

# *Contribution Des Différentes Espèces Ligneuses A La Séquestration Du Carbone Dans Le Parc National De Manda Dans La Province Du Moyen-Chari Au Tchad*

Esaie Waya<sup>1\*</sup>, Akoumian Fortuné Azihou<sup>2</sup>, Issiné Agoubli<sup>1</sup>, Assogbadjo Achille Ephrem<sup>2</sup> et Adamou Ibrahima<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Université de Sarh, Faculté des Sciences Agronomique et de l'Environnement, Laboratoire de Biologie, B.P : 105 Sarh, Tchad

<sup>2</sup> Université d'Abomey-Calavi, Faculté des Sciences Agronomiques, Laboratoire d'Ecologie Appliquée, 05 BP 1752, Cotonou, République du Bénin

<sup>3</sup> Université de Ngaoundéré, Faculté des Sciences, Laboratoire de Biodiversité et Développement Durable, BP 454 Ngaoundéré, Cameroun

Auteur correspondant : Esaie Waya. E-mail : wayason@yahoo.fr, Tél : 0023565211416



**Résumé :** La présente recherche a été conduite dans le Parc National de Manda (PNM), Province du Moyen-Chari au Tchad. L'objectif est d'estimer les quantités de carbone séquestrées par les différentes espèces ligneuses du PNM. Les données utilisées sont essentiellement issues d'inventaire forestier. Elles ont été collectées dans 100 placeaux rectangulaires de 50 m x 20 m. Le diamètre à hauteur de poitrine à 1,30 m au-dessus du sol et la hauteur totale des espèces ligneuses ont permis de quantifier la phytomasse, le carbone et le carbone atmosphérique correspondant à partir d'un certain nombre de modèles allométriques spécifiques. Des analyses de variances à un seuil de 5% suivi de la comparaison des moyennes par le test de Duncan ont été utilisées pour comparer les phytomasses, les carbones séquestrés et les carbones atmosphériques. L'analyse de variance entre les différentes espèces ligneuses montre clairement qu'il y a une très différence significative ( $P < 0,001$ ) entre la quantité de phytomasse, de carbone et stock de dioxyde de carbone atmosphérique. *Anogeissus leiocarpa* se démarque des autres espèces par sa production de phytomasse totale qui est de 108,90t/ha, sa séquestration de carbone (51,18tC/ha) et son stock de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) atmosphérique équivalent à 157,54 téqCO<sub>2</sub>. Cette espèce est suivie de *Prosopis africana* (41,99t/ha, 19,74tC/ha et 72,43 téqCO<sub>2</sub>) et de *Terminalia laxiflora* (21,18t/ha, 9,96tC/ha et 36,54 téqCO<sub>2</sub>). Ces résultats confirment l'importance des espèces ligneuses dans la séquestration de carbone d'où la nécessité de leurs conservations à travers une gestion rationnelle.

**Mots-clés :** Carbone, Contribution, Espèces ligneuses, Moyen-Chari, PNM, Tchad

**Abstract:** This research was conducted in Manda National Park (MNP), Moyen-Chari Province, Chad. The objective was to estimate the amounts of carbon sequestered by the various woody species in the MNP. The data used were primarily from forest inventories. They were collected in 100 rectangular plots measuring 50 m x 20 m. The diameter at breast height (BH) at 1.30 m above ground level and the total height of the woody species were used to quantify the corresponding phytomass, carbon, and atmospheric carbon using a number of specific allometric models. Analysis of variances at a threshold of 5% followed by comparison of means by Duncan's test were used to compare phytomass, sequestered carbon and atmospheric carbon. Analysis of variance between the different woody species clearly shows that there is a very significant difference ( $P < 0.001$ ) between the quantity of phytomass, carbon and atmospheric carbon dioxide stock. *Anogeissus leiocarpa* stands out from the other species by its total phytomass production which is 108.90t / ha, its carbon sequestration (51.18tC / ha) and its atmospheric carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) stock equivalent to 157.54 tCO<sub>2</sub>.

**This species is followed by *Prosopis africana* (41.99t/ha, 19.74tC/ha and 72.43 tCO<sub>2</sub>eq) and *Terminalia laxiflora* (21.18t/ha, 9.96tC/ha and 36.54 tCO<sub>2</sub>eq). These results confirm the importance of woody species in carbon sequestration, hence the need for their conservation through rational management.**

**Keywords : Carbon, Contribution, Woody species, Moyen-Chari, PNM, Chad**

## Introduction

Le changement climatique est actuellement l'une des préoccupations majeures de l'humanité [1]. Les risques liés à ce changement affectent tous les secteurs socio-économiques des populations de tous les continents [2]. Cette crise environnementale mondiale de ces dernières décennies, caractérisée par la perte drastique d'immenses étendues de forêt à travers le monde [3], où le Tchad n'est pas épargné. Au niveau des parcs nationaux et réserves naturelles qui bénéficient d'un statut de protection [4], le bilan est alarmant. La plupart de ces sites ont fait objet de divers pillages des ressources naturelles et d'intense déforestation. Les écosystèmes forestiers sont d'une importance capitale dans la participation à l'atténuation des effets du réchauffement climatique [5]. Les émissions de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) peuvent être séquestrées par les écosystèmes forestiers qui jouent un rôle essentiel dans le bilan global du carbone [6]. Lorsque ces écosystèmes forestiers sont bien gérés, ils constituent des puits de carbone. Il est ainsi préférable de développer des stratégies qui fassent de la forêt, un lieu de stockage de carbone plutôt qu'une source de production de carbone [7]. Les efforts de réduction des émissions de carbone et la promotion des activités qui contribuent à son stockage ou à son élimination font du carbone un bien économique de grande valeur [8]. Les écosystèmes forestiers contribuent significativement à la séquestration du carbone contenue dans ce CO<sub>2</sub> émis chaque année dans l'atmosphère (49 GtCO<sub>2</sub>) [9]. Près de 30% du CO<sub>2</sub> total émis par les actions anthropiques est réabsorbé par les écosystèmes forestiers [10]. Parmi ces derniers, les forêts tropicales absorbent, à elles seules, environ 40 à 50% du carbone terrestre [11]. Les forêts comptent parmi les principaux puits de carbone de la planète [12]. Par la photosynthèse, les forêts contribuent à diminuer la concentration des gaz à effets de serre dans l'atmosphère en absorbant le dioxyde de carbone [13] (ONF, 2006). Leur capacité à piéger le carbone de l'atmosphère et à le stocker en fait un moyen essentiel de l'atténuation du changement climatique [14]. De ce fait, les écosystèmes forestiers constituent un réservoir de carbone vital pour la planète [15]. Les ligneux, par leur capacité à séquestrer du carbone dans leur biomasse, le bois en particulier, constituent en effet un puits de carbone. Pour mieux conduire ce travail de recherche, il est nécessaire de se poser la question de savoir : quel est le potentiel de séquestration de carbone de la végétation ligneuse du Parc National de Manda (PNM)? Ainsi, l'objectif de ce travail consistait à contribuer à une meilleure connaissance du stock de carbone des ligneux du PNM pour une atténuation des effets des changements climatiques au Tchad d'une manière générale et dans la Province du Moyen-Chari en particulier.

## I-Matériel et Méthodes

### I-1-Site d'étude

Les sites d'études sont situés dans le Parc National de Manda (PNM) qui se trouve au sud du Tchad, dans la Région du Moyen Chari (Département du Bahr Kô), (Figure 1). Il est situé entre les latitudes 9°20' - 9°50' Nord et les longitudes 17°45' - 18°20' Est et à une altitude variant de 344 à 691 m. Il couvre officiellement une superficie de 114 000 ha. Il est limité à l'Ouest par la route Sarh – N'Djamena, au Sud par le Bahr Sara, à l'Est par le fleuve Chari et au Nord par les rochers de Niellim. Le PNM est créé le 19 mars 1965 et situé à vol d'oiseau à 25 km au Nord-ouest de la ville de Sarh, à environ 450 km au Sud-est de Ndjaména, et à 80 km de la frontière centrafricaine. La zone est caractérisée par un climat de type tropical, avec une précipitation moyenne annuelle de 1000 mm, une température moyenne annuelle de 24,5°C et une humidité relative selon les mois de 32 à 85% [16]. Les types de sol sont : les sols d'érosion sur roches acides dominant sur le Mont Niellim; les sesquioxides à tâches et concrétions ferrugineuses et cuirasses et les sols hydromorphes caractéristiques des sols du Sud du parc. Les formations végétales sont des forêts galeries, des savanes arbustives et arborées. Dans l'ensemble, la végétation est de type soudanien dont la densité et la répartition sont fonction de la topographie et de la nature des sols [17]. La zone du PNM était connue pour sa richesse en faune

depuis les années 1950, ce qui avait conduit à son classement en réserve de faune. Au début des années 1980, les événements politico-militaires qui ont frappé le Tchad ont fait chuter le nombre des espèces présentes, et plus encore leurs effectifs [17]. La réserve puis le parc ont reçu, avant et après leurs créations, l'appui technique et financier de la Fondation de la Maison de la Chasse et de la Nature, grâce à son fondateur François Sommer, décédé en 1973. Après sa disparition et les événements sociopolitiques qu'a connus le Tchad à la fin des années 70 puis durant les années 80, une grande partie de la faune a été décimée (dont les Elands de Derby qui étaient le fleuron du parc).

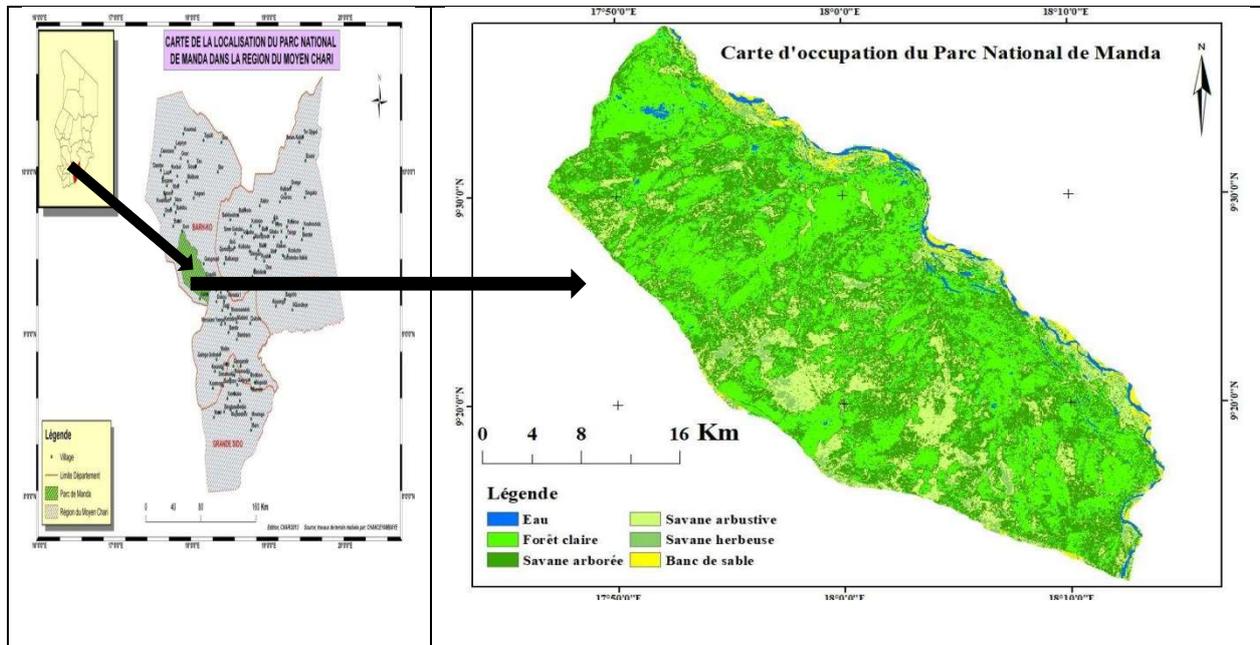


Figure 1 : Localisation du PNM dans la région du Moyen-Chari au Tchad

### I-2-Dispositif de collecte des données

L'étude a été menée pendant la saison sèche. Le plan de collecte de données est semi-aléatoire. La phytomasse est éventuellement estimée dans les placettes rectangulaire de 1000 m<sup>2</sup> (50 m x 20 m), Pour minimiser l'hétérogénéité spatiale les placettes sont peu éloignées les unes des autres, à environ cinquante mètres et plus. Le taux d'échantillonnage n'est certes pas optimal (95 placettes de 50 m x 20 m), mais convenable dans le cadre d'un inventaire visant l'aménagement d'une forêt naturelle en zone sèche [18], [19].

### I-3-Inventaires forestiers et matériel du terrain

Pour évaluer la quantité de carbone stocké dans les espèces ligneuses, nous avons fait une évaluation de la biomasse présente dans les placettes d'échantillonnage puisque les plantes accumulent le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) atmosphérique dans leurs constituants cellulaires [20]. Elle consiste à évaluer la biomasse présente dans plusieurs composantes (aérienne et souterraine). Il est possible d'estimer la biomasse à l'aide de deux approches : les méthodes directes ou dites destructives et les méthodes indirectes, dites non destructives [20]. Dans la présente étude, les données de carbone ont été collectées par la méthode non-destructive. Étant donné que le compartiment d'estimation de carbone choisis pour cette étude porte uniquement sur les ligneux vivants. Il s'agit du recensement des individus des espèces ligneuses (renseignement de nom scientifique) et la mesure des paramètres dendrométriques (hauteur totale et circonférence à 1.30 du sol). Le Global Position System (GPS) a servi pour la localisation et le levé des points des placettes inventoriées. Des machettes ont facilité la délimitation des parcelles d'échantillonnage. Des adhésifs ont permis de délimiter et d'identifier les limites des placettes. La hauteur totale a été estimée à l'aide d'un clisimètre et d'une mire et le diamètre est mesuré à la circonférence à 1,30 m du sol à l'aide d'un ruban pi qui a été ensuite convertie en diamètre à

hauteur de poitrine (DHP) pour les arbres sur pied ( $dhp \geq 5\text{cm}$  et hauteur  $\geq 3\text{m}$ ) et les arbustes ( $dhp \leq 5\text{cm}$  et hauteur  $\leq 3\text{m}$ ). Ces méthodes ont été utilisées par [21] et par [22]. Aussi, l'inventaire forestier pour le calcul de la biomasse et du stock de carbone n'a pris en compte que les ligneux vivants sur pied. Les ligneux morts sur pied ou couchés, le sous-bois (les herbacées et les ligneux bas), la litière et la matière organique du sol ont été exclues. Pour le cas des ligneux fourchus, il était considéré comme un seul individu, ceux dont la fourche est au-dessus de 1,30 m du sol. Par contre, les ligneux dont la fourche était en dessous de 1,30 m du sol, est considérée comme deux individus.

#### I-4-Estimation de la phytomasse aérienne et souterraine des ligneux

##### I-4-1-Phytomasse aérienne

L'estimation de la phytomasse aérienne des ligneux a été effectuée par la méthode non destructrice, du fait que l'abattage d'une plante végétale dans le Parc National de Manda requiert une autorisation de l'administration forestière. Cette phytomasse aérienne est estimée en utilisant des équations allométriques, contenant la variable circonférence basale (C), ont permis de faire des estimations de la phytomasse aérienne ligneuse [23]. Les valeurs de circonférence basale ont été considérées identiques à celles mesurées dans notre étude. Les prédicteurs les plus importants de la phytomasse sont par ordre décroissant : le diamètre du tronc, la densité du bois et la hauteur totale [24]. Parmi les équations utilisées, une préférence a été accordée pour l'équation développée par [25], car leur coefficient de détermination est hautement significatif ( $R^2 = 0,912$ ).

$$Ba \text{ (Kg)} = 0,011 * DHP^3 + 0,234 * DHP^2 - 5,283 DHP + 37,501$$

$$DHP : \text{diamètre à hauteur de la poitrine en cm} \quad R^2 = 0,912 \quad [25]$$

Dans le cas des palmiers, c'est leur hauteur qui est prise en compte, car leur phytomasse se rapproche plus de la hauteur que du diamètre [26]. La phytomasse des palmiers a été calculée suivant la formule ci-dessous et utilisée par [27] :

$$Y = 23,487 + 41,851 * \ln(H)^2$$

Avec Y : la phytomasse, H : hauteur de la végétation et ln : logarithme népérien

##### I-4-2-Phytomasse souterraine

Pour l'évaluation de la phytomasse hypogée. Le modèle développé par [28] a permis d'évaluer la contribution de cette composante au carbone total présent dans les parcelles. Cette équation a été utilisée par [29] et par [30]. Elle est de la forme :

$$Bs = \exp(-1,0587 + 0,8836 * \ln(Ba))$$

Où Bs est la phytomasse souterraine (t/ha) et Ba, la phytomasse aérienne (t/ha).

#### I-5-Estimation de la phytomasse totale des ligneux

La biomasse totale (Bt) des ligneux est donnée par la formule :

$$Bt = Ba + Bs$$

Ba est la phytomasse ligneuse aérienne, Bs, phytomasse ligneuse racinaire

#### I-6-Estimation de la quantité de carbone dans la phytomasse des ligneux

##### I-6-1-Quantité de carbone dans la phytomasse aérienne des ligneux

L'estimation de la quantité de carbone des ligneux sur pied a été évaluée par la formule suivante :

$$QCv = Ba \times Cv$$

Avec QCv : quantité de carbone de la végétation (tC/ha), Ba : phytomasse aérienne (t/ha),

Cv : concentration en carbone de la végétation (0,47) selon [31].

## I-6-2-Quantité de carbone dans la phytomasse racinaire des ligneux

Cette estimation de la quantité de carbone de la végétation ligneuse sur pied a été évaluée par la formule suivante :

$$QCr = Br \times Cv$$

Avec : QCr : quantité de carbone racinaire (tC/ha), Br : phytomasse racinaire (t/ha),

Cv : concentration en carbone de la végétation (0,47).

## I-7-Estimation de la quantité de carbone totale des ligneux

La quantité de carbone total (QCt) relative à la phytomasse est calculée en se servant de la formule suivante :

$$QC_t = 0,47 \times Bt$$

Où QC<sub>t</sub> est la quantité totale de carbone des ligneux, Bt est la phytomasse totale, phytomasse aérienne (Ba), phytomasse souterraine (Bs) des ligneux, (Bt= Ba + Bs).

## I-8-Estimation du stock de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) atmosphérique équivalent

En ce qui concerne le stock de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) atmosphérique séquestré, il est reconnu que la masse atomique du carbone (MaC) est égale à 12 et celle de l'oxygène est de 16. La masse moléculaire du CO<sub>2</sub> est de 44. Ainsi, en utilisant le ratio 44/12 correspondant au rapport CO<sub>2</sub>/C, est 3,67 (44/12=3.67) [32]. Le stock de CO<sub>2</sub> atmosphérique équivalent est estimé en multipliant le stock de carbone issu de la phytomasse par 3,67. Par ailleurs pour l'estimation du crédit carbone de la végétation, la quantité de dioxyde de carbone émise dans l'atmosphère par la végétation (QCO<sub>2</sub>) a d'abord été calculée à partir de la formule adaptée de la méthode utilisée par la World Resources Institute [19] :

$$QCO_2 = QC_t * PMCO_2/PMC = QC_t * 3,67$$

Où QCO<sub>2</sub>, la quantité de dioxyde de carbone émise dans l'atmosphère par la végétation, QC<sub>t</sub> est la quantité totale de carbone du terrain échantillonné, PMCO<sub>2</sub> est le poids moléculaire du dioxyde de carbone (44) et PMC est le poids moléculaire du carbone (12).

## I-9-Traitement et analyse des données

Les paramètres dendrométriques (diamètre et hauteur) des espèces prélevées sur le terrain ont été saisis et compilées à l'aide de Microsoft Excel 2010 pour le traitement et le calcul des biomasses et le carbone séquestré. Des analyses de variances (ANOVA) à un seuil de probabilité de 5% suivies de la comparaison des moyennes par le test de Duncan ont été utilisées pour comparer les biomasses, les carbones séquestré par les ligneux et les carbones atmosphérique (CO<sub>2</sub>). Les outils utilisés pour ces analyses sont entre autres le tableur Office Excel (Windows 10) et le logiciel XLSTAT 16.

## II-Résultats

### II-1-Estimation de la phytomasse des espèces ligneux

#### II-1-1-Production de la phytomasse aérienne en fonction des espèces ligneuses

Le tableau 1 présente la contribution spécifique en phytomasse aérienne des ligneux dans le PNM où la biomasse aérienne moyenne totale est égale à 318,44t/ha. Cette contribution varie selon le nombre d'individus et de l'espèce. Certaines espèces ont une capacité de production très élevée tandis que d'autres ne les sont guère. Pour ce qui est du premier groupe il y a *Anogeissus leiocarpa* apporte la plus grande phytomasse avec une valeur de 92,91t/ha, suivis de *Prosopis africana* (36,11t/ha) et de *Terminalia laxiflora* (17,98t/ha) (Tableau 1). Alors que le second groupe comprend entre autres : *Dichrostachys cinerea* et *Erythrina sigmoidea*. Chacune de ces espèces a de phytomasse sensiblement nulle (0,001t/ha).

**Tableau 1** : Contribution spécifique de phytomasse aérienne des espèces ligneuses (t/ha)

| <b>Espèces</b>                     | <b>M±ET</b>             | <b>Espèces</b>                  | <b>M±ET</b>              |
|------------------------------------|-------------------------|---------------------------------|--------------------------|
| <i>Acacia polyacantha</i>          | 0,41±0,24 <sup>a</sup>  | <i>Hexalobus monopetalus</i>    | 1,50±0,51 <sup>a</sup>   |
| <i>Acacia sieberiana</i>           | 1,74±0,75 <sup>a</sup>  | <i>Hymenocardia acida</i>       | 0,38±0,08 <sup>a</sup>   |
| <i>Azalia africana</i>             | 1,01±0,16 <sup>a</sup>  | <i>Hyphaena thebaica</i>        | 0,16±0,09 <sup>a</sup>   |
| <i>Albizia adianthifolia</i>       | 0,5±0,29 <sup>a</sup>   | <i>Isobertinia doka</i>         | 0,38±0,22 <sup>a</sup>   |
| <i>Allophylus africanus</i>        | 0,24±0,12 <sup>a</sup>  | <i>Khaya senegalensis</i>       | 14,9±7,90 <sup>ab</sup>  |
| <i>Ambignonocarpus andongensis</i> | 0,94±0,40 <sup>a</sup>  | <i>Lannea acida</i>             | 2,66±0,77 <sup>a</sup>   |
| <i>Annona senegalensis</i>         | 0,31±0,16 <sup>a</sup>  | <i>Lannea schimperi</i>         | 0,18±0,10 <sup>a</sup>   |
| <i>Anogeissus leiocarpa</i>        | 92,91±39,5 <sup>c</sup> | <i>Lonchocarpus laxiflora</i>   | 0,04±0,02 <sup>a</sup>   |
| <i>Azadirachta indica</i>          | 0,02±0,01 <sup>a</sup>  | <i>Maytenus senegalensis</i>    | 0,01±0,00 <sup>a</sup>   |
| <i>Balanites aegyptiaca</i>        | 0,32±0,13 <sup>a</sup>  | <i>Mitragyna inermis</i>        | 1,02±0,56 <sup>a</sup>   |
| <i>Bombax costatum</i>             | 1,24±0,56 <sup>a</sup>  | <i>Moringa oleifera</i>         | 0,01±0,00 <sup>a</sup>   |
| <i>Bridelia ferruginea</i>         | 0,68±0,20 <sup>a</sup>  | <i>Parinari curatellifolia</i>  | 2,86±0,94 <sup>a</sup>   |
| <i>Burkea africana</i>             | 5,47±1,81 <sup>a</sup>  | <i>Parkia biglobosa</i>         | 2,16±0,74 <sup>a</sup>   |
| <i>Carissa edulis</i>              | 0,02±0,01 <sup>a</sup>  | <i>Pericopsis laxiflora</i>     | 5,8±1,82 <sup>a</sup>    |
| <i>Cassia sieberiana</i>           | 7,57±3,83 <sup>a</sup>  | <i>Piliostigma reticulatum</i>  | 0,54±0,31 <sup>a</sup>   |
| <i>Catunargam nilotica</i>         | 0,03±0,01 <sup>a</sup>  | <i>Piliostigma thonningii</i>   | 2,04±0,81 <sup>a</sup>   |
| <i>Ceiba pantandra</i>             | 0,03±0,02 <sup>a</sup>  | <i>Prosopis africana</i>        | 36,11±10,6 <sup>b</sup>  |
| <i>Celtis integrifolia</i>         | 0,07±0,04 <sup>a</sup>  | <i>Pseudocedrela kotschy</i>    | 1,43±0,58 <sup>a</sup>   |
| <i>Combretum collinum</i>          | 3,87±0,77 <sup>a</sup>  | <i>Pterocarpus lucens</i>       | 13,95±7,57 <sup>ab</sup> |
| <i>Combretum glutinosum</i>        | 3,27±1,00 <sup>a</sup>  | <i>Saba senegalensis</i>        | 0,72±0,18 <sup>a</sup>   |
| <i>Combretum molle</i>             | 1,12±0,32 <sup>a</sup>  | <i>Sarcocephalus latifolius</i> | 0,74±0,15 <sup>a</sup>   |
| <i>Combretum nigricans</i>         | 0,08±0,05 <sup>a</sup>  | <i>Sclerocarya birrea</i>       | 1,48±0,56 <sup>a</sup>   |

|                                |                          |                                    |                          |
|--------------------------------|--------------------------|------------------------------------|--------------------------|
| <i>Commiphora pedunculata</i>  | 0,11±0,07 <sup>a</sup>   | <i>Securidaca longipedunculata</i> | 0,17±0,06 <sup>a</sup>   |
| <i>Crossopteryx febrifuga</i>  | 7,78±2,24 <sup>a</sup>   | <i>Senna siamea</i>                | 0,06±0,03 <sup>a</sup>   |
| <i>Daniellia oliveri</i>       | 16,73±4,97 <sup>ab</sup> | <i>Sida rhombifolia</i>            | 0,05±0,03 <sup>a</sup>   |
| <i>Detarium microcarpum</i>    | 13,05±3,20 <sup>ab</sup> | <i>Sterculia setigera</i>          | 17,41±5,31 <sup>ab</sup> |
| <i>Dichrostachys cinerea</i>   | 0,00±0,00 <sup>a</sup>   | <i>Stereospermum kunthianum</i>    | 3,72±1,08 <sup>a</sup>   |
| <i>Diospyros mespiliformis</i> | 0,55±0,23 <sup>a</sup>   | <i>Strychnos innocua</i>           | 0,20±0,03 <sup>a</sup>   |
| <i>Entada africana</i>         | 0,16±0,06 <sup>a</sup>   | <i>Strychnos spinosa</i>           | 1,38±0,18 <sup>a</sup>   |
| <i>Erythrina sigmoidea</i>     | 0,00±0,00 <sup>a</sup>   | <i>Swartzia madagascariensis</i>   | 0,44±0,10 <sup>a</sup>   |
| <i>Ficus capensis</i>          | 0,01±0,01 <sup>a</sup>   | <i>Tamarindus indica</i>           | 6,25±2,37 <sup>a</sup>   |
| <i>Ficus dekdekena</i>         | 0,01±0,01 <sup>a</sup>   | <i>Terminalia avicennioides</i>    | 0,02±0,01 <sup>a</sup>   |
| <i>Ficus glumosa</i>           | 0,85±0,49 <sup>a</sup>   | <i>Terminalia glaucescens</i>      | 6,43±2,32 <sup>a</sup>   |
| <i>Ficus platyphylla</i>       | 3,05±0,97 <sup>a</sup>   | <i>Terminalia laxiflora</i>        | 17,98±5,28 <sup>ab</sup> |
| <i>Ficus sycomorus</i>         | 0,10±0,03 <sup>a</sup>   | <i>Terminalia macroptera</i>       | 0,39±0,22 <sup>a</sup>   |
| <i>Gardenia aqualla</i>        | 0,07±0,04 <sup>a</sup>   | <i>Trema orientalis</i>            | 0,34±0,10 <sup>a</sup>   |
| <i>Gardenia erubescens</i>     | 0,13±0,04 <sup>a</sup>   | <i>Vitellaria paradoxa</i>         | 6,27±2,49 <sup>a</sup>   |
| <i>Gardenia ternifolia</i>     | 0,24±0,07 <sup>a</sup>   | <i>Vitex doniana</i>               | 0,17±0,05 <sup>a</sup>   |
| <i>Grewia flavescens</i>       | 0,01±0,01 <sup>a</sup>   | <i>Vitex simplicifolia</i>         | 1,60±0,81 <sup>a</sup>   |
| <i>Grewia venusta</i>          | 1,24±0,39 <sup>a</sup>   | <i>Ximenia americana</i>           | 0,16±0,05 <sup>a</sup>   |
| <i>Guiera senegalensis</i>     | 0,15±0,08 <sup>a</sup>   | <i>Ziziphus abyssinica</i>         | 0,16±0,04 <sup>a</sup>   |

Les chiffres suivis de différentes lettres arabes (a, b, c, d) en colonnes sont significativement différents à \*\*\* (P<0,001) et les chiffres affectés de la même lettre en colonne ne sont pas statistiquement différents au seuil de 5% selon le test de Duncan. **M** : Moyenne, **ET** : Ecart type

## II-1-2-Production de la phytomasse souterraine en fonction des espèces ligneuses

Parmi les espèces étudiées, celles ayant une capacité de production importante de phytomasse racinaire sont *Anogeissus leiocarpa* (15,99t/ha), *Prosopis africana* (5,88t/ha), *Terminalia laxiflora* (3,21t/ha) (Tableau 2). Par contre, celles ayant une faible capacité de production de phytomasse racinaire sont les plus nombreuses et constituent en réalité presque le reste des espèces ligneuses. La phytomasse souterraine (Bs) varie très significativement d'une espèce à une autre (P<0,001). La production de phytomasse

souterraine des espèces ainsi mises en évidence est étroitement liée à la phytomasse aérienne, comme l'ont montré [28]. A cet effet, les mêmes espèces réputées pour la production importante de phytomasse aérienne sont celles réputées pour la production importante de phytomasse souterraine.

**Tableau 2:** Contribution spécifique des espèces ligneux à la phytomasse souterraine (t/ha)

| Espèces                            | M±ET                    | Espèces                            | M±ET                    |
|------------------------------------|-------------------------|------------------------------------|-------------------------|
| <i>Acacia polyacantha</i>          | 0,06±0,03 <sup>a</sup>  | <i>Hexalobus monopetalus</i>       | 0,32±0,10 <sup>a</sup>  |
| <i>Acacia sieberiana</i>           | 0,29±0,12 <sup>a</sup>  | <i>Hymenocardia acida</i>          | 0,09±0,02 <sup>a</sup>  |
| <i>Azalia africana</i>             | 0,18±0,03 <sup>a</sup>  | <i>Hyphaena thebaica</i>           | 0,03±0,02 <sup>a</sup>  |
| <i>Albizia adianthifolia</i>       | 0,09±0,05 <sup>a</sup>  | <i>Isoberlinia doka</i>            | 0,07±0,04 <sup>a</sup>  |
| <i>Allophylus africanus</i>        | 0,05±0,03 <sup>a</sup>  | <i>Khaya senegalensis</i>          | 2,07±1,08 <sup>ab</sup> |
| <i>Ambligonocarpus andongensis</i> | 0,15±0,06 <sup>a</sup>  | <i>Lannea acida</i>                | 0,52±0,15 <sup>a</sup>  |
| <i>Annona senegalensis</i>         | 0,07±0,03 <sup>a</sup>  | <i>Lannea schimperi</i>            | 0,03±0,02 <sup>a</sup>  |
| <i>Anogeissus leiocarpa</i>        | 15,99±6,83 <sup>c</sup> | <i>Lonchocarpus laxiflora</i>      | 0,01±0,00 <sup>a</sup>  |
| <i>Azadirachta indica</i>          | 0,00±0,00 <sup>a</sup>  | <i>Maytenus senegalensis</i>       | 0,00±0,00 <sup>a</sup>  |
| <i>Balanites aegyptiaca</i>        | 0,05±0,02 <sup>a</sup>  | <i>Mitragyna inermis</i>           | 0,20±0,11 <sup>a</sup>  |
| <i>Bombax costatum</i>             | 0,19±0,08 <sup>a</sup>  | <i>Moringa oleifera</i>            | 0,00±0,00 <sup>a</sup>  |
| <i>Bridelia ferruginea</i>         | 0,15±0,04 <sup>a</sup>  | <i>Parinari curatellifolia</i>     | 0,60±0,19 <sup>a</sup>  |
| <i>Burkea africana</i>             | 0,91±0,30 <sup>a</sup>  | <i>Parkia biglobosa</i>            | 0,32±0,10 <sup>a</sup>  |
| <i>Carissa edulis</i>              | 0,00±0,00 <sup>a</sup>  | <i>Pericopsis laxiflora</i>        | 1,08±0,34 <sup>a</sup>  |
| <i>Cassia sieberiana</i>           | 1,53±0,76 <sup>ab</sup> | <i>Piliostigma reticulatum</i>     | 0,12±0,07 <sup>a</sup>  |
| <i>Catunargam nilotica</i>         | 0,01±0,00 <sup>a</sup>  | <i>Piliostigma thonningii</i>      | 0,45±0,17 <sup>a</sup>  |
| <i>Ceiba pantandra</i>             | 0,01±0,00 <sup>a</sup>  | <i>Prosopis africana</i>           | 5,88±1,71 <sup>b</sup>  |
| <i>Celtis integrifolia</i>         | 0,01±0,01 <sup>a</sup>  | <i>Pseudocedrela kotschy</i>       | 0,30±0,11 <sup>a</sup>  |
| <i>Combretum collinum</i>          | 0,91±0,18 <sup>a</sup>  | <i>Pterocarpus lucens</i>          | 2,54±1,39 <sup>ab</sup> |
| <i>Combretum glutinosum</i>        | 0,64±0,19 <sup>a</sup>  | <i>Saba senegalensis</i>           | 0,15±0,03 <sup>a</sup>  |
| <i>Combretum molle</i>             | 0,23±0,07 <sup>a</sup>  | <i>Sarcocephalus latifolius</i>    | 0,14±0,03 <sup>a</sup>  |
| <i>Combretum nigricans</i>         | 0,02±0,01 <sup>a</sup>  | <i>Sclerocarya birrea</i>          | 0,26±0,10 <sup>a</sup>  |
| <i>Commiphora pedunculata</i>      | 0,02±0,01 <sup>a</sup>  | <i>Securidaca longipedunculata</i> | 0,04±0,01 <sup>a</sup>  |
| <i>Crossopteryx febrifuga</i>      | 1,43±0,41 <sup>ab</sup> | <i>Senna siamea</i>                | 0,01±0,01 <sup>a</sup>  |
| <i>Daniellia oliveri</i>           | 2,52±0,75 <sup>ab</sup> | <i>Sida rhombifolia</i>            | 0,01±0,01 <sup>a</sup>  |
| <i>Detarium microcarpum</i>        | 2,87±0,70 <sup>ab</sup> | <i>Sterculia setigera</i>          | 2,60±0,77 <sup>ab</sup> |
| <i>Dichrostachys cinerea</i>       | 0,00±0,00 <sup>a</sup>  | <i>Stereospermum kunthianum</i>    | 0,74±0,21 <sup>a</sup>  |
| <i>Diospyros mespiliformis</i>     | 0,11±0,05 <sup>a</sup>  | <i>Strychnos innocua</i>           | 0,05±0,01 <sup>a</sup>  |
| <i>Entada africana</i>             | 0,03±0,01 <sup>a</sup>  | <i>Strychnos spinosa</i>           | 0,34±0,05 <sup>a</sup>  |
| <i>Erythrina sigmaidea</i>         | 0,00±0,00 <sup>a</sup>  | <i>Swartzia madagascariensis</i>   | 0,10±0,02 <sup>a</sup>  |
| <i>Ficus capensis</i>              | 0,00±0,00 <sup>a</sup>  | <i>Tamarindus indica</i>           | 1,07±0,42 <sup>a</sup>  |
| <i>Ficus dekdekana</i>             | 0,00±0,00 <sup>a</sup>  | <i>Terminalia avicennioides</i>    | 0,01±0,00 <sup>a</sup>  |
| <i>Ficus glumosa</i>               | 0,12±0,07 <sup>a</sup>  | <i>Terminalia glaucescens</i>      | 1,51±0,39 <sup>ab</sup> |
| <i>Ficus platyphylla</i>           | 0,54±0,17 <sup>a</sup>  | <i>Terminalia laxiflora</i>        | 3,21±0,92 <sup>ab</sup> |

|                            |                         |                              |                        |
|----------------------------|-------------------------|------------------------------|------------------------|
| <i>Ficus sycomorus</i>     | 0,02±0,01 <sup>a</sup>  | <i>Terminalia macroptera</i> | 0,08±0,04 <sup>a</sup> |
| <i>Gardenia aqualla</i>    | 1,70±0,98 <sup>ab</sup> | <i>Trema orientalis</i>      | 0,07±0,02 <sup>a</sup> |
| <i>Gardenia erubescens</i> | 0,03±0,01 <sup>a</sup>  | <i>Vitellaria paradoxa</i>   | 1,07±0,41 <sup>a</sup> |
| <i>Gardenia ternifolia</i> | 0,08±0,03 <sup>a</sup>  | <i>Vitex doniana</i>         | 0,04±0,01 <sup>a</sup> |
| <i>Grewia flavescens</i>   | 0,00±0,00 <sup>a</sup>  | <i>Vitex simplicifolia</i>   | 0,21±0,10 <sup>a</sup> |
| <i>Grewia venusta</i>      | 0,30±0,10 <sup>a</sup>  | <i>Ximenia americana</i>     | 0,04±0,01 <sup>a</sup> |
| <i>Guiera senegalensis</i> | 0,03±0,02 <sup>a</sup>  | <i>Ziziphus abyssinica</i>   | 0,03±0,01 <sup>a</sup> |

Les chiffres suivis de différentes lettres arabes (a, b, c, d) en colonnes sont significativement différents à \*\*\* (P< 0,001) et les chiffres affectés de la même lettre en colonne ne sont pas statistiquement différents au seuil de 5% selon le test de Duncan. **M** : Moyenne, **ET** : Ecart type

### II-1-3-Production de phytomasse totale en fonction des espèces ligneuses

Les résultats de cette recherche ont révélé que les espèces ligneuses du PNM renferment une quantité de biomasse totale de 375,79 t/ha. La production de la phytomasse totale varie également très significativement entre les espèces (P< 0,001). *Anogeissus leiocarpa* se démarque des autres espèces par sa production de phytomasse totale (108,90 t/ha). Cette espèce est suivie de *Prosopis africana* (41,99 t/ha), *Terminalia laxiflora* (21,18 t/ha) (Tableau 3)

**Tableau 3** : Phytomasse totale moyenne (t/ha) des espèces ligneuses

| Espèces                            | M±ET                     | Espèces                        | M±ET                     |
|------------------------------------|--------------------------|--------------------------------|--------------------------|
| <i>Acacia polyacantha</i>          | 0,47±0,27 <sup>a</sup>   | <i>Hexalobus monopetalus</i>   | 1,82±0,61 <sup>a</sup>   |
| <i>Acacia sieberiana</i>           | 2,03±0,87 <sup>a</sup>   | <i>Hymenocardia acida</i>      | 0,47±0,10 <sup>a</sup>   |
| <i>Azadirachta indica</i>          | 1,19±0,19 <sup>a</sup>   | <i>Hyphaena thebaica</i>       | 0,19±0,11 <sup>a</sup>   |
| <i>Albizia adianthifolia</i>       | 0,60±0,34 <sup>a</sup>   | <i>Isobertlinia doka</i>       | 0,44±0,25 <sup>a</sup>   |
| <i>Allophylus africanus</i>        | 0,30±0,15 <sup>a</sup>   | <i>Khaya senegalensis</i>      | 16,97±8,98 <sup>ab</sup> |
| <i>Amblygonocarpus andongensis</i> | 1,09±0,47 <sup>a</sup>   | <i>Lannea acida</i>            | 3,17±0,92 <sup>a</sup>   |
| <i>Annona senegalensis</i>         | 0,37±0,20 <sup>a</sup>   | <i>Lannea schimperi</i>        | 0,21±0,12 <sup>a</sup>   |
| <i>Anogeissus leiocarpa</i>        | 108,90±46,3 <sup>c</sup> | <i>Lonchocarpus laxiflora</i>  | 0,05±0,46 <sup>a</sup>   |
| <i>Azadirachta indica</i>          | 0,02±0,01 <sup>a</sup>   | <i>Maytenus senegalensis</i>   | 0,01±0,01 <sup>a</sup>   |
| <i>Balanites aegyptiaca</i>        | 0,38±0,15 <sup>a</sup>   | <i>Mitragyna inermis</i>       | 1,21±0,67 <sup>a</sup>   |
| <i>Bombax costatum</i>             | 1,43±0,64 <sup>a</sup>   | <i>Moringa oleifera</i>        | 0,02±0,00 <sup>a</sup>   |
| <i>Bridelia ferruginea</i>         | 0,83±0,24 <sup>a</sup>   | <i>Parinari curatellifolia</i> | 3,45±1,13 <sup>a</sup>   |

|                                |                          |                                    |                          |
|--------------------------------|--------------------------|------------------------------------|--------------------------|
| <i>Burkea africana</i>         | 6,38±2,11 <sup>a</sup>   | <i>Parkia biglobosa</i>            | 2,47±0,84 <sup>a</sup>   |
| <i>Carissa edulis</i>          | 0,02±0,01 <sup>a</sup>   | <i>Pericopsis laxiflora</i>        | 6,88±2,17 <sup>a</sup>   |
| <i>Cassia sieberiana</i>       | 9,11±4,59 <sup>a</sup>   | <i>Piliostigma reticulatum</i>     | 0,67±0,38 <sup>a</sup>   |
| <i>Catunargam nilotica</i>     | 0,04±0,01 <sup>a</sup>   | <i>Piliostigma thonningii</i>      | 2,49±0,98 <sup>a</sup>   |
| <i>Ceiba pantandra</i>         | 0,04±0,02 <sup>a</sup>   | <i>Prosopis africana</i>           | 41,99±12,3 <sup>b</sup>  |
| <i>Celtis integrifolia</i>     | 0,08±0,05 <sup>a</sup>   | <i>Pseudocedrela kotschyi</i>      | 1,72±0,70 <sup>a</sup>   |
| <i>Combretum collinum</i>      | 3,78±0,94 <sup>a</sup>   | <i>Pterocarpus lucens</i>          | 16,48±8,96 <sup>ab</sup> |
| <i>Combretum glutinosum</i>    | 3,91±1,18 <sup>a</sup>   | <i>Saba senegalensis</i>           | 0,87±0,21 <sup>a</sup>   |
| <i>Combretum molle</i>         | 1,36±0,39 <sup>a</sup>   | <i>Sarcocephalus latifolius</i>    | 0,88±0,18 <sup>a</sup>   |
| <i>Combretum nigricans</i>     | 0,09±0,05 <sup>a</sup>   | <i>Sclerocarya birrea</i>          | 1,73±0,66 <sup>a</sup>   |
| <i>Commiphora pedunculata</i>  | 0,13±0,08 <sup>a</sup>   | <i>Securidaca longipedunculata</i> | 0,20±0,08 <sup>a</sup>   |
| <i>Crossopteryx febrifuga</i>  | 9,21±2,65 <sup>a</sup>   | <i>Senna siamea</i>                | 0,07±0,04 <sup>a</sup>   |
| <i>Daniellia oliveri</i>       | 19,25±5,72 <sup>ab</sup> | <i>Sida rhombifolia</i>            | 0,06±0,03 <sup>a</sup>   |
| <i>Detarium microcarpum</i>    | 15,91±3,90 <sup>ab</sup> | <i>Sterculia setigera</i>          | 20,01±6,08 <sup>ab</sup> |
| <i>Dichrostachys cinerea</i>   | 0,00±0,00 <sup>a</sup>   | <i>Stereospermum kunthianum</i>    | 4,45±1,29 <sup>a</sup>   |
| <i>Diospyros mespiliformis</i> | 0,66±0,28 <sup>a</sup>   | <i>Strychnos innocua</i>           | 0,25±0,04 <sup>a</sup>   |
| <i>Entada africana</i>         | 0,19±0,07 <sup>a</sup>   | <i>Strychnos spinosa</i>           | 1,72±0,22 <sup>a</sup>   |
| <i>Erythrina sigmoidea</i>     | 0,00±0,00 <sup>a</sup>   | <i>Swartzia madagascariensis</i>   | 0,54±0,12 <sup>a</sup>   |
| <i>Ficus capensis</i>          | 0,02±0,01 <sup>a</sup>   | <i>Tamarindus indica</i>           | 7,32±2,78 <sup>a</sup>   |
| <i>Ficus dekdekena</i>         | 0,02±0,01 <sup>a</sup>   | <i>Terminalia avicennioides</i>    | 0,03±0,02 <sup>a</sup>   |
| <i>Ficus glumosa</i>           | 0,97±0,56 <sup>a</sup>   | <i>Terminalia glaucescens</i>      | 7,58±2,70 <sup>a</sup>   |
| <i>Ficus platyphylla</i>       | 6,60±1,14 <sup>a</sup>   | <i>Terminalia laxiflora</i>        | 21,18±6,19 <sup>ab</sup> |
| <i>Ficus sycomorus</i>         | 0,11±0,04 <sup>a</sup>   | <i>Terminalia macroptera</i>       | 0,47±0,27 <sup>a</sup>   |
| <i>Gardenia aqualla</i>        | 1,77±1,02 <sup>a</sup>   | <i>Trema orientalis</i>            | 0,41±0,12 <sup>a</sup>   |

|                            |                        |                            |                        |
|----------------------------|------------------------|----------------------------|------------------------|
| <i>Gardenia erubescens</i> | 0,16±0,05 <sup>a</sup> | <i>Vitellaria paradoxa</i> | 7,33±2,90 <sup>a</sup> |
| <i>Gardenia ternifolia</i> | 0,32±0,10 <sup>a</sup> | <i>Vitex doniana</i>       | 0,20±0,06 <sup>a</sup> |
| <i>Grewia flavescens</i>   | 0,02±0,01 <sup>a</sup> | <i>Vitex simplicifolia</i> | 1,81±0,91 <sup>a</sup> |
| <i>Grewia venusta</i>      | 1,54±0,49 <sup>a</sup> | <i>Ximenia americana</i>   | 0,19±0,06 <sup>a</sup> |
| <i>Guiera senegalensis</i> | 0,19±0,09 <sup>a</sup> | <i>Ziziphus abyssinica</i> | 0,19±0,05 <sup>a</sup> |

Les chiffres suivis de différentes lettres arabes (a, b, c, d) en colonnes sont significativement différents à \*\*\* (P< 0,001) et les chiffres affectés de la même lettre en colonne ne sont pas statistiquement différents au seuil de 5% selon le test de Duncan. **M** : Moyenne, **ET** : Ecart type

## II-2-Estimation de stock de carbone en fonction des espèces ligneuses

Le stock de biomasse totale des espèces ligneuses dans le PNM est de 375,79t/ha, ce qui équivaut à 176,62tC/ha de carbone. Les espèces ligneuses qui séquestrent le plus de carbone sont *Anogeissus leiocarpa* (51,18tC/ha), *Prosopis africana* (19,74tC/ha), *Terminalia laxiflora* (9,96tC/ha) (Tableau 4). Le stock de carbone par les espèces ligneuses varie également très significativement entre les espèces (P< 0,001).

**Tableau 4** : Variation de la quantité de carbone séquestré des espèces ligneuses (tC/ha)

| Espèces                            | M±ET                     | Espèces                       | M±ET                    |
|------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| <i>Acacia polyacantha</i>          | 0,22±0,13 <sup>a</sup>   | <i>Hexalobus monopetalus</i>  | 0,86±0,29 <sup>a</sup>  |
| <i>Acacia sieberiana</i>           | 0,95±0,41 <sup>a</sup>   | <i>Hymenocardia acida</i>     | 0,22±0,05 <sup>a</sup>  |
| <i>Azadirachta indica</i>          | 0,01±0,01 <sup>a</sup>   | <i>Hyphaena thebaica</i>      | 0,09±0,05 <sup>a</sup>  |
| <i>Azadirachta indica</i>          | 0,01±0,01 <sup>a</sup>   | <i>Isobertinia doka</i>       | 0,21±0,12 <sup>a</sup>  |
| <i>Balanites aegyptiaca</i>        | 0,18±0,07 <sup>a</sup>   | <i>Khaya senegalensis</i>     | 7,98±4,22 <sup>ab</sup> |
| <i>Bombax costatum</i>             | 0,67±0,30 <sup>a</sup>   | <i>Lannea acida</i>           | 1,48±0,43 <sup>a</sup>  |
| <i>Albizia adianthifolia</i>       | 0,28±0,16 <sup>a</sup>   | <i>Lannea schimperi</i>       | 0,10±0,06 <sup>a</sup>  |
| <i>Allophylus africanus</i>        | 0,14±0,07 <sup>a</sup>   | <i>Lonchocarpus laxiflora</i> | 0,02±0,01 <sup>a</sup>  |
| <i>Ambligonocarpus andongensis</i> | 0,51±0,22 <sup>a</sup>   | <i>Maytenus senegalensis</i>  | 0,00±0,00 <sup>a</sup>  |
| <i>Annona senegalensis</i>         | 0,18±0,09 <sup>a</sup>   | <i>Mitragyna inermis</i>      | 0,57±0,32 <sup>a</sup>  |
| <i>Anogeissus leiocarpa</i>        | 51,18±21,78 <sup>c</sup> | <i>Moringa oleifera</i>       | 0,01±0,00 <sup>a</sup>  |

|                                |                         |                                    |                         |
|--------------------------------|-------------------------|------------------------------------|-------------------------|
| <i>Bridelia ferruginea</i>     | 0,39±0,11 <sup>a</sup>  | <i>Parinari curatellifolia</i>     | 1,62±0,53 <sup>a</sup>  |
| <i>Burkea africana</i>         | 3,00±0,99 <sup>a</sup>  | <i>Parkia biglobosa</i>            | 1,16±0,40 <sup>a</sup>  |
| <i>Carissa edulis</i>          | 0,01±0,01 <sup>a</sup>  | <i>Pericopsis laxiflora</i>        | 3,23±1,02 <sup>a</sup>  |
| <i>Cassia sieberiana</i>       | 4,28±2,16 <sup>a</sup>  | <i>Piliostigma reticulatum</i>     | 0,31±0,18 <sup>a</sup>  |
| <i>Catunargam nilotica</i>     | 0,02±0,01 <sup>a</sup>  | <i>Piliostigma thonningii</i>      | 1,17±0,46 <sup>a</sup>  |
| <i>Ceiba pantandra</i>         | 0,02±0,01 <sup>a</sup>  | <i>Prosopis africana</i>           | 19,74±5,78 <sup>b</sup> |
| <i>Celtis integrifolia</i>     | 0,02±0,02 <sup>a</sup>  | <i>Pseudocedrela kotschyi</i>      | 0,81±0,33 <sup>a</sup>  |
| <i>Combretum collinum</i>      | 2,25±0,44 <sup>a</sup>  | <i>Pterocarpus lucens</i>          | 7,75±4,21 <sup>ab</sup> |
| <i>Combretum glutinosum</i>    | 1,84±0,56 <sup>a</sup>  | <i>Saba senegalensis</i>           | 0,41±0,10 <sup>a</sup>  |
| <i>Combretum molle</i>         | 0,64±0,18 <sup>a</sup>  | <i>Sarcocephalus latifolius</i>    | 0,41±0,09 <sup>a</sup>  |
| <i>Combretum nigricans</i>     | 0,04±0,03 <sup>a</sup>  | <i>Sclerocarya birrea</i>          | 0,81±0,31 <sup>a</sup>  |
| <i>Commiphora pedunculata</i>  | 0,06±0,04 <sup>a</sup>  | <i>Securidaca longipedunculata</i> | 0,10±0,04 <sup>a</sup>  |
| <i>Crossopteryx febrifuga</i>  | 4,33±1,25 <sup>a</sup>  | <i>Senna siamea</i>                | 0,03±0,02 <sup>a</sup>  |
| <i>Daniellia oliveri</i>       | 9,05±2,69 <sup>ab</sup> | <i>Sida rhombifolia</i>            | 0,03±0,02 <sup>a</sup>  |
| <i>Detarium microcarpum</i>    | 7,48±1,84 <sup>ab</sup> | <i>Sterculia setigera</i>          | 9,40±2,86 <sup>ab</sup> |
| <i>Dichrostachys cinerea</i>   | 0,00±0,00 <sup>a</sup>  | <i>Stereospermum kunthianum</i>    | 2,09±0,61 <sup>a</sup>  |
| <i>Diospyros mespiliformis</i> | 0,31±0,13 <sup>a</sup>  | <i>Strychnos innocua</i>           | 0,12±0,02 <sup>a</sup>  |
| <i>Entada africana</i>         | 0,09±0,04 <sup>a</sup>  | <i>Strychnos spinosa</i>           | 0,81±0,11 <sup>a</sup>  |
| <i>Erythrina sigmoidea</i>     | 0,00±0,00 <sup>a</sup>  | <i>Swartzia madagascariensis</i>   | 0,25±0,05 <sup>a</sup>  |
| <i>Ficus capensis</i>          | 0,01±0,00 <sup>a</sup>  | <i>Tamarindus indica</i>           | 3,44±1,31 <sup>a</sup>  |
| <i>Ficus dekdekena</i>         | 0,01±0,00 <sup>a</sup>  | <i>Terminalia avicennioides</i>    | 0,01±0,01 <sup>a</sup>  |
| <i>Ficus glumosa</i>           | 0,46±0,26 <sup>a</sup>  | <i>Terminalia glaucescens</i>      | 3,56±1,27 <sup>a</sup>  |
| <i>Ficus platyphylla</i>       | 1,69±0,54 <sup>a</sup>  | <i>Terminalia laxiflora</i>        | 9,96±2,91 <sup>ab</sup> |
| <i>Ficus sycomorus</i>         | 0,05±0,02 <sup>a</sup>  | <i>Terminalia macroptera</i>       | 0,22±0,13 <sup>a</sup>  |

|                            |                        |                            |                        |
|----------------------------|------------------------|----------------------------|------------------------|
| <i>Gardenia aqualla</i>    | 0,83±0,48 <sup>a</sup> | <i>Trema orientalis</i>    | 0,19±0,05 <sup>a</sup> |
| <i>Gardenia erubescens</i> | 0,08±0,02 <sup>a</sup> | <i>Vitellaria paradoxa</i> | 3,45±1,36 <sup>a</sup> |
| <i>Gardenia ternifolia</i> | 0,15±0,04 <sup>a</sup> | <i>Vitex doniana</i>       | 0,10±0,03 <sup>a</sup> |
| <i>Grewia flavescens</i>   | 0,01±0,00 <sup>a</sup> | <i>Vitex simplicifolia</i> | 0,85±0,43 <sup>a</sup> |
| <i>Grewia venusta</i>      | 0,72±0,23 <sup>a</sup> | <i>Ximenia americana</i>   | 0,09±0,03 <sup>a</sup> |
| <i>Guiera senegalensis</i> | 0,09±0,04 <sup>a</sup> | <i>Ziziphus abyssinica</i> | 0,09±0,02 <sup>a</sup> |

Les chiffres suivis de différentes lettres arabes (a, b, c, d) en colonnes sont significativement différents à \*\*\* (P< 0,001) et les chiffres affectés de la même lettre en colonne ne sont pas statistiquement différents au seuil de 5% selon le test de Duncan. **M** : Moyenne, **ET** : Ecart type

### II-3-Estimation du stock de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) atmosphérique équivalent

L'analyse du tableau 5 montre qu'il y a une variation du taux de carbone atmosphérique d'une espèce à une autre. Nous notons par ailleurs, le CO<sub>2</sub> atmosphérique équivalent le plus élevé chez l'*Anogeissus leiocarpa* (157,54 téqCO<sub>2</sub>), *Prosopis africana* (72,43 téqCO<sub>2</sub>), *Terminalia laxiflora* (36,54 téqCO<sub>2</sub>) (Tableau 5). La forte quantité de carbone atmosphérique séquestrée par ces espèces précitées pourrait se justifier par la présence de nombreux individus de ces espèces dans le PNM et à croissance rapide qui séquestrent plus de carbone atmosphérique.

**Tableau 5** : Variation de la quantité de CO<sub>2</sub> atmosphérique équivalent des espèces ligneuses (téq CO<sub>2</sub>)

| Espèces                            | M±ET                     | Espèces                       | M±ET                     |
|------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| <i>Acacia polyacantha</i>          | 0,81±0,46 <sup>a</sup>   | <i>Hexalobus monopetalus</i>  | 3,14±1,04 <sup>a</sup>   |
| <i>Acacia sieberiana</i>           | 3,50±1,49 <sup>a</sup>   | <i>Hymenocardia acida</i>     | 0,81±0,17 <sup>a</sup>   |
| <i>Azelia africana</i>             | 2,05±0,32 <sup>a</sup>   | <i>Hyphaena thebaica</i>      | 0,33±0,19 <sup>a</sup>   |
| <i>Albizia adianthifolia</i>       | 1,01±0,58 <sup>a</sup>   | <i>Isoberlinia doka</i>       | 0,76±0,43 <sup>a</sup>   |
| <i>Allophylus africanus</i>        | 0,50±0,25 <sup>a</sup>   | <i>Khaya senegalensis</i>     | 29,28±15,48 <sup>b</sup> |
| <i>Ambligonocarpus andongensis</i> | 1,87±0,80 <sup>a</sup>   | <i>Lannea acida</i>           | 5,48±1,58 <sup>a</sup>   |
| <i>Annona senegalensis</i>         | 0,65±0,33 <sup>a</sup>   | <i>Lannea schimperi</i>       | 0,36±0,29 <sup>a</sup>   |
| <i>Anogeissus leiocarpa</i>        | 157,54±79,9 <sup>c</sup> | <i>Lonchocarpus laxiflora</i> | 0,08±0,04 <sup>a</sup>   |

|                                |                          |                                    |                           |
|--------------------------------|--------------------------|------------------------------------|---------------------------|
| <i>Azadirachta indica</i>      | 0,03±0,01 <sup>a</sup>   | <i>Maytenus senegalensis</i>       | 0,02±0,00 <sup>a</sup>    |
| <i>Balanites aegyptiaca</i>    | 0,65±0,25 <sup>a</sup>   | <i>Mitragyna inermis</i>           | 2,10±1,15 <sup>a</sup>    |
| <i>Bombax costatum</i>         | 2,47±1,10 <sup>a</sup>   | <i>Moringa oleifera</i>            | 0,03±0,00 <sup>a</sup>    |
| <i>Bridelia ferruginea</i>     | 1,44±0,41 <sup>a</sup>   | <i>Parinari curatellifolia</i>     | 5,95±1,95 <sup>a</sup>    |
| <i>Burkea africana</i>         | 11,00±3,63 <sup>ab</sup> | <i>Parkia biglobosa</i>            | 4,27±1,45 <sup>a</sup>    |
| <i>Carissa edulis</i>          | 0,04±0,02 <sup>a</sup>   | <i>Pericopsis laxiflora</i>        | 11,87±3,73 <sup>ab</sup>  |
| <i>Cassia sieberiana</i>       | 15,71±7,92 <sup>ab</sup> | <i>Piliostigma reticulatum</i>     | 1,15±0,66 <sup>a</sup>    |
| <i>Catunargam nilotica</i>     | 0,07±0,02 <sup>a</sup>   | <i>Piliostigma thonningii</i>      | 4,30±1,69 <sup>a</sup>    |
| <i>Ceiba pantandra</i>         | 0,06±0,03 <sup>a</sup>   | <i>Prosopis africana</i>           | 72,43±21,21 <sup>bc</sup> |
| <i>Celtis integrifolia</i>     | 0,14±0,08 <sup>a</sup>   | <i>Pseudocedrela kotschyi</i>      | 2,96±1,20 <sup>a</sup>    |
| <i>Combretum collinum</i>      | 8,25±1,62 <sup>ab</sup>  | <i>Pterocarpus lucens</i>          | 28,43±15,45 <sup>b</sup>  |
| <i>Combretum glutinosum</i>    | 6,74±2,04 <sup>ab</sup>  | <i>Saba senegalensis</i>           | 1,50±0,36 <sup>a</sup>    |
| <i>Combretum molle</i>         | 234±0,66 <sup>d</sup>    | <i>Sarcocephalus latifolius</i>    | 1,52±0,31 <sup>a</sup>    |
| <i>Combretum nigricans</i>     | 0,16±0,09 <sup>a</sup>   | <i>Sclerocarya birrea</i>          | 2,99±1,13 <sup>a</sup>    |
| <i>Commiphora pedunculata</i>  | 0,23±0,13 <sup>a</sup>   | <i>Securidaca longipedunculata</i> | 0,35±0,13 <sup>a</sup>    |
| <i>Crossopteryx febrifuga</i>  | 15,89±4,57 <sup>ab</sup> | <i>Senna siamea</i>                | 0,12±0,07 <sup>a</sup>    |
| <i>Daniellia oliveri</i>       | 33,20±9,86 <sup>b</sup>  | <i>Sida rhombifolia</i>            | 0,10±0,05 <sup>a</sup>    |
| <i>Detarium microcarpum</i>    | 27,45±6,73 <sup>b</sup>  | <i>Sterculia setigera</i>          | 34,51±10,48 <sup>b</sup>  |
| <i>Dichrostachys cinerea</i>   | 0,00±0,00 <sup>a</sup>   | <i>Stereospermum kunthianum</i>    | 7,68±2,23 <sup>ab</sup>   |
| <i>Diospyros mespiliformis</i> | 1,13±0,47 <sup>a</sup>   | <i>Strychnos innocua</i>           | 0,43±0,06 <sup>a</sup>    |
| <i>Entada africana</i>         | 0,32±0,12 <sup>a</sup>   | <i>Strychnos spinosa</i>           | 2,97±0,38 <sup>a</sup>    |
| <i>Erythrina sigmoidea</i>     | 0,01±0,00 <sup>a</sup>   | <i>Swartzia madagascariensis</i>   | 0,93±0,20 <sup>a</sup>    |

|                            |                        |                                 |                          |
|----------------------------|------------------------|---------------------------------|--------------------------|
| <i>Ficus capensis</i>      | 0,03±0,01 <sup>a</sup> | <i>Tamarindus indica</i>        | 12,63±4,80 <sup>ab</sup> |
| <i>Ficus dekdekana</i>     | 0,03±0,01 <sup>a</sup> | <i>Terminalia avicennioides</i> | 0,04±0,02 <sup>a</sup>   |
| <i>Ficus glumosa</i>       | 1,67±0,96 <sup>a</sup> | <i>Terminalia glaucescens</i>   | 13,08±4,66 <sup>ab</sup> |
| <i>Ficus platyphylla</i>   | 6,21±1,96 <sup>a</sup> | <i>Terminalia laxiflora</i>     | 36,54±10,67 <sup>b</sup> |
| <i>Ficus sycomorus</i>     | 0,20±0,06 <sup>a</sup> | <i>Terminalia macroptera</i>    | 0,80±0,46 <sup>a</sup>   |
| <i>Gardenia aqualla</i>    | 3,05±1,75 <sup>a</sup> | <i>Trema orientalis</i>         | 0,70±0,20 <sup>a</sup>   |
| <i>Gardenia erubescens</i> | 0,28±0,07 <sup>a</sup> | <i>Vitellaria paradoxa</i>      | 12,65±4,99 <sup>ab</sup> |
| <i>Gardenia ternifolia</i> | 0,55±0,16 <sup>a</sup> | <i>Vitex doniana</i>            | 0,35±0,10 <sup>a</sup>   |
| <i>Grewia flavescens</i>   | 0,03±0,01 <sup>a</sup> | <i>Vitex simplicifolia</i>      | 3,12±1,56 <sup>a</sup>   |
| <i>Grewia venusta</i>      | 2,65±0,84 <sup>a</sup> | <i>Ximenia americana</i>        | 0,34±0,10 <sup>a</sup>   |
| <i>Guiera senegalensis</i> | 0,33±0,15 <sup>a</sup> | <i>Ziziphus abyssinica</i>      | 0,34±0,08 <sup>a</sup>   |

Les chiffres suivis de différentes lettres arabes (a, b, c, d) en colonnes sont significativement différents à \*\*\* (P < 0,001) et les chiffres affectés de la même lettre en colonne ne sont pas statistiquement différents au seuil de 5% selon le test de Duncan. **M** : Moyenne, **ET** : Ecart type

### III-Discussion

#### III-1-Estimation de la phytomasse des espèces ligneux

La recherche menée par [33] dans la réserve écologique de Borotou-Koro au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire, ont trouvé que *Ceiba pentandra* (22,35t/ha), *Azelia africana* (11,32t/ha) et *Cola cordifolia* (9,97t/ha) qui ont contribué plus en phytomasse aérienne. Ces espèces sont différentes de notre. Cette différence peut être due à l'écologie des espèces et leur gros diamètre et leur taille. La contribution de phytomasse ne dépend pas quelque fois du nombre d'individus d'une espèce car *Combretum collinum* (456 individus) et *Detarium microcarpum* (387 individus) ont respectivement une phytomasse de 3,87t/ha et 13,05t/ha, alors que *Prosopis africana* (263 individus), *Daniellia oliveri* (137 individus) et *Terminalia laxiflora* (254 individus) apportent respectivement une phytomasse moyenne de 36,11t/ha, 16,73t/ha et 17,98t/ha supérieure à celles des ligneux précédents. Cette différence entre les deux groupes serait liée à la taille des individus comme le diamètre à hauteur de poitrine. [34] ont également montré que la phytomasse aérienne augmente avec l'aire basale qui est liée à la grosseur des arbres. De même, [35] et [36] soulignaient que les individus ligneux de grands diamètres sont inévitablement l'élément dominant de la biomasse aérienne.

La production de phytomasse souterraine des espèces ainsi mises en évidence est étroitement liée à la phytomasse aérienne. A cet effet, les mêmes espèces réputées pour la production importante de phytomasse aérienne sont celles réputées pour la production importante de phytomasse souterraine. Nos résultats sont supérieurs de ceux obtenus par [30], dans le massif forestier de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts de Dindéresso, Province du Houet au Burkina Faso. Leurs résultats varient d'un type de végétation à un autre 0,70t/ha à 14,19t/ha.

La quantité de phytomasse totale produite par ces ligneux est plus importante (375,79 t/ha) que celle estimée par [32] dans la forêt de Dimonika en République Démocratique du Congo avec une biomasse totale de 275,37 t/ha. Le statut de gestion de ces

différents écosystèmes pourrait être à l'origine de ces différences notoires [37]. Parallèlement, ces résultats sont inférieurs à ceux de [37] et à ceux de [38] qui ont estimé respectivement 4715t/ha et 7394,63t/ha. Ces différences peuvent être liées à la méthode choisie, notamment l'équation allométrique et les paramètres (le diamètre, la hauteur et la densité spécifique) utilisés. Cette différence pourrait être dû aussi à la prédominance des sujets de petit diamètre [37]. La référence [39] attribue les écarts de résultats à la méthode utilisée pour les mesures de diamètre et de hauteur. Par ailleurs, en ce qui concerne la contribution des individus de gros diamètres, plusieurs auteurs en ont fait cas à travers leurs travaux notamment [40], [32], [41]. La production de la phytomasse totale varie également très significativement entre les espèces ( $P < 0,001$ ) (Tableau 3). *Anogeissus leiocarpa* se démarque des autres espèces par sa production de phytomasse totale qui est de 108,90t/ha. Cette espèce est suivie de *Prosopis africana* (41,99t/ha) et *Terminalia laxiflora* (21,18t/ha). Ces résultats sont similaires à ceux de [42] qui ont trouvé dans la même zone d'étude *Anogeissus leiocarpa* (9,03t/ha), *Prosopis africana* (5,75t/ha), *Terminalia glauscens* (3,78t/ha) et *Terminalia laxiflora* (3,48t/ha) qui ont produit la plus grande phytomasse. Cette différence de phytomasse totale entre les mêmes espèces dans la même zone en neuf ans, peut-être dû à la croissance de ces espèces. La quantité élevée de phytomasse en neuf ans pourrait aussi se justifier par l'accélération de la régénération de ces espèces dont les conditions sont favorables pour leurs développements. Cependant d'autres espèces ont une production de phytomasse sensiblement nulle, il s'agit de *Dichrostachys cinerea*, *Erythrina signoidea*, *Maytenus senegalensis*. L'importance de la phytomasse observée chez certaines espèces s'expliquerait par leur partie végétative bien développée (troncs, racines, feuilles, branches).

### III-2-Estimation de stock de carbone en fonction des espèces ligneuses

Les espèces ligneuses stockant plus de carbone sont celles qui sont nombreuses et plus grandes (surtout en diamètre). Cela est observé par [43] lors de son étude sur «l'Impact socio-économique et environnemental de l'exploitation de la végétation de Minawao dans le Département du Mayo Tsanaga (Extrême Nord, Cameroun)». C'est *Anogeissus leiocarpa* qui séquestre plus de carbone. Les stocks de carbone dépendent de plusieurs paramètres qui sont entre autres la qualité et la quantité des arbres selon [44]. La référence [45] a étudié la dynamique des flux de carbone entre l'atmosphère et des écosystèmes ouest-africains : cas des forêts et des savanes sous climat soudanien au Bénin, a montré que les flux de carbone présentent une importante variabilité spatiale, principalement liée à la variabilité des modes de gestion, des types de végétation et des formes d'usage des écosystèmes. Alors que [46] mettent l'accent sur certains facteurs qui sont propres aux arbres et susceptibles d'agir sur le stockage de carbone et même sur la stratégie de croissance. [47] parle plutôt sur le côté taxonomique c'est-à-dire la quantité de carbone stocké varie avec l'espèce. Quant à [48] disent que la mauvaise gestion, le pâturage et la coupe de la végétation surtout l'étêtage des arbres perturbent ainsi le phénomène de la photosynthèse pourrait expliquer la différence de stock de carbone entre les espèces. L'évaluation des stocks de carbone est indispensable à la mise en œuvre des stratégies d'atténuation des changements climatiques que prône le mécanisme de réduction des émissions dues à la déforestation et à la dégradation (REDD+) [33].

### III-3-Estimation du stock de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) atmosphérique équivalent

La forte quantité de carbone atmosphérique séquestrée par *Anogeissus leiocarpa* (157,54 téq CO<sub>2</sub>), *Prosopis africana* (72,43 téq CO<sub>2</sub>) et *Terminalia laxiflora* (36,54 téq CO<sub>2</sub>) pourrait se justifier par la présence de nombreux individus de ces espèces dans le PNM et à croissance rapide qui séquestrent plus de carbone atmosphérique. [37] ont montré dans leur recherche que la forte intensité de séquestration de carbone atmosphérique pourrait s'expliquer par le fait que les jeunes plants absorbent une quantité importante de dioxyde de carbone atmosphérique pour assurer leur croissance. Concernant l'équivalent de CO<sub>2</sub> atmosphérique séquestré, les résultats de cette recherche sont inférieurs à ceux de [37] qui ont évalué 8132 tonnes de CO<sub>2</sub> dans des bois sacrés de la chaîne de Lama-Kouméa au Nord du Togo. Cette différence de séquestration pourrait s'expliquer par l'utilisation des différentes équations allométriques. La présente étude s'est limitée à l'équation allométrique de [25] qui prend en compte seul le diamètre à la hauteur de poitrine lors du calcul, alors que [37] ont utilisé le modèle de [49] en incluant lors du calcul le diamètre, la hauteur et la densité spécifique.

### Conclusion

L'étude menée dans le PNM sur la contribution des différentes espèces ligneuses sur le potentiel de séquestration du carbone met en évidence des différences statistiquement significatives au niveau des paramètres calculés entre les espèces ligneuses. Les aires

protégées constituent donc un réservoir important de stockage de carbone. Il est donc nécessaire de mettre en œuvre des politiques de conservation de ces formations afin qu'elles participent significativement à l'atténuation des effets des changements climatiques et de leurs effets. De ce fait, il serait intéressant : de reconduire cette étude dans les autres zones écologiques et d'évaluer le stock de carbone séquestré au niveau du sol selon les modes d'occupation du sol.

## Références

- [1]. GIEC (2019). Conséquences d'un réchauffement planétaire de 1,5 °C par rapport aux niveaux préindustriels et les trajectoires associées d'émissions mondiales de gaz à effet de serre dans le contexte du renforcement de la parade mondiale au changement climatique, du développement durable et de la lutte contre la pauvreté Résumé à l'intention des décideurs, 26p.
- [2]. GIEC. (2013). Contribution du Groupe de travail I au cinquième Rapport d'Evaluation du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat, Stocker TF, Qin D, Plattner G-K, Tignor M, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley PM (eds). Cambridge University Press : Cambridge, Royaume-Uni et New York (États-Unis d'Amérique) ; 27p
- [3]. WWF, (2016). Living planet report 2016. Risk and resilience in a new era. 128p.
- [4]. Jeannot T.B.T., Henri K.K. et Celestin K.M. (2023). Evaluation de l'Impact des Activités Anthropiques Sur la Séquestration de Carbone dans le Parc National Du Mont Sangbé, en Côte d'Ivoire. European Scientific Journal, ESJ, 19 (6), 367. <https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n6p367>
- [5]. FAO. (2020). La FAO présente l'analyse la plus complète des ressources forestières sous une forme novatrice. L'actualité mondiale Un regard humain
- [6]. Stavi I et Lal R. (2013). Agroforestry and biochar to offset climate change: a review. Agronomy for Sustainable Development, 33: 81-96. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-012-0081-1>
- [7]. Dimobe, K. (2017). Dynamique, séquestration de carbone et modèles de variations des savanes soudaniennes du Burkina Faso et du Ghana (Afrique de l'Ouest). Thèse de Doctorat. Spécialité : Sciences et Phytoécologie. Laboratoire Biologie/ Ecologie Végétale, Université Ouaga I Pr Joseph KI-ZERBO, Ouagadougou, BF, 179p
- [8]. Seeberg-Elverfeldt, C. (2010). Les perspectives du financement carbone pour les projets d'agriculture, de foresterie et d'autres affectations des terres dans le cadre des petites exploitations agricoles. FAO, 30p
- [9]. Kervinio Y. et Rais Assa C. (2019). La séquestration de carbone par les écosystèmes en France : Une évaluation du service de séquestration in situ du carbone », 102p
- [10]. GIEC. (2021). La base des sciences physiques. In Contribution du Groupe de travail I au sixième Rapport d'Evaluation du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat : Conséquences, Adaptation et Vulnérabilité. Cambridge University Press: Cambridge (Royaume Uni) et New York (États-Unis d'Amérique); 1800p
- [11]. Achard F, Ebeuchle R, Mayaux P, Stibig HJ, Bodart C, Brink A, Carboni S, Desclée B, Donnay F, Eva HD, Lupi A, Raši R, Seliger R, Simonetti D. (2014). Determination of tropical deforestation rates and related carbon losses from 1990 to 2010. Global Change Biology, 20(8):1-15. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.12605>
- [12]. Pan, Y., Birdsey, R.A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P.E., Kurz, W.A. , Phillips, O. L., Shvidenko, A., Lewis, S.L., Canadell, J. G., Ciais, P., Jackson, R. B., Pacala, S. W., McGuire, A. D., Piao, S., Rautiainen, A., Sitch, S. and Hayes, D. (2011). A large and Persistent Carbon Sink in the World's Forests. Science 333(6045) : 988-993.
- [13]. ONF. (2006). Forêt et Carbone. Dossier n°5, Office National des Forêts, Paris, 6p

- [14]. Galbert D. M., Schmidt-Pramov F. Dieterleet G. et Larson G. (2013). Des forêts tropicales atténuant le changement climatique. Leur rôle dans la substitution aux énergies fossiles et les futures économies vertes », Etude du Conseil Général, de l'alimentation, de l'agriculture et des Espaces Ruraux, de la GIZ et de la Banque Internationale, 61p
- [15]. Banque Mondiale (2016). Les forêts freinent le changement climatique. Disponible sur le site : <https://www.banquemondiale.org/fr/topic/forests/brief/forests-combat-climate-change>. Consulté le 22/05/2025
- [16]. ASECNA, (2023) "Agence pour la Sécurité Aérienne en Afrique et à Madagascar, centre météorologique de Sarh"
- [17]. PAPNM, (2010). Plan d'aménagement du Parc National de Manda 2011 – 2021. 175p
- [18]. Bellefontaine R, Gaston A, Petrucci Y. (1997). Aménagement des forêts tropicales sèches. FAO, pp 1-50.
- [19]. Sandjong S. R. C. (2018). Etude phytoécologique du Parc National de Mozogo-Gokoro Gokoro dans l'Extrême-Nord Cameroun : implications pour une gestion durable. Thèse de doctorat en Sciences Biologiques Option : Biologie des Organismes Végétaux, à l'Université de N'Gaoundéré au Cameroun 139p
- [20]. Mertens, B. Orekan, V. Eds. (2019): Actes de la Conférence « Des images satellites pour la gestion durable des territoires en Afrique », Observation Spatiale des Forêts de l'Afrique Centrale et de l'Ouest (OSFACO). Actes de la Conférence OSFACO, Cotonou, Bénin. 547p
- [21]. Ibrahima A. et Abib Fanta C. (2008). Estimation du stock de carbone dans les faciès arborés et arbustifs des savanes soudano-guinéennes de Ngaoundéré, Cameroun. Cameroon Journal of Experimental Biology, 4(1): 1–11
- [22]. Gaiwa D., Ibrahima A., Tchobsala, Noiha N. V., Man-na D., (2019). Comparison of carbon stocks in Acacia senegal and Acacia seyal stands in Chari - Baguirmi region (Chad). Int. J. Adv. Res. Biol. Sci.. 6(2): 195-203.
- [23]. Henry M., Picard N., Trotta C., Manlay R. J., Valentini R., Bernoux M., et Saint-André L., (2011). Estimating tree biomass of sub-Saharan African forests: a review of available allometric equations, Silva Fennica, 45 (3B): 477 – 569
- [24]. Panzou G. J. L., Doucet J-L., Loumeto J-J., Biwole A., Bauwens S., Fayolle A., (2016). Biomasse et stocks de carbone des forêts tropicales africaines (synthèse bibliographique). Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 20(4), 508-522
- [25]. Baudoin W. T. J., Nguetsop V. F. et Fonkou T., 2018. Equations allométriques pour l'estimation de la biomasse aérienne des ligneux des savanes des Hautes Terres de l'Ouest Cameroun. Laboratoire de Botanique Appliquée, Université de Dschang, Cameroun, 2p
- [26]. Maguette K., Ouedraogo J. S., Sarr B., Belem M., Avery T.E., Burkhardt H.E. (eds.), (2013). Guide de Mesure et de Suivi du Carbone dans le système sol-végétation des formations forestières et agroforestières en Afrique de l'ouest. 1983. Forest Measurements, 3rd edition. McGraw-Hill, New York, 46p
- [27]. Etchike D. A. B., Ngassoum M. B., Mapongmetsem P. M., (2020). Potentialités des Agroforêts contre les changements climatiques en zone d'écotone Forêt-Savane du Cameroun. European Scientific Journal, 16(15): 1857-7881
- [28]. Cairns M. A., Brown S., Helmer E. H. et Baumgardner G. A., (1997). Root biomass allocation in the world's up land forests. Oecologia, 111: 1-11
- [29]. Saïdou A., Dossa A. F. E., Gnanglè P. C., Balogoun I. et Aho N., (2012). Evaluation du stock de carbone dans les systèmes agroforestiers à karité (*Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn.) et à néré (*Parkia biglobosa* Jacq. G. Don) en zone Soudanienne du Bénin. Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB) Numéro Spécial Agriculture & Forêt, 1 – 9
- [30]. Ouédraogo O W, Gomgnimbou K P A, Santi S, Ilboudo D et Toguyeni A (2019). Quantification de la Biomasse et stockage du carbone du massif forestier de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts de Dindéresso province du Houet au Burkina Faso, Int. J. Biol. Chem. Sci. 13(7) : 3276-3288. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v13i7.24>

- [31]. GIEC. (2006). Lignes directrices du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre ; agriculture, foresterie et autres affectations des terres. Institute for Global Environmental Strategies,4, 93p
- [32]. 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
- [33]. Pagadjovongo A. S., Koffi M., Konan E. K., Kouhounatchoho A. K. (2025). Structure et stock de carbone des différents types de végétation de la réserve écologique de Borotou-Koro au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 29(2), 94-105
- [34]. Dubé A., Saint-laurent D. et Senecal G., (2006). Penser le renouvellement des politiques de conservation de la forêt urbaine à l'ère du réchauffement climatique. Institut national de la recherche scientifique-Urbanisation, Culture et Société, 51p
- [35]. Monssou, E. O., Vroh, B. T. A., Goné, BI. Z. B., Adou, Yao. C. Y. et N'Guessan, K. E. (2016). Evaluation de la diversité et estimation de la biomasse aérienne des arbres du Jardin Botanique de Bingerville (District d'Abidjan, Côte d'Ivoire). *European Scientific Journal* 12 (6): 168-184
- [36]. Dembélé B., Gomgnimbou A.P.K, Yameogo J. T, Ouedraogo O. W. et HIEN M., (2023). Détermination du carbone stocké par les ligneux dans la bande de servitude de la rivière Kou dans la Province du Houet (Burkina Faso). *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 17(1): 281-292
- [37]. Sikbagou Kankpénangue, Atato Abalo, Soussou Tatongueba (2023). Potentiel de séquestration de carbone des bois sacrés de la chaîne de Lama-Kouméa au Nord du Togo. *Rev Écosystèmes et Paysages (Togo)*, 3(2) : 1–14, e-ISSN (Online) : 2790-3230, DOI : <https://doi.org/10.59384/recopays.tg3212>
- [38]. Issifou Moumouni Y, Arouna O, Toko Issaka N, Toko Imorou I, Zakari S, Djaouga M (2017). Estimation de la variabilité de la biomasse aérienne ligneuse en forêt tropicale sèche : cas de la forêt classée de Wari-Marou au Centre-Bénin *Revue de géographie du Laboratoire Leïdi «DTD» -ISSN 0851– 2515 –N°17*, pp 38-56
- [39]. Anobla A O M M et N'Dja K. J (2016). Dynamique de la végétation de Bamo et stocks de carbone dans la mosaïque de végétation, *European Scientific Journal*, 12(18) : 1857– 7881
- [40]. Mille G. et Louppe D., (2015). « Mémento du Forestier Tropical », Editions QUÆ. Versailles, France, 1200p
- [41]. Gomgnimbou P.K.A., Ouédraogo W.O., Sanon A, Koné M., Ilboudo D., Nacro H.B.. (2019). Potentiel de séquestration du carbone par les espaces verts aménagés urbains de la ville de Bobo-Dioulasso au Burkina Faso. *Journal of Applied Biosciences*, 144: 14739-4746. DOI: <https://doi.org/10.35759/JABs.144.2>
- [42]. Ngarnougber C., Ibrahima A, Saradoum G. et Ngaryo F T., (2016). Caractérisation des peuplements et la phytomasse du parc national de Manda dans la région du Moyen-Chari, Tchad. *Afrique SCIENCE* 12(6): 1 – 13
- [43]. Wanie I. S. (2020). Impact socio-économique et environnemental de l'exploitation de la végétation de Minawao dans le Département du Mayo-Tsanaga (Extrême-Nord, Cameroun). Thèse de Doctorat/Ph.D., Faculte des Sciences Université de N'Gaoundéré, 211p
- [44]. Amougou J A, Bembong Ebokona L D, Batha R A S, Mala A W, Ngono H (2016). Estimation du stock de carbone dans deux unités de terre en zone de savane du Cameroun *Revue de Géographie, d'Aménagement Régional et du Développement des Suds Regardsuds* 2 : 28–45. <https://regardsuds.org/1827-2>
- [45]. Ago E. E., (2016). Dynamique des flux de carbone entre l'atmosphère et des écosystèmes ouest-africains: cas des forêts et savanes sous climat soudanien au Bénin. Docteur en Sciences Agronomiques et Ingénierie Biologique. Université de Liège, Gembloux, Belgique, 184p

- [46]. Folega F., Kanda M., Konate D., Pereki H, Wala K., Atakpama W., Akuete A., Akpagana K., (2017). Foresterie urbaine et potentiel de séquestration du carbone atmosphérique dans la zone urbaine et peri-urbaine de Kpalimé (Togo). *Rev. Sc. Env.*, 14 (1): 7 – 28
- [47]. Herintsitohaina R. R., (2009). Potentialités de stockage des carbones dans le système plante-sol des plantations d'Eucalyptus des hautes terres Malgaches, 193p
- [48]. [Waya E., Akomian F. A., Tchoua P., Ibrahima A., 2024. Carbon stock estimates for plant formations in Manda National Park (MNP) in the Moyen-Chari Province of Chad. *Int. J. Adv. Res. Biol. Sci.* (2024). 11(5): 23-37. DOI: <http://dx.doi.org/10.22192/ijarbs.2024.11.05.004>
- [49]. Chave J, Mechain R M, Burkez A, Chidumayo E, Colgan S M, Delitti C B W Duque A, Eid T, Fearnside M P, Goodman C R, Henry M, Martinez-yrizar A, Mugasha A W, Muller-landau C H, Mencuccini M, Nelson W B, Ngomanda A, Nogueira M E, Ortiz-Malavassi E, Pelissier R, Ploton P, Ryan M C, Saldarriaga G J, Vieilledent G (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees, *Global Change Biology* (2014) 20, doi:10.1111/gcb.12629, pp. 3177-319