de la Côte d'Ivoire 264,12 t C ha<sup>-1</sup> sont inférieures à celles obtenues dans le cadre de cette étude. Aussi, en république du Congo dans la forêt de Dimonika, Tsoumou et *al.* (2016) ont obtenu des résultats inférieurs à ceux de cette étude avec un stock de carbone estimé à 129 t C / ha pour une biomasse totale de 275,37 t / ha. Cette différence pourrait s'expliquer par la taille des placettes. En effet, la variabilité spatiale de la quantité de carbone stocké est principalement liée à la variabilité des conditions pédoclimatiques, aux modes de gestion, aux types de végétation et aux formes d'usage des écosystèmes.

#### 3.2.1. Contribution des familles, des genres et des espèces à la séquestration du carbone dans la zone d'étude

Les *Combretaceae*, *Sterculiaceae*, *Papilionaceae* et *Balanitaceae* sont les familles qui stockent le plus de carbone dans la zone d'étude. Quant aux espèces qui stockent le plus le carbone sont essentiellement *Sterculia setigera*, *Combretum glutinosum*, *Pterocarpus lucens* et *Balanites aegyptiaca*. Cette prédominance de certains groupes taxonomiques en termes de stockage du carbone pourrait être liée au diamètre de leur tronc plus important que celui des autres groupes taxonomiques (Nguessan et *al*, 2015). Aussi, la densité élevée de certains groupes taxonomiques pourrait expliquer cette séquestration élevée (Tsoumou et *al.*, 2016).

#### 3.2.2. Stock de carbone de la végétation ligneuse suivant les domaines climatiques

La quantité de carbone stocké par la végétation ligneuse au niveau du domaine sahélien (DSah) est faible (9,79 t C/ha) comparée à celle séquestrée au niveau du domaine soudanien (DSou) avec une quantité de 41,67 t C/ha. Ainsi la contribution relative du domaine Soudanien est de 80,97 % t C/ha contre 19,03 % t C/ha pour le domaine sahélien. Ces différences peuvent être liées soit à la pluviométrie, aux types de sols, soit aux pratiques et à

la diversité des espèces ligneuses qui ne sont pas forcément les mêmes dans les deux zones (Diatta, 2015). Sur les zones de parcours du Sénégal, les caractéristiques de la végétation ligneuse telles que la densité, le diamètre au tronc, la circonférence varient d'une formation ligneuse à une autre. Ces paramètres constituent un bon outil d'appréciation de la maturité d'une formation végétale (Kombate et *al.*, 2019). Ils se révèlent faibles dans les formations ouvertes et importantes dans les formations boisées. Les feux de végétations, la pression du bétail sur les ligneux et la coupe du bois de chauffe sont plus marqués dans les savanes arbustives que celles arborées ainsi entraînant le ralentissement de la croissance des ligneux dans la zone sahélienne.

Le diamètre au tronc, la densité et la diversité des arbres du DSou sont plus élevés que ceux du DSah de la zone d'étude. Ceci pourrait expliquer cette forte différence en termes de carbone stocké (Diatta, 2015). Selon Shaiek et *al.*, (2010), les valeurs de la séquestration du carbone sont très variables selon l'espèce et la densité du peuplement. Dans le domaine sahélien, la pauvreté explique les coupes abusives pour compenser la faiblesse des revenus des populations mais aussi pour l'énergie, la construction, la pharmacopée et l'alimentation du bétail (CSE, 2009). Les résultats de Ndiaye et *al.* (2010) montrent que les arbres gros sont très rares dans ce domaine.

### **3.2.3. Contribution à la séquestration du carbone par la végétation ligneuse des écorégions**

La séquestration en carbone la plus importante est observée dans la RTO (78,50 t C.ha<sup>-1</sup>) et la plus faible (9,79 t C.ha<sup>-1</sup>) dans la RPS. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que les stocks de carbone dépendent de plusieurs paramètres qui sont entre autres la qualité et la quantité des arbres (Amougou et *al.*, 2018). Les actions anthropiques pourraient expliquer pour leur part les différences de stock de carbone observées entre les quatre écorégions des zones de parcours. En général, la pression exercée sur les formations ligneuses reste très forte (Faye, 2010) dans la zone sylvopastorale surtout celle septentrionale. Par ailleurs, dans les zones rurales du Sénégal en saison sèche, le pâturage herbacé se faisant rare, le fourrage ligneux reste la seule alternative pour l'alimentation du bétail (Akpo et *al.*, 1995; Sarr et *al.*, 2013). Or, ce type d'émondage est plus fréquent dans les parcours naturels du Ferlo, que dans les parcs arborés des zones orientale et centrale du Sénégal. Les quantités de carbone séquestrées dans la RTO et dans la RPS sont presque les mêmes que celles obtenues par Amougou et *al.*,

(2018) à Ediolomo (76,99 t C/ha) dans les AFC établies sur savanes et à Kédia (18,64 t C/ha) dans les parcelles non exploitées du Cameroun.

Dans le Ferlo sableux (RPS), on rencontre plus des arbustes de petite taille donc de circonférence faible or les arbres à gros diamètre et à grande taille sont rencontrés dans la région orientale du Sénégal (RTO). Cette dernière est caractérisée par des savanes arborées et boisées (Tappan et *al.*, 2004). Cette différence du potentiel de séquestration entre les écorégions s'expliquerait par une diversité (familles et espèces) plus importante dans la RTO que la RPS. Cette diversité est moyenne dans les autres écorégions. En plus, les individus ayant les plus gros diamètres comme les espèces *Sterculia setigera* et *Cordyla pinnata* se trouvent presque uniquement dans l'écorégion orientale. Par contre les plus petits sujets comme les *Guiera senegalensis*, *Balanites aegyptiacaca*, *Boscia senegalensis* se retrouvent dans la zone sableuse (Niang et *al.*, 2014). S'agissant les écorégions intermédiaires, la contribution à la séquestration de carbone de la RPA supérieure à la RPF est influencée par la présence de la famille *Sterculiaceae* dans la région mixte. Les différences observées entre les écorégions peuvent être liées à la densité et à la diversité des espèces ligneuses qui ne sont pas forcément les mêmes dans les différentes écorégions. Or, dans un milieu, plus la diversité et la densité des espèces sont élevées, plus il y a une utilisation efficiente des ressources du sol avec un recyclage des éléments nutritifs et une augmentation de la matière organique du sol (Saha et *al.*, 2009), ce qui conduit à une production primaire nette et à un stockage de carbone élevés (Kirby et Potvin, 2007 ; Takimoto et *al.*, 2008). Cette hypothèse est confirmée par l'étude car les régions RTO, RPA, RPF et RPS sont respectivement plus importantes en termes de diversité et densité et par conséquent du stock de carbone. Le stock de carbone obtenu dans la zone sableuse est identique de celui mesuré dans les savanes dégradées du Burkina Faso qui est de 10 t C ha<sup>-1</sup> (Brown, 1997). Au Sénégal, dans des zones bioclimatiques identiques à notre site d'étude, le carbone de la végétation dans des jachères a été estimée à 22 t C/ ha- 1 (Kaïré, 1999).

#### **3.2.4. Séquestration de carbone suivant les sites de la zone d'étude**

Les sites C3L8 (116,03), C4L7 (83,33), C2L6 (68,92), C4L8 (59,72), C3L5 (58,95), C5L2 (54,69) et C2L8 (45,31) séquestrent plus de carbonés à l'hectare et représentent les 71,92 % de Carbone séquestré. Les deux premiers sites (C3L8, C4L7) se trouvant dans la RTO stockent à eux seuls les 29,44 % de t C/ha. Cette importante contribution à la séquestration du carbone dans ces sites pourrait s'expliquer par la présence d'espèces de grosses et moyennes tailles et circonférences comme *Sterculia setigera*, *Pterocarpus lucens*, *Cordyla pinnata* et

*Acacia machrostachya* contrairement aux espèces caractéristiques du Ferlo sableux. En effet, les localités ayant les plus fortes séquestrations de carbone se trouvent dans des conditions climatiques plus favorables (pluies assez abondantes, variation température faible), des végétations arborées ou boisées et la pression du bétail moins importante (le tapis herbacé permanent). En plus, les sols glaiseux et graveleux peu profonds favorisent le développement des arbres et du tapis herbacé. Par contre, les sites qui contribuent faiblement à la séquestration du carbone se retrouvent dans la zone arbustive à l'exception du site C2L7. Ce dernier comporte uniquement des *combretaceae* de  $Db \leq 17$  cm (97 % *Guiera senegalensis* et 3 % *Combretum glutinosum*). La différence du stock de carbone pourrait s'expliquer par le fait que les sites se trouvent dans des toposéquences différentes. Les localités ayant les plus fortes séquestrations de C sont dans des dépressions et versants par contre les plus faibles contributions à la séquestration du C sont enregistrées dans des dunes et semi-versants. En effet, les arbres dans les dépressions sont plus longs que ceux au sommet des dunes. Ceci est dû, comme le confirme Gaye (1984), à la disponibilité de la nappe phréatique et au développement racinaire pivotant très important chez l'espèce (Thiam et *al.*, 2014).

## CONCLUSION

La présente étude a pour objectif principal de contribuer à une meilleure connaissance du potentiel de séquestration des espèces ligneuses dans les zones de parcours du Sénégal. La flore ligneuse des zones de parcours du Sénégal est riche de 51 espèces réparties en 40 genres appartenant à 23 familles. Considérant les domaines, c'est le domaine soudanien qui est plus diversifié avec 45 espèces appartenant à 35 genres répartis dans 21 familles. Pour les écorégions, c'est la région transitoire orientale (RTO) qui est la plus diversifiée avec 33 espèces réparties dans 27 genres et 17 familles. La quantité de carbone stocké par la végétation ligneuse de la zone d'étude est de 370,77 t C/ha. Les familles qui contribuent le plus à cette séquestration sont les *Sterculiaceae*, les *Combretaceae*, les *Papilionaceae* et les *Balanitaceae*. La prédominance de ces familles reste valable aussi bien dans les domaines climatiques et dans les écorégions en termes de potentiel de séquestration du carbone. Les espèces ayant le potentiel de séquestration de carbone le plus important sont : *Sterculia setigera* (RTO, RPA et DSou), *Pterocarpus lucens* (RPF) et *Balanites aegyptiaca* (RPS ou DSah) et que *Combretum glutinosum* vient en deuxième dans toutes les zones.

Ces résultats constituent une avancée très importante dans le processus d'évaluation du potentiel de séquestration du carbone de nos écosystèmes forestiers et agroforestiers et donc de leur contribution à la lutte contre le réchauffement climatique.

Dans ce contexte de changement climatique, il serait intéressant de poursuivre les études en vue d'identifier les facteurs de dégradation de la végétation ligneuse des zones de parcours et afin de proposer des stratégies rationnelles de sa gestion et donc de mieux contribuer à l'atténuation.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**Amougou J.A., Tchindjiang M., Haman U. et Batha R.A.S., 2013.** A comparative study of the influence of climatic elements on cacao production on two agro-systems of bimodal rainfall: Case of Ngomedzap forest zone and the contact area of forest-savanna of Bokito. *Journal of the Cameroon Academy of Sciences*. **11** (1): 16- 27.

**Amougou J. A., Bembong Ebokona L. D., Batha R. A. S., Mala A.W. et Ngono H., 2018.** Estimation du stock de carbone dans deux unités de terre en zone de savane du Cameroun. 15 p.

**Akpo L. E., Gaston A., Grouzis M., 1995.** Structure spécifique d'une végétation sahéenne : cas de Widou Thiengoly (Ferlo, Sénégal). *Bull. Mus. Hist. Nat. Paris*, 4èmesec, 17, section B, *Adansonia* n°1-2, p 39-52.

**ANDS, 2015.** Situation économique et sociale régionale 2012. Rapport sur Tambacounda. 100 p

**ANDS, 2018.** Situation économique et sociale régionale 2015. Rapport sur Tambacounda. 132 p

**Anonyme, 2007.** Bilan des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Genève, Suisse. 103 p.

**Ba E.H.M., 2008.** Etude des propriétés biomécaniques et de la capacité de vie symbiotique des racines d'arbres d'*Acacia senegal* Willd et de *Prosopis juliflora* DC. Thèse école doctorale des sciences physiques et de l'ingénieur et f.s.t biologie végétale. 122 p.

**Baker T.R., Phillips O.L., Malhi Y., Almeida S., Arroyo L., Difiore A., Erwin T., Killeen T.J., Laurance S.G., Laurance W.F., Lewis S.L., Lloyd J., Monteagudo A., Neill D.A., Patino S., Pitman N.C.A., Silva J.N.M. and Martinez R.V., 2004.** Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian forest biomass. *Global Change Biology*, **10**, 545-562.

**Bakhom A., 2013.** Dynamique des ressources fourragères : indicateurs de résilience des parcours communautaires de tessekere au ferlo, (nord-senegal). Mémoire de diplôme de doctorat en Biologie, Productions et Pathologies Animales, Spécialité: Pastoralisme. 118 p.

**Bayala B.S., 2003.** Evaluation des ressources ligneuses dans un système agro-sylvo-pastoral de savane dans l'Ouest du Burkina Faso: cas du terroir de Torokoro. Mémoire de fin d'études présenté en vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur du Développement Rural, Option: Eaux et Forêts. 66 p.

**Brown S., 1997.** Estimating biomass and biomass change of tropical forest: a primer. *FAO Forestry paper*, n° 134, Rome, Italy. 55 p.

**Brown S., Pearson T., 2005.** Exploration du potentiel de séquestration du carbone dans les forêts classées de la République de Guinée. Guide de Mesure et de Suivi du Carbone dans les Forêts et Prairies Herbeuses, *Winrock International*. 39 p.

**Brown S., Murray L. et Casarim F., 2015.** Module 2.3 Estimation des facteurs d'émission liés à l'évolution du couvert forestier : déboisement et dégradation des forêts. 78 p.

**Cairns M. A., Brown S., Helmer E. H. et Baumgardner G. A., 1997.** Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia*, 111: 1-11.

**CCNUCC, 2005.** Préserver le climat. Guide de la Convention sur les changements climatiques et du Protocole de Kyoto, Bonn, Allemagne, 41 p.

**CCNUCC, 2006.** Revised simplified baseline and monitoring methodologies for selected small-scale afforestation and reforestation project activities under the clean development mechanism. *Ar-AMS00001/version 03, Sectoral scope 1423*.

**Chave J., Condit R., Aguila R. S., Hernandez A., Lao and Perez R., 2005.** Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*13: 24-32.

**Coly 1., Akpo L.E., Sarr D., Malou R., Dacosta H. et Diome F., 2005.** Caractérisation agro-écologique du terroir de la nema en zone soudano-sahélienne sénégal : typologie des parcs agroforestiers. *Agronomie Africaine* 17 (1) : 53-62. 10 p.

**CSE, 1998.** Méthode d'échantillonnage de la production primaire sur le terrain. 9 p.

**CSE, 2009a.** Annuaire sur l'Environnement et les Ressources Naturelles du Sénégal. 321 p.

**CSE, 2009b.** Evaluation locale de la dégradation des terres. Rapport zone d'étude de Diabal-Niakha (G.A.A de Barkedji). 58 p.

**Diatta M., 2015.** Étude 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. *Thèse de Doctorat en sciences forestières*. 188 p.

**Diouf A.A., Brandt M., Verger A., Jarroudi M.E., Djaby B., Fensholt R., Ndione J.A., and Tychonn B., 2015.** Fodder Biomass Monitoring in Sahelian Rangelands Using Phenological Metrics from FAPAR Time Series. *remote sensing* ISSN 2072-4292, 7, 9122-9148; doi:10.3390/rs 70709122. 27 p.

**Diouf M., Logbo J., Do F.C. 4 et Akpo L.E., 2013.** Déterminisme de la feuillaison de *Acacia tortilis* (Forsk.) dans la réserve sylvopastorale de Sogobé, Ferlo, Nord-Sénégal. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 7 (5): 2106-2116. 11 p.

**Djomo L., 2012.** Evaluation des stocks de carbone épigé du bois d'oeuvre commercialisable des mosaïques agricoles des régions du Centre (Tomba 1) et du Sud (Biba-Yezoum). Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master Professionnel en sciences forestière Université de Yaoundé I. Yaoundé, Cameroun. 52 p.

**Dorvil W., 2010.** Evaluation de la biomasse et des stocks de carbone sur des placettes forestières en forêts tropicales humides de Guadeloupe. Mémoire de Master en sciences et technologies. Mention: biodiversité tropicale, spécialité: écosystèmes naturels et exploités. Université des Antilles et de Guyane, 45 p.

**Fall C.A., 2008.** État des ressources phylogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture dans le monde. Contribution du Sénégal au second rapport. 57 p.

**FAO, 2000.** Global Forest Resources Assessment 2000. Tech. rept. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.

**FAO, 2011.** State of the world's forests. FAO, Rome, Italy. 164 p.

**Faye, E. 2010.** Diagnostic partiel de la flore et de la végétation des Niayes et du Bassin arachidier au Sénégal : application de méthodes floristiques, phytosociologique, ethnobotanique et cartographique. Thèse de doctorat, Université libre de Bruxelles, Université d'Europe, Bruxelles, Belgique. 266 p.

**Flores O. et Coomes D.A., 2011.** Estimating the wood density of species for carbon stock assessments. *Methods in Ecology and Evolution*, 2, 214-220 p.

**Gaye C. S., 1984.** Comportement de Acacia Sénégal en plantation et dans la nature au Sahelsénégalais et perspectives des reboisements gommiers. Actes du troisième symposium sous régional sur le gommier et la gomme arabique, SYGGA III. (Saint-Louis du Sénégal)

**GIEC, 2003.** Good Practice Guidance for Land Use, Land-use Change and Forestry (LULUCF). Institute for Global Environment Strategies (IGES) for ICP. Kamiyamaguchi, Hayama, Kanaga. Japan. 590 p.

**GIEC, 2006a.** Guide pour l'inventaire national des gaz à effet de serre agriculture, foresterie et autre usage des terres. *Institute for Global Environmental Strategies, Japon*, **4**, 46 – 52.

**GIEC, 2006b.** Methodologies generiques applicables a diverses categories d'affectation des terres. Ligne directive pour l'inventaire de GES. 71 p.

**Gning O., Sarr O., Gueye M., Akpo L.E. et Ndiaye P.M., 2013.** Valeur socio-économique de l'arbre en milieu malinké (Khossanto, Sénégal), *Journal of Applied Biosciences*, **70**, 5617–5631. 15 p.

**Hairiah K., Dewis S., Velarde S., Ekadinata A., Rahayu S. et Noordwijk M., 2010.** Measuring carbon stocks across land use Systems: A manual. Bogor, Indonesia. World Agroforestry Centre (ICRAF), SEA Regional Office. 155 p.

**Hamel O., Kairé M., Niang A. et Thomas I., 2010.** Contraintes et opportunités des crédits « carbone » dans le contexte sénégalais (secteurs des forêts et de l'énergie domestique). Rapport consolidé sénégal (rapports PACAF + CASCADE). 194 p.

**Henry M., Picard N., Trotta C., Manley R.J., Valentini R., Bernoux M. and Saint-Andre L., 2011.** Estimating tree biomass of sub-Saharan African forests: a review of available allometric equations. *Silva Fennica*, **45** (3B): 477–569. 93 p.

**IPCC, 2003.** Recommandations en matière de bonnes pratiques pour le secteur de l'utilisation des terres, changements d'affectation des terres et foresterie IPCC/UNEP/ WMO, Hayama, Kanagawa, Japan, Chapitre **3**, 307- 622. 315 p.

**Kaïré, M. 1999.** La production ligneuse des jachères et son utilisation par l'homme. Thèse de doctorat, Université de Provence (Aix – Marseille 1), France, 113 p.

**Kaire M., Quedraogo J.S., Sarr B., Belem M., 2013.** Guide de mesure et de suivi du carbone dans le système sol-végétation des formations forestières et agroforestières des zones

sèches en Afrique de l'ouest. Alliance Mondiale contre le changement climatique (AMCC/GCCA). 47 p.

**Kirby K. R. and Potvin C., 2007.** Variation in carbon storage among tree species: Implications for the management of a small-scale carbon sink project. *Forest Ecology and Management*, 246: 208-221.

**Kozlowski T.T., Kramer P.J. et Pallardy S.G., 1991.** The Physiological Ecology of Woody Plants, San Diego, California, Academic Press, inc. 657 p.

**Kombate B., Dourma M., Folega F., Woegan A.Y., Wala K. et 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, ISSN 1813-548X, <http://www.afriquescience.net>. 10 p.

**Lufafa, A., Bolte, J., Wright, D., Khouma, M., Diedhiou, I., Dick, R. P., Kizito, F., Dossa, E. et Noller, J. S. 2008.** Regional carbon stocks and dynamics in native woody shrub communities of Senegal's Peanut Basin. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 128: 1-2. 2 p.

**Mbow C., 2009.** Potentiel et dynamique des stocks de carbone des savanes soudaniennes et soudano-guinéennes du Sénégal. Thèse de doctorat d'Etat: Institut des Sciences de l'Environnement (ISE) – UCAD / FST. 319 p.

**MEPN, 2008.** Quelques enseignements sur l'économie sociale et historique des pasteurs du Ferlo. Capitalisation du projet PAPF /Sénégal. 87p.

**Mette Løyche Wilkie, 2010.** Evaluation des ressources forestières mondiales. Rapport national Cameroun. FRA2010/035 Rome 00153, Italie. 75 p.

**Molto Q., 2012.** Estimation de biomasse en forêt tropicale humide: Propagation des incertitudes dans la modélisation de la distribution spatiale de la biomasse en Guyane française. Thèse pour le doctorat en physiologie et biologie des organismes, populations, interactions. 184 p.

**Moundounga Mavouloulou Q., 2012.** Développement des équations allométriques afin d'estimer les stocks de carbone séquestrés dans la forêt primaire du nord-est du Gabon, Afrique centrale. Mémoire de diplôme de Master II en biologie des populations et écosystèmes. 38 p.

**Nair, P. K. R. 2012.** Carbon sequestration studies in agroforestry systems: a reality-check. *Agroforestry Systems*, **86**: 243-253. 11 p.

**Ndiaye P.A., 2012.** Les Actions de la Grande Muraille Verte :Quels enjeux pour un Développement Local ?Communauté Rurale de Loughéré-Thioly (Matam). Mémoire de Master 2 Aménagement du Territoire-Décentralisation Développement Local. Année Universitaire 2011 – 2012. 111 p.

**Ndiaye O., 2013.** Caractéristiques des sols, de la flore et de la végétation du Ferlo, Sénégal. Thèse de doctorat en biologie, physiologie & pathologie végétales, option écologie & agroforesterie, UCAD-FST, école doctorale: sciences de la vie de la santé et de l'environnement, 117 p.

**Ndiaye O., Diop A.T., Diène M., Akpo L.E., 2015.** Étude comparée de la végétation de 1964 et 2011 en milieu pâturé: Cas du CRZ de Dahra. *Journal of Applied Biosciences* **88**: 8235– 8248 ISSN 1997–5902. 14 p.

**Ndiaye O, Diop A.T, Akpo LE, Diène M., 2014.** Dynamique de la teneur en carbone et en azote des sols dans les systèmes d'exploitation du Ferlo : cas du CRZ de Dahra. *Journal of Applied Biosciences* **83**:7554– 7569. 16 p.

**Ndiaye M., Dione M.E. et Akpo L.E., 2010.** Caracteristiques des ligneux dans les terroirs pastoraux de ranerou(region de matam, nord-senegal).*J. Sci.Vol. 10, N° 3 12 – 27. 16 p.*

**N'guessan K. E., Ouattara D., Tiebre M. S., Vroh B. T. A., Kpangui K. B. et Assi Y. J., 2015.** Evaluation des services écosystemiques de la Réserve forestière Depka du site minier de AGO (Hiré, Côte d'Ivoire). Rapport provisoire. 14 p.

**Ngom D., Fall T., Sarr O, Diatta S. et Akpo L.E., 2013 .**Caractéristiques écologiques du peuplement ligneux de la réserve de biosphère du Ferlo (Nord Sénégal). *Journal of Applied Biosciences* **65**:5008 – 5023 ISSN 1997–5902. 16 p.

**Niang K., Ndiaye O., Diallo A. et Guisse A., 2014.** Flore et structure de la végétation ligneuse le long de la Grande Muraille Verte au Ferlo, Nord Sénégal. *Journal of Applied Biosciences* **79** : 6938 – 6946, ISSN 1997–5902. 9 p.

**Peltier R., Forkong C. N., Ntoupka M., Manley R. J., Henry M. et Morillon V. 2007.** Évaluation du stock de carbone et de la productivité en bois d'un parc à karités du Nord-Cameroun. *Bois et Forêts des Tropiques*, **294** (4): 39-50. 12 p.

**Ponce-Hernandez R., 2004.** Assessing carbon stocks and modelling win-win scenarios of carbon sequestration through land-use changes. Rome, Italie,

**Sagna M.B., 2015.** Ethnobotanique, écologie, suivi phénologique et caractéristiques physico-chimiques et nutritionnelles du dattier du désert (*Balanites aegyptiaca* (L.) Del.) dans le Ferlo au Nord du Sénégal. Thèse de doctorat présentée pour l'obtention du grade de docteur en biodiversité et environnement spécialité connaissance, conservation et gestion de la biodiversité. 133 p.

**Saha S. K., Nair P. K. R., Nair V. D. et Kumar M., 2009.** Soil carbon stock in relation to plant diversity of homegardens in Kerala, India. *Agroforestry Systems*, **76**: 53-65. 13 p.

**Sarr O., Ngom D., Bakhoun A. et Akpo L.E., 2013.** Dynamique du peuplement ligneux dans un parcours agrosylvopastoral du Sénégal », *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*, Volume 13 Numéro 2, septembre 2013. 16 p.

**Sarr O., Diatta S., Gueye M., Ndiaye P.M., Guisse A., Akpo L.E., 2013.** Importance des ligneux fourragers dans un système agropastoral au Sénégal (Afrique de l'ouest). 8p.

**Shaiek O., Loustau D., Garchi S., Bachtobji B. et El Aouni M.H., 2010.** Estimation allométrique de la biomasse du pin maritime en dune littorale : cas de la forêt de Rimel (Tunisie). 12 p.

**Singangar N. N., 2001.** Evaluation de la production de biomasse ligneuse accessible aux caprins. Mémoire de l'obtention du diplôme d'Ingénieur du Développement Rural. 105 p.

**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. 8 p.

**Tappan G.G., Sall M., Wood E.C., Cushing M., 2004.** Ecoregions and land cover trends in Senegal. *Journal of Arid Environments*. 36 p.

**Tayogamo K.Y., 2014.** Dynamique de la biodiversité ligneuse et des stocks de carbone dans les systèmes agroforestiers à base de cacao au centre du Cameroun : cas de Ngomedzap.

Mémoire de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur des Eaux, Forêts et Chasses/Master professionnel en foresterie. 106 p.

**Thiam S., Sambou B., Mbow C. et Guisse A., 2014.** Élaboration de modèles allométriques d'Acacia Sénégal L. Willd pour l'analyse du carbone ligneux en milieu sahélien : cas de la zone sylvopastorale au Sénégal. *Afrique Science* **10** (3) 304 - 315, ISSN 1813-548. 12 p.

**Tsoumou B., Lumandé K., Kampé K., Nzila J., 2016.** Estimation de la quantité de Carbone séquestré par la Forêt Modèle de Dimonika (Sud-ouest de la République du Congo). *Revue Scientifique et Technique Forêt et Environnement du Bassin du Congo*, **6**, 39 – 45. 7 p.

**Woomer, P.L., Toure, A., and Sall, M., 2004.** Carbon stocks in Sahel transition zone, *Journal Arid Environ.*, **59**, 499–510. 12 p.

**Youl S., 2003.** Dynamique des ressources en carbone d'un terroir de savane d'Afrique de l'Ouest: Approche par modélisation multi-agents. Thèse de doctorat sciences du sol, Université de Montpellier II, Montpellier. 144 p.

## ANNEXES

### Annexe 1: La répartition des sites (localités) suivant les écorégions

<u>Coordonnées x/y</u>	<u>Sites</u>	<u>Localités</u>	<u>Eco-Régions</u>
557124/1811355	<u>C3L1</u>	Belligonadié(Dodel)	
609444/1781537	<u>C4L1</u>	Gadiobé(Tchikité)	
461652/1803827	<u>C2L1</u>	Tatky	
466188/1780609	<u>C2L2</u>	WidouThiengoly	
470287/1751720	<u>C2L3</u>	-	<u>Région Pastorale Sableuse (Nord et Sud)</u>
469257/1724950	<u>C2L4</u>	Kalosi	
478003/1684268	<u>C2L5</u>	Tambédou	
426120/1668217	<u>C1L5</u>	Déaly	
514045/1740938	<u>C2-3L2</u>	Labgar	
552444/1778907	<u>C3L2</u>	Yaré Lao	
584303/1723640	<u>C3L4</u>	<u>Révane</u>	
544865/1685191	<u>C3L5</u>	<u>Ndioumanane</u>	
638255/1707456	<u>C4L3</u>	<u>Patouky</u>	<u>Région Pastorale Ferrugineuse (ou Latérique)</u>
658162/1634012	<u>C4L5</u>	<u>Mboune</u>	
723026/1657287	<u>C5L1</u>	<u>Semmé</u>	
588737/1588606	<u>C3L7</u>	<u>Panal(Payar)</u>	
504603/1627176	<u>C2L6</u>	<u>Ranch de Doly</u>	
487167/1590300	<u>C2L7</u>	<u>NdioumGaint</u>	<u>Région Agro-Pastorale Mixte (ou Expansion Agricole)</u>
477262/1570339	<u>C2L8</u>	<u>Delbi</u>	
562497/1621595	<u>C3L6</u>	<u>Ngonor(Payar)</u>	
580788/1539144	<u>C3L8</u>	<u>MalemNiani</u>	
644942/1549199	<u>C4L7</u>	<u>Mayel Dibi</u>	<u>Région Transitoire Orientale</u>
641355/1495072	<u>C4L8</u>	<u>Gouloumbou</u>	
736463/1567032	<u>C5L2</u>	<u>Goudiry</u>	

**Annexe 2 : Liste des espèces ligneuses recensées dans les ZPS suivant les domaines et les écorégions**

Unité taxonomique	Zone d'étude	Domaines	Ecorégions				
			ZPS	DSou	DSah	RTO	RPA
<i>Acacia machrostachya</i> Reich.ex DC.	+	+	-	+	+	+	-
<i>Acacia raddiana</i> (Savi)	+	+	+	-	+	-	+
<i>Acacia senegal</i> (L.) Willd.	+	-	+	-	-	-	+
<i>Acacia seyal</i> auct.	+	+	-	-	+	-	-
<i>Adansonia digitata</i> L.	+	+	-	-	+	-	-
<i>Adenium obesum</i> (Forssk.) Roem. &Schult.	+	+	-	-	+	+	-
<i>Annona senegalensis</i> Pers.	+	+	-	+	-	-	-
<i>Anogeissus leiocarpus</i> (DC.) Guill. &Perr.	+	+	-	+	+	-	-
<i>Balanites aegyptiaca</i> (L.) Delile	+	+	+	-	-	+	+
<i>Bauhinia rufescens</i> Lam.	+	+	+	-	-	-	+
<i>Bombax costatum</i> Pellegr. & Vuillet	+	+	-	+	-	-	-
<i>Boscia angustifolia</i> A.Rich.	+	+	-	+	-	-	-
<i>Boscia senegalensis</i> (Pers.) Lam. ex Poir.	+	+	+	-	+	+	+
<i>Burkea africana</i> Hook. f.	+	+	-	+	-	-	-
<i>Calotropis procera</i> (Aiton) W.T.Aiton	+	-	+	-	-	-	+
<i>Capparis decidua</i> (Forssk.) Edgew.	+	-	+	-	-	-	+
<i>Combretum glutinosum</i> auct.et Perr.	+	+	+	+	+	+	+
<i>Combretum lecardii</i> Engl. & Diels	+	+	-	+	-	-	-
<i>Combretum micranthum</i> G.Don	+	+	+	+	+	+	+
<i>Combretum nigricans</i> Lepr. ex Guill. &Perr.	+	+	-	+	+	+	-
<i>Commiphora Africana</i> (A.Rich.) Engl.	+	+	+	-	+	+	+
<i>Cordia</i> sp Lam. Ou L.	+	+	-	-	-	+	-
<i>Cordyla pinnata</i> (Lepr.) Miln. Red.	+	+	-	+	-	-	-
<i>Crossopteryx febrifuga</i> (Afzel. ex G. Don) Benth.	+	+	-	+	-	-	-
<i>Dalbergia melanoxylon</i> Guill. &Perr.	+	+	-	-	-	+	-
<i>Detarium microcarpum</i> Guill. & Perr.	+	+	-	+	-	-	-
<i>Dichrostachys cinerea</i> (L.) Wight. et Arn.	+	+	-	-	+	+	-
<i>Feretia apondanthera</i> Delile	+	+	-	+	-	+	-
<i>Gardenia ternifolia</i> Schumach. & Thonn.	+	+	-	+	-	+	-
<i>Grewia bicolor</i> Juss.	+	+	+	+	+	+	+
<i>Guiera senegalensis</i> J.F.Gmel.	+	+	+	+	+	+	+
<i>Hannoa undulata</i> (Guill. & Perr.) Planch.	+	+	-	+	-	-	-
<i>Hexalobus monopetalus</i> (A. Rich.) Engl. & Diels	+	+	-	+	-	-	-
<i>Hymenocardia acida</i> Tul.	+	+	-	+	-	-	-
<i>Lannea acida</i> A. Rich.	+	+	-	+	+	-	-
<i>Lannea microcarpa</i> Engl. & K. Krause	+	+	-	-	+	-	-
<i>Lannea velutina</i> A.Rich.	+	+	-	+	-	-	-
<i>Leptadenia pyrotechnica</i> (Forssk.) Decne.	+	-	+	-	-	-	+
<i>Maytenus senegalensis</i> (Lam.)Exell	+	+	-	+	+	-	-
<i>Piliostigma reticulatum</i> (DC.) Hochst.	+	-	-	-	+	-	-

<i>Pterocarpus lucens</i> Guill. & Perr.	+	+	+	+	+	+	+
<i>Pterocarpus erinaceus</i> Poir.	+	+	-	+	+	+	-
<i>Sclerocarya birrea</i> (A.Rich.) Hochst.	+	+	+	+	-	+	+
<i>Sterculia setigera</i> Delile	+	+	-	+	+	-	-
<i>Stereospermum kunthianum</i> Cham.	+	+	-	+	+	-	-
<i>Stychnos spinosa</i> Lam.	+	+	-	+	+	-	-
<i>Terminalia avicennioides</i> Guill. & Perr.	+	+	-	+	-	-	-
<i>Terminalia macroptera</i> G. et Perr.	+	+	-	+	-	-	-
<i>Vitex doniana</i> Sweet	+	+	-	+	-	-	-
<i>Xeroderris stuhlmannii</i> (Taub.) Mendonça & E.P. Sousa	+	+	-	+	-	-	-
<i>Ziziphus mauriciana</i> auct.	+	-	+	-	-	-	+
<b>Total</b>	<b>51</b>	<b>45</b>	<b>16</b>	<b>33</b>	<b>23</b>	<b>18</b>	<b>16</b>

+ : Présence ; - : Absence

### Annexe 3 : contribution absolue et relative des différents genres à la séquestration du carbone suivant les domaines

Zone soudanienne			Zone Sahélienne		
Genres	Stock carbone (t · C/ha)	Contribution (%)	Genres	Stock carbone (t · C/ha)	Contribution (%)
<i>Sterculia</i>	93,73	31,78	<i>Balanites</i>	42,64	44,01
<i>Combretum</i>	62,65	21,33	<i>Sclerocarya</i>	15,12	15,61
<i>Pterocarpus</i>	55,49	18,90	<i>Combretum</i>	13,51	13,95
<i>Cordyla</i>	9,94	3,38	<i>Guiera</i>	8,06	8,33
<i>Adansonia</i>	9,46	3,22	<i>Boscia</i>	6,06	6,25
<i>Guiera</i>	8,14	2,77	<i>Capparis</i>	3,53	3,65
<i>Grewia</i>	7,87	2,68	<i>Pterocarpus</i>	1,87	1,93
<i>Stereospermum</i>	6,27	2,14	<i>Grewia</i>	1,52	1,57
<i>Adenium</i>	6,01	2,05	<i>Acacia</i>	1,45	1,50
<i>Acacia</i>	5,03	1,71	<i>Ziziphus</i>	1,00	1,03
<i>Bombax</i>	4,48	1,52	<i>Commiphora</i>	0,97	1,01
<i>Anogeissus</i>	4,28	1,46	<i>Calotropis</i>	0,78	0,80

<i>Sclerocarya</i>	3,89	1,32	<i>Bauhinia</i>	0,36	0,37
<i>Lannea</i>	2,66	0,91	<i>Leptadenia</i>	0,008	0,01
<i>Boscia</i>	2,39	0,81			
<i>Detarium</i>	1,74	0,59			
<i>Strychnos</i>	1,61	0,55			
<i>Terminalia</i>	1,58	0,54			
<i>Crossopterus</i>	1,45	0,49			
<i>Hannoa</i>	1,13	0,38			
<i>Xeroderris</i>	0,94	0,32			
<i>Balanites</i>	0,90	0,31			
<i>Burkea</i>	0,76	0,26			
<i>Gardenia</i>	0,62	0,21			
<i>Maytenus</i>	0,37	0,13			
<i>Commiphora</i>	0,26	0,10			
<i>Dalbergia</i>	0,22	0,08			
<i>Feretia</i>	0,09	0,03			
<i>Hexalobus</i>	0,03	0,01			
<i>Vitex</i>	0,03	0,01			
<i>Hymenocardia</i>	0,02	0,01			
<i>Dichrostachys</i>	0,02	0,01			
<i>Cordia</i>	0,01	0,004			
<i>Annona</i>	0,01	0,003			
<i>Piliostigma</i>	0,004	0,002			

---

**Annexe 4:** contribution des différentes familles à la séquestration du carbone suivant les différentes écorégions

RTO			RPA			RPF			RPS		
Familles	Stock carbone (t · C/ha)	Contribution (%)	Familles	Stock carbone (t · C/ha)	Contribution (%)	Familles	Stock carbone (t · C/ha)	Contribution (%)	Familles	Stock carbone (t · C/ha)	Contribution (%)
<i>Mimosaceae</i>	4,86	2,96	<i>Anacardiaceae</i>	0,91	1,30	<i>Anacardiaceae</i>	1,15	1,73	<i>Tilliaceae</i>	1,52	1,56
<i>Anacardiaceae</i>	4,60	2,79	<i>Capparaceae</i>	0,16	0,23	<i>Balanitaceae</i>	0,59	0,90	<i>Mimosaceae</i>	1,45	1,50
<i>Bombacaceae</i>	4,48	2,72	<i>Loganiaceae</i>	0,05	0,08	<i>Burseraceae</i>	0,23	0,34	<i>Rhamnaceae</i>	1,00	1,03
<i>Rubiaceae</i>	2,07	1,26	<i>Bignoniaceae</i>	0,05	0,07	<i>Mimosaceae</i>	0,17	0,26	<i>Burseraceae</i>	0,97	1,01
<i>Loganiaceae</i>	1,56	0,95	<i>Apocynaceae</i>	0,04	0,06	<i>Rubiaceae</i>	0,11	0,16	<i>Asclepiadaceae</i>	0,79	0,81
<i>Simaroubaceae</i>	1,13	0,69	<i>Mimosaceae</i>	0,04	0,06	<i>Boraginaceae</i>	0,01	0,02	<i>Caesalpinaceae</i>	0,36	0,37
<i>Tilliaceae</i>	0,90	0,55	<i>Burseraceae</i>	0,04	0,06						
<i>Annonaceae</i>	0,57	0,35	<i>Celastraceae</i>	0,01	0,02						
<i>Celastraceae</i>	0,36	0,22	<i>Caesalpinaceae</i>	0,004	0,01						
<i>Capparaceae</i>	0,22	0,13									
<i>Verbenaceae</i>	0,03	0,02									
<i>Hymenocardiaceae</i>	0,02	0,01									

**Annexe 5 : contribution spécifique au stockage de carbone de la végétation ligneuse des zones de parcours selon les écorégions**

Espèces	RTO		RPA		RPF		RPS				
	Stock carbone (t C/ha)	Contribution (%)	Espèces	Stock carbone (t C/ha)	Contribution (%)	Espèces	Stock carbone (t C/ha)	Contribution (%)	Espèces	Stock carbone (t C/ha)	Contribution (%)
<i>S.setigera</i>	62,69	38,08	<i>S.setigera</i>	34,81	49,90	<i>P.lucens</i>	33,39	50,47	<i>B.aegyptiaca</i>	42,64	44,01
<i>C.glutinosa</i>	37,38	22,71	<i>A.digitata</i>	9,46	13,56	<i>C.glutinosa</i>	12,87	19,45	<i>S.birrea</i>	15,12	15,61
<i>C.pinnata</i>	9,94	6,04	<i>C.glutinosa</i>	9,10	13,04	<i>G.senegalensis</i>	6,14	9,29	<i>C.glutinosa</i>	13,35	13,78
<i>P.lucens</i>	9,44	5,73	<i>G.bicolor</i>	5,20	7,45	<i>A.obesum</i>	5,98	9,03	<i>G.senegalensis</i>	8,06	8,32
<i>P.erinaceus</i>	8,79	5,34	<i>A.leiocarpus</i>	2,68	3,84	<i>B.senegalensis</i>	2,02	3,06	<i>B.senegalensis</i>	6,06	6,25
<i>S.kunthiana</i>	6,05	3,67	<i>P.erinaceus</i>	2,38	3,41	<i>G.bicolor</i>	1,94	2,94	<i>C.decidua</i>	3,53	3,65
<i>A.machrostachya</i>	4,87	2,96	<i>G.senegalensis</i>	2,05	2,95	<i>S.birrea</i>	1,15	1,73	<i>P.lucens</i>	1,87	1,93
<i>B.costatum</i>	4,48	2,72	<i>P.lucens</i>	1,72	2,47	<i>C.micranthum</i>	0,66	1,01	<i>G.bicolor</i>	1,52	1,57
<i>S.birrea</i>	2,81	1,71	<i>C.nigricans</i>	1,02	1,46	<i>P.erinaceus</i>	0,61	0,92	<i>A.radiata</i>	1,31	1,35
<i>D.microcarpum</i>	1,74	1,06	<i>L.microcarpa</i>	0,54	0,77	<i>B.aegyptiaca</i>	0,59	0,90	<i>Z.mauritiana</i>	1,00	1,03

<i>A.leiocarpus</i>	1,67	1,02	<i>L.acida</i>	0,37	0,52	<i>C.africana</i>	0,23	0,34	<i>C.africana</i>	0,97	1,01
<i>L.acida</i>	1,65	1,01	<i>B.senegalensis</i>	0,16	0,23	<i>D.melanoxylon</i>	0,22	0,33	<i>C.procera</i>	0,78	0,80
<i>S.spinosa</i>	1,56	0,95	<i>S.spinosa</i>	0,05	0,08	<i>A.machrochaeta</i>	0,16	0,24	<i>B.rufescens</i>	0,36	0,37
<i>T.avicennoides</i>	1,48	0,90	<i>S.kunthianum</i>	0,05	0,07	<i>G.ternifolia</i>	0,08	0,12	<i>C.micranthum</i>	0,16	0,16
<i>C.febrifuga</i>	1,45	0,88	<i>A.obesum</i>	0,04	0,06	<i>C.nigricans</i>	0,07	0,11	<i>A.senegal</i>	0,14	0,15
<i>C.micranthum</i>	1,39	0,84	<i>C.africana</i>	0,04	0,06	<i>F.apodanthera</i>	0,03	0,05	<i>L.pyrotechnica</i>	0,008	0,01
<i>H.undulata</i>	1,13	0,69	<i>C.micranthum</i>	0,03	0,05	<i>C.ssp</i>	0,01	0,02			
<i>X.stuhlmannii</i>	0,94	0,57	<i>A.machrochaeta</i>	0,01	0,02	<i>D.cinerea</i>	0,01	0,02			
<i>C.nigrans</i>	0,93	0,56	<i>M.senegalensis</i>	0,01	0,02						
<i>G.bicolor</i>	0,90	0,55	<i>D.cinerea</i>	0,01	0,02						
<i>B.africana</i>	0,76	0,46	<i>A.raddiana</i>	0,01	0,014						
<i>H.monopetalus</i>	0,56	0,34	<i>P.reticulatum</i>	0,004	0,006						
<i>G.ternifolia</i>	0,55	0,34	<i>A.seyal</i>	0,003	0,004						
<i>C.lecardi</i>	0,41	0,25									

*i*

*M.senega* 0,36 0,22  
*lensis*

*B.angusti* 0,22 0,14  
*folia*

*L.velutin* 0,13 0,08  
*a*

*T.macrop* 0,10 0,06  
*tera*

*G.senega* 0,07 0,05  
*lensis*

*F.aponda* 0,06 0,04  
*nthera*

*V.donian* 0,03 0,016  
*a*

*H.acida* 0,02 0,015

*A.senegal* 0,01 0,005  
*ensis*

---



