



Original Paper

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

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

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

Wendsom Osée OUEDRAOGO^{1*}, Alain P. K. GOMGNIMBOU², Saïdou SANTI³,
Daniel ILBOUDO⁴ et Aboubacar TOGUYENI³

¹ Ecole Nationale des Eaux et Forêt (ENEF) du Burkina Faso.

² Centre National de la recherche Scientifique et Technologique/Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA), Station de Farako-bâ, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.

³ Institut de Développement Rural (IDR), Université Nazi Boni (UNB) de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.

⁴ Ministère de l'Environnement, de l'Economie Verte et du Changement Climatique (MEEVCC).

*Auteur correspondant ; E-mail : wendsomosee@yahoo.fr; Tél : +226 70 73 29 08.

RESUME

La dégradation forestière provoque la perte de carbone et contribue indirectement au changement climatique. Afin d'évaluer la contribution du massif forestier de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts (ENEF) à l'atténuation du changement climatique, une étude d'estimation du stock de carbone a été menée. Dans cette étude, la quantité de carbone ligneux a été estimée dans des placettes carrées de 900 m² pour la savane, 400 m² pour la plantation de Tectona (P Teck) et 2500 m² en zone agroforestière (Z Agf). L'équation de type polynomial et le modèle allométrique ont été utilisés pour l'évaluation du stock de carbone. Dans la savane, le carbone stocké dans la biomasse épigée s'élève à 17,66 ± 22,05 tC/ha et celui de la biomasse hypogée ainsi que de la végétation herbacée ont été respectivement de 2,28 ± 2,41 tC/ha et de 1,39 ± 0,61 tC/ha. Au niveau de la plantation de teck et de la zone agroforestière, les quantités de carbone contenues dans la biomasse aérienne ligneuse ont été respectivement de 54,38 ± 12,04 tC/ha et 2,50 ± 3,28 tC/ha contre 7,09 ± 1,40 tC/ha et 0,35 ± 0,42 tC/ha dans les racines. Cette étude contribue à la compréhension de l'apport de la savane, de la plantation et du système agroforestier ; à la séquestration du carbone. Des actions de renforcement du potentiel ligneux de cet écosystème s'imposent pour minimiser la dégradation de ce site à long terme et afin qu'il soit une source durable de séquestration du carbone. .

© 2019 International Formulae Group. All rights reserved

Mots clés : Biomasse, stock de carbone, changement climatique, savane, zone soudanienne, Burkina Faso.

ABSTRACT

Forests degradation causes carbon loss and contributes indirectly to climate change. In order to estimate the contribution of the forest of ENEF (called Ecole Nationale des Eaux et Forêts) forest in the mitigation of climate change, a work based on carbon stock in the forest was implemented. In this study, the quantity of ligneous carbon was estimated in some squares of 900 m² for the savannah, 400 m² for the Tectona plantation (P Teck) and 2500 m² for the agroforestry area (Z Agf). The equation polynomial and the allometric standard were used to evaluate carbon storage. In savannah, the carbon stocked in above ground biomass was 17.66 ± 22.05 tC/ha. The contribution roots and herbaceous is respectively 2.28 ± 2.41 tC/ha and 1.39 ± 0.61 tC/ha. In

teak plantation and agroforestry land, the carbon stocked in AGB was respectively 54.38 ± 12.04 tC/ha and 2.50 ± 3.28 tC/ha. Concerning the roots, it is respectively 7.09 ± 1.40 tC/ha and 0.35 ± 0.42 tC/ha.

The actions to strengthen the wood potential of this ecosystem are needed to minimize the degradation of this site in the long term and to be a source of carbon sequestration.

© 2019 International Formulae Group. All rights reserved

Keywords : Biomass, carbon storage, climate change, savannah, soudanian zone, Burkina Faso.

INTRODUCTION

La dégradation du couvert végétal, par le biais des phénomènes anthropiques ou naturels, conduit à la libération de carbone dans l'atmosphère supérieure à la quantité utilisée par la végétation lors de la photosynthèse (Brown, 2002). A l'inverse, lorsque les écosystèmes forestiers sont bien gérés, ils constituent des puits de carbone. Pour Locatelli et Loisel (2002), le stockage de l'excédent de CO₂ dans les puits est une des grandes approches de limitation des gaz à effet de serre (GES) envisagées. Elle s'ajoute à l'option de réduction de la source principale qui est la combustion de l'énergie fossile. En effet, les écosystèmes terrestres jouent un rôle essentiel dans le bilan global de carbone en réabsorbant près de 30% du CO₂ anthropique total émis (GIEC, 2013). Il est ainsi nécessaire de développer des stratégies qui fassent de la forêt, un lieu de stockage de carbone plutôt qu'une source de carbone (Dimobe, 2017). Pour ce faire, le mécanisme de Réduction des Emissions issues de la Déforestation et de la Dégradation des forêts (REDD) fut introduit en 2005 à la onzième Conférence des Parties (COP11) tenue à Montréal et révisé à la COP13 tenue à Bali en 2007. On assista ainsi au passage de REDD à la REDD+, qui vise à réduire les émissions liées à la déforestation et la dégradation des forêts et engage désormais les actions qui contribuent à augmenter les stocks de carbone forestier dans les pays en développement (Angelsen et al., 2013). Dès lors, l'estimation de la biomasse forestière et des volumes de carbone qui lui sont associés, devient très capitale avec l'expression de nouvelles fonctions assignées aux écosystèmes forestiers, comme celle de l'immobilisation de carbone aux fins d'atténuation du changement climatique (Bontemps et al., 2012). A ce titre, 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 (Seeberg-Elverfeldt, 2010). L'émergence du mécanisme de REDD+ dans le marché carbone a conduit à une demande des informations crédibles, accessibles et actualisées sur les stocks de carbone, souligne Brown (2002).

La perspective de protection de la biodiversité et l'accroissement du potentiel de séquestration de carbone des ressources forestières sont au cœur des politiques environnementales de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts (ENEf). C'est une politique qui est en adéquation avec sa vision de faire de l'institution une structure de formation de référence dans le domaine des thématiques émergentes. Cette école de formation des agents du ministère en charge de l'environnement du Burkina Faso dispose d'un site d'une superficie d'environ 115 ha ouvert aux usages pédagogiques. Jusqu'à présent, peu d'études ont abordé la thématique de la biomasse et les quantités de carbone du site de l'ENEf. Aussi, ce site fait l'objet de coupe abusive du bois et d'exploitation agricole qui contribuent au déstockage du carbone. Les gestionnaires du massif forestier ambitionnent pourtant d'y mener une gestion durable et d'en faire un champ école en matière de stockage de carbone. Cette gestion nécessite la connaissance de son état scientifique et des services qu'il procure. A ce titre, cette étude s'est avérée indispensable, pour contribuer à l'appropriation des quantités de carbone séquestré et ainsi mettre en relief le rôle et l'importance environnementale du site d'étude. Plus spécifiquement, notre étude visait à évaluer la biomasse vivante (épigée et hypogée) afin d'en déduire la quantité de carbone séquestré.

Pour conduire à bien notre étude, l'hypothèse émise est que la contribution du site de l'ENEF à l'atténuation du changement climatique est faible à cause de sa dégradation.

MATERIEL ET METHODES

Site de l'étude

La présente étude d'évaluation de la biomasse et du stock de carbone a été menée dans la forêt classée de Dindéresso (FCD). La FCD est située à l'Ouest du Burkina Faso dans la province du Houet (région des Hauts-Bassins) et au Nord-Ouest de la ville de Bobo-Dioulasso (Figure 1). Elle est comprise entre 4°18'46'' et 4°26'40'' de longitude Ouest, et entre 11°11'05'' et 11°18'10'' de latitude Nord. La FCD est limitée au Sud par l'axe routier Bobo-Nasso-Dindéresso et au Nord par la route de Banakélédaga-frontière du Mali (Bahiré, 2016). Conformément à l'arrêté n°3006/SE du 26 aout 1941, sa superficie est passée de 1500 ha à 8500 hectares de nos jours. Plus précisément, l'étude a été conduite dans la formation forestière de l'ENEF d'une superficie d'environ 115,7 hectares et fait partie intégrante de la FCD. Le site est limité à l'Est par le Kou, au Nord par la route menant à Bana et à l'Ouest par un pare-feu (Figure 1).

Echantillonnage

Dans le but d'atteindre les objectifs fixés, trois strates trois zones forestières ont été identifiées suivant les critères de stratification de Brown et Pearson (2005) à savoir le mode d'occupation du sol et les unités forestières.

- **la zone de savane (Z Sav).** Dans cette strate, une prédominance de peuplements naturels, de petits diamètres constitués de *Vitellaria paradoxa*, *Terminalia laxiflora*, de *T. avicennioides*, de *Acacia dudgeoni*, de *Lannea velutinum* a été observée avec quelques îlots de plantations de *T. grandis*. Sa densité est relativement faible ($228,74 \pm 134,17$ tiges/ha) ;
- **la zone de plantation artificielle (P Teck).** Dans cette strate, est une formation quasi-monospécifique et dominée par des individus de gros

diamètres. L'importance de la densité du peuplement de Teck ($871,43 \pm 321,27$ tiges/ha) et la quasi-absence du tapis herbacé la différencie des autres zones ;

- **la zone agroforestière (Z Agf) :** il s'agit de terres agroforestières qui associent les cultures à la végétation arborée principalement d'*Elaeis guineensis* (58,78%) de *Tectona grandis* et de *Ceiba pentandra*. Dans cette zone, les cultures de *Zea mays* (maïs), *Arachis hypogea* (arachide), *Oryza sativa* (riz), *Abelmoschus esculentus* (gombo), *Musa sp* (bananier) ont remplacé la flore herbacée savanicole. Sa densité est très faible ($20,31 \pm 16,27$ tiges/ha).

Le dispositif d'inventaire et d'évaluation de la biomasse des herbacées a été les points quadrats alignés de Daget & Poissonnet (1971) Les placettes de type carré ont été adoptées conformément aux recommandations de l'atelier de Niamey (2008) sur l'harmonisation des dispositifs d'inventaire en Afrique de l'Ouest. Ainsi soixante-quinze (75) placettes de 30m×30m ont été utilisées au niveau du milieu savanicole contre vingt-six (26) placettes 50m×50m dans les systèmes agroforestiers. Dans la teckeraie, sept (7) placettes de 20m×20m, ont été employées.

Méthode d'estimation de la biomasse herbacée

La méthode utilisée est celle de la récolte intégrale (photo 1), employée par d'autres auteurs au Burkina Faso (Santi, 2011; Yé et al., 2016). Elle consiste à poser des carrés de 1 m² et à couper au plus bas possible tout le contenu en herbacé en prenant la précaution de ne pas déraciner l'herbe (Saidou et al., 2010). Pour quantifier la biomasse herbacée, un échantillon de 37 placettes disposées de manière aléatoire sur le site a été retenu. Trois carrés (quadrat métallique de 1 m × 1 m) ont été posés dans chacune des 37 placettes circulaires de 10 m de rayon en effectuant trois jets au hasard. Toute la végétation herbacée délimitée dans le quadrat métallique a été récoltée à l'aide d'une faucille au stade de production maximale de biomasse herbacée (12 au 15 octobre). Le contenu des trois carrés de la placette a été

mélangé manuellement et un échantillon composite a été prélevé pour l'évaluation de la biomasse sèche après séchage. Le poids de l'échantillon, une fois déterminé au champ (PHE), il est emballé dans un sac pour être convoyé au lieu de séchage. Les échantillons (au nombre de 37) ainsi obtenus sont séchés à l'air libre jusqu'à l'obtention d'un poids sec constant (PSE). La biomasse a été évaluée par les équations suivantes (Valentini, 2007)

- La détermination de la matière sèche est faite par l'équation (1):

$$MS = (PSE / PHE) \times 100 \quad (1)$$

avec MS = pourcentage de matière sèche (%); PSE = poids sec de l'échantillon (g) et PHE = poids humide de l'échantillon au champ (g)

- La biomasse herbacée (B) est calculée selon l'équation (2):

$$B = (PHT \times MS) / 100 \quad (2)$$

avec PHT = Poids Humide Total au champ, MS (%) = matière sèche.

Enfin, la biomasse moyenne (BM) par placette est obtenue par la formule (3):

$$BM = B/3 \quad (3)$$

Estimation de la biomasse ligneuse

Pour l'estimation de la biomasse ligneuse, la méthode non destructrice basée sur des tables de régression a été adoptée. Cette évaluation prend en compte la biomasse aérienne (AGB : *Above Ground Biomass*), celle souterraine (BGB : *Below Ground Biomass*). Quatre modèles d'équations allométriques ont été testés :

- le modèle polynomial établi par Mbow (2009) en zone de savanes soudaniennes et soudano-guinéennes au Sénégal. D'après son auteur, sur les neuf (09) qu'il a testés, celui de type polynomial figure parmi les meilleurs modèles. Ce modèle est donné par l'équation (4) :

$$AGB = 0,0225 \times DBH^3 - 0,5167 \times DBH^2 + 13,613 \times DBH - 58,18 \quad (4)$$

DBH = diamètre à hauteur de poitrine.

- le modèle développé en zone soudanienne et soudano-guinéenne au Sénégal par Mbow et al., (2013). Il a été établi sur la base d'un échantillon de 101 individus (arbres) comportant les caractéristiques suivantes : $5 \text{ cm} \leq DHP \leq 41,5 \text{ cm}$ et $2,5 \text{ m} \leq H \leq 15,6 \text{ m}$. Cette table de régression (5) est applicable à

notre zone d'étude située en zone de savane soudanienne dont les caractéristiques climatiques similaires. Elle s'écrit :

$$AGB = 1,929 \times DBH + 0,116 \times DBH^2 + 0,013 \times DBH^3 \quad (5)$$

- les équations de Brown (1997) encore appelée FAO (1997)

Brown (1997) a proposé des régressions statistiques construites à partir de 371 arbres dont le DBH varie entre 5 - 148 cm et relevant de trois zones tropicales. Elles sont qualifiées d'équation de la FAO (1997). Ces modèles ont précédemment été exploités par Peltier et al. (2007) ainsi que Saïdou et al. (2012) dans des zones climatiques dont la pluviosité annuelle oscille entre 900 et 1200 mm. Du point de vue régime climatique, ces sites sont assimilables à notre zone d'étude. Pour ce faire, les équations suivantes de Brown (1997) ont participé au test comparatif des modèles allométriques dans le cadre de notre étude (Tableau 1):

Pour l'estimation de la biomasse aérienne des palmiers, l'équation (6) proposée par Brown (1997) a été retenue ; elle s'écrit :

$$AGB = 10,0 + 6,4 \times H \text{ totale (m)} \quad (6)$$

Avec $R^2 = 0,96$ et H totale = hauteur totale.

Pour l'évaluation de la séquestration du carbone dans la partie hypogée, l'équation établie par Cairns et al. (1997) a été retenue. Cette équation a été utilisée avec succès par Saïdou et al. (2012). Par ailleurs, ce modèle de régression est largement utilisé en zones tropicales soulignent McGhee et al. (2016). Elle s'écrit :

$$BGB = \exp [-1,0587 + 0,8836 \times \ln (AGB)] \quad (7);$$

BGB = biomasse racinaire et AGB = biomasse aérienne et ln = logarithme népérien.

Estimation du stock de carbone et son équivalent

La biomasse totale estimée à partir des différentes équations est convertie en stock de carbone en la multipliant par une fraction de carbone. De nombreuses études ont montré que la teneur en carbone bois varie entre 0,47 et 0,51 ; par convention on utilise 0,5 d'après (Mille & Louppe, 2015). Ainsi, la biomasse totale (herbacée et ligneuse) a été convertie en quantité carbone en la multipliant par 0,5 en

conformité avec les recommandations de GIEC (2003) ainsi qu'avec l'approche méthodologique utilisée par Saïdou et al. (2012).

Le stock de carbone total (tonne/ha) de la forêt a été obtenu en additionnant le stock moyen de carbone des trois entités végétales (savane, plantation de *Tectona Teck* et système agroforestier). Celui de chaque strate a été préalablement évalué en faisant une extrapolation à partir du stock moyen calculé à partir de l'ensemble des placettes de la

strate faisant la somme de stock moyen de l'ensemble de ses placettes.

L'estimation de l'équivalent carbone, le CO₂ atmosphérique, de la forêt s'est effectué en multipliant le volume de carbone par 3,67 suivant la méthode utilisée par Tsoumou et al. (2016) donnée dans l'équation 8 :

Le stock équivalent (Téq) = stock carbone × 3,67 (8).

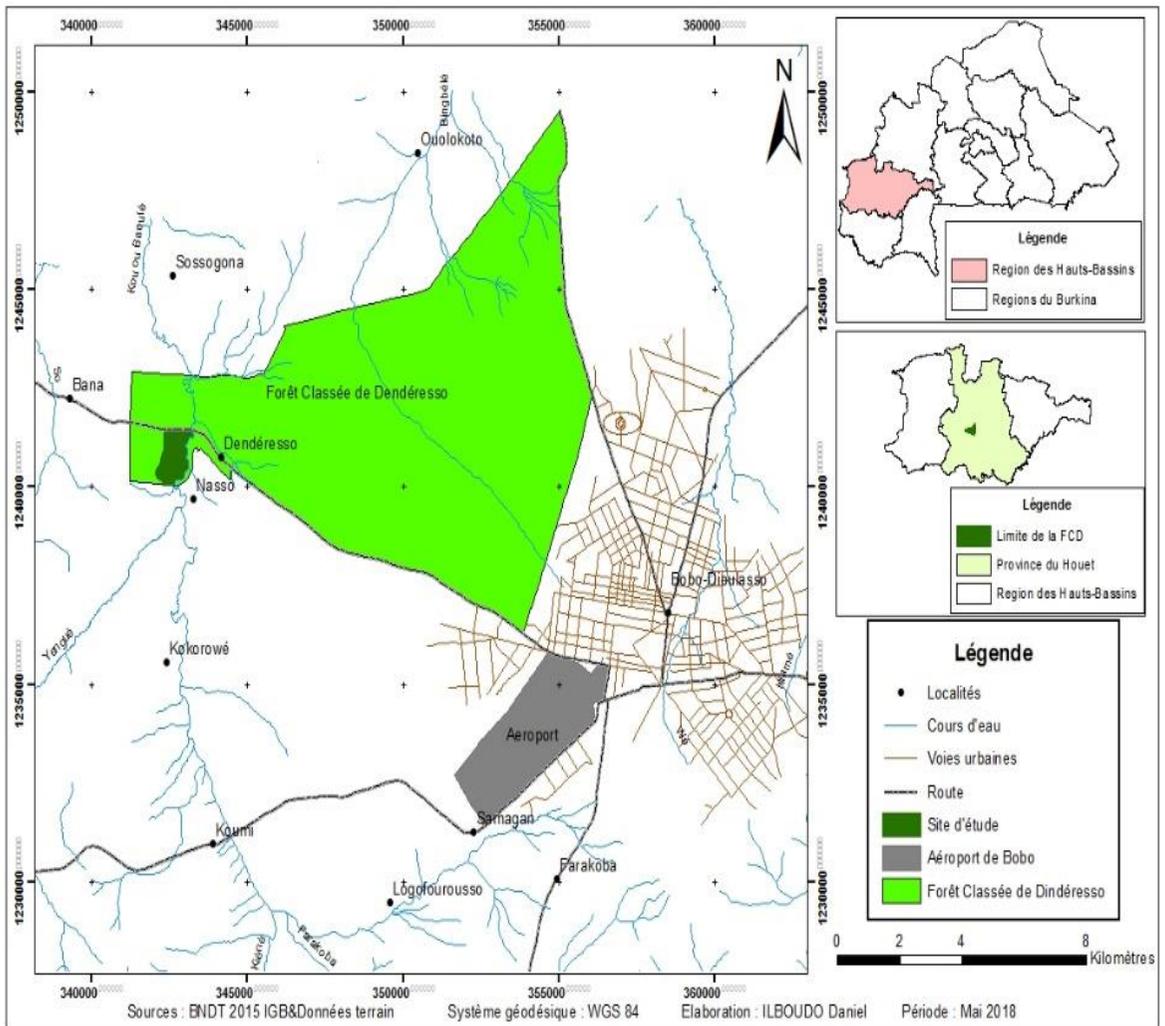


Figure 1 : Carte de localisation du site d'étude.

Tableau 1 : Equations de Brown (1997) considérées dans l'étude comparative

Equation allométrique	Formule	Domaine de validité (DHP en cm)	R ²
FAO1	$Y = \text{expo} [-1,996+2,32\ln(D)]$	5 - 40	0,89
FAO4	$Y = 21,297 - 6,953(D) + 0,740(D^2)$	4 - 112	0,92

Y = biomasse (kg), D = DBH (cm), ln = logarithme népérien



Carré de biomasse



Peson de 2kg ± 10g

Photo 1 : Récolte intégrale de la végétation herbacée. (Photo Ilboudo D., 2017).

Photo 2 : Pesée des échantillons au champ. (Photo Ilboudo D., 2017).

RESULTATS

Estimation de la biomasse et du stock de carbone

La biomasse herbacée, la biomasse aérienne ligneuse (AGB) et racinaire (BGB) de même que leurs quantités de carbone correspondant, sont présentées dans le Tableau 2.

L'analyse du tableau 2 montre que la capacité de production de biomasse et de stockage du carbone varie en fonction du type de végétation. Pour ce qui est de la biomasse aérienne ligneuse, le classement suivant par type de végétation peut être établi : AGB de la plantation de Teck > à l'AGB du milieu savanicole > à l'AGB de la partie agro forestière. Cela est confirmé par l'analyse statistique à partir du test Kruskal-Wallis qui montre que les valeurs AGB des trois types de formation végétales sont significativement différentes au seuil de 5% ($p\text{-value} = 2,63e^{-11}$)

Les valeurs très élevées des écarts types (figure 2) pourraient être dus à une forte variabilité de la répartition des ligneux dans le

milieu savanicole de même qu'au niveau du système agroforestier.

Estimation du potentiel de séquestration de carbone

Les quantités de carbone stocké (tC/ha), l'équivalent carbone (tCO₂) et les quantités de CO₂ séquestré par strate sont donnés dans le Tableau 3.

L'analyse du tableau 3 indique que le massif forestier de l'ENEF aurait séquestré le carbone atmosphérique (CO₂) total à hauteur de 7 144,11 tonnes. La savane à contribuer à hauteur de 87,49%, la plantation pour 7,61% et la contribution du système agroforestier est estimée à 4,90%.

Le test de Kruskal Wallis au seuil de 5% a montré des différences significatives du potentiel de séquestration du carbone dans les 3 strates ($p\text{-value} = 1,35e^{-11}$). Le plus important potentiel de séquestration du carbone atmosphérique à l'hectare se trouve dans la plantation de *Tectona* (P Teck) et il est significativement différent de la partie savane ($p\text{-value} = 0,00029$) et du système

agroforestier (p-value = $14,04 \cdot 10^{-7}$). Le milieu savanicole accumule également plus de carbone atmosphérique en comparaison à la zone agroforestière et cette différence est statistiquement significative (p-value = $2,7 \cdot 10^{-10}$). La figure 3 montre clairement qu'il existe une différence significative entre les quantités de carbone atmosphérique de la savane (Z Sav), la plantation artificielle de Teck (P Teck) et le système agroforestier (Z Agf). Ces résultats confirment que le stock en équivalent carbone (à l'hectare) des trois types de végétation suit le classement (Figure 3) ci-après: P Teck > Z Sav > Z Agf.

L'estimation de la capacité de séquestration du carbone du système agroforestier reste partielle. Il est important de noter que la végétation herbacée de la zone cultivée, essentiellement constituée des cultures, n'a pas fait l'objet d'estimation de biomasse et de carbone dans la présente étude.

Les 7 144,11tonnes de carbone atmosphérique qu'aurait séquestré le massif forestier de l'ENEF ne concerne que la biomasse vivante (biomasse herbacée, biomasse ligneuse aérienne et souterraine). L'étude n'a pas pris en compte les autres réservoirs de carbone à savoir la litière, le sol, le bois mort.

Tableau 2 : Estimation de la biomasse moyenne et du stock de carbone par type de végétation.

Type de végétation	Type de biomasse	Biomasse (tMS/ha)	Stock de carbone (tC/ha)
Zone savane	AGB	35,33 ± 44,09	17,66 ± 22,05
	Biomasse herbacée	2,78 ± 1,23	1,39 ± 0,61
	BGB	4,55 ± 4,82	2,28 ± 2,41
Plantation Tectona	AGB	108,77 ± 24,07	54,38 ± 12,04
	BGB	14,19 ± 2,80	7,09 ± 1,40
Zone agroforestière	AGB	5,00 ± 6,57	2,50 ± 3,28
	BGB	0,70 ± 0,84	0,35 ± 0,42

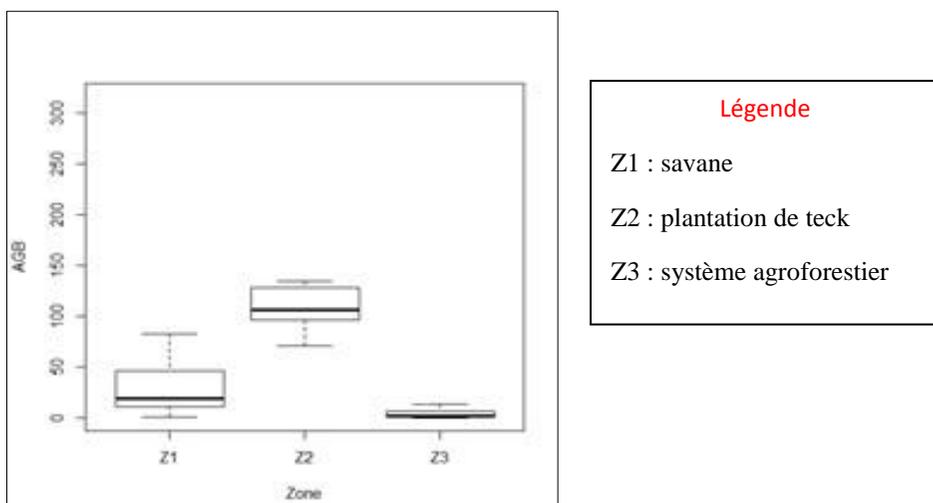


Figure 2 : Dispersion de la biomasse moyenne épigée en fonction des strates.

Tableau 3 : Estimation de potentiel de séquestration de carbone atmosphérique.

Type de végétation	Superficie (ha)	Stock de carbone total (tC/ha)	Equivalent carbone (tCO ₂ /ha)	Carbone séquestré (tCO ₂)	total
Zone savane	79,85	21,33	78,28	6 250,66	
Plantation Tectona	2,41	61,47	225,59	543,67	
Zone agroforestière	33,44	2,85	10,46	349,78	
Total	115,7			7 144,11	

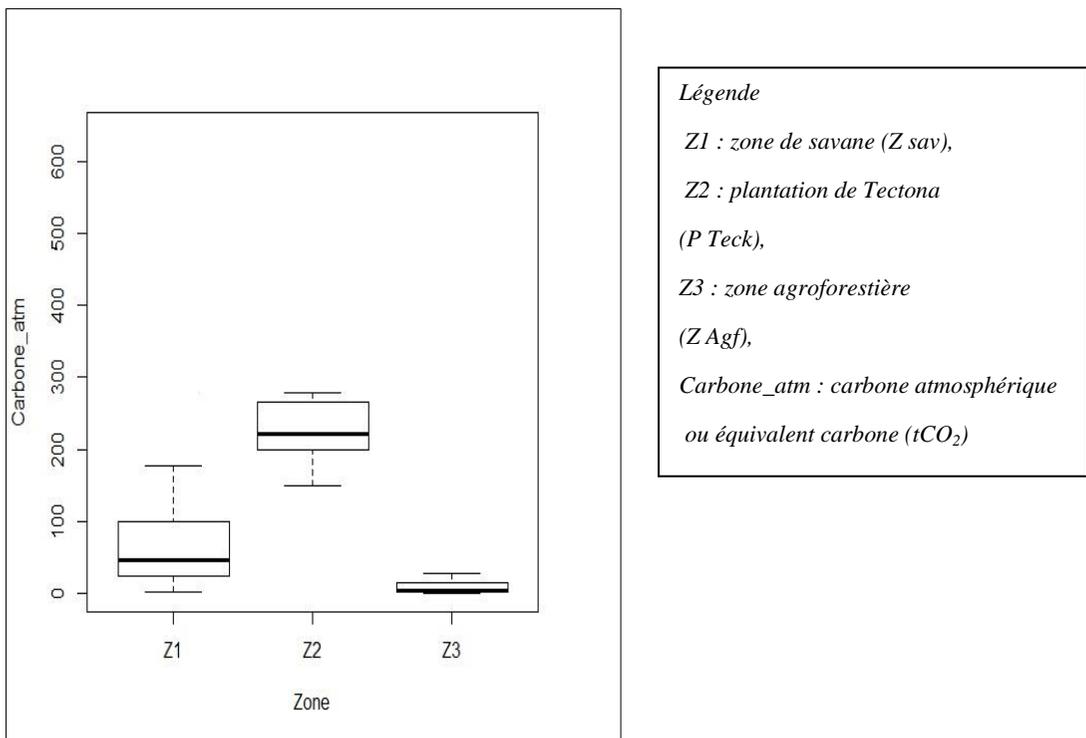


Figure 3 : Dispersion des stocks moyens d'équivalent carbone dans les trois zones.

DISCUSSION

La quantité totale de biomasse (122,96 tMS/ha) et de carbone (61,47 tC/ha) est importante dans la plantation de *Tectona* et pourrait s'expliquer par l'abondance des sujets de gros diamètres. En effet, la forte contribution de ces sujets aux stocks totaux de biomasse est un fait établi par d'autres études (Joosten *et al.*, 2004 ; Mbow, 2009). Il convient de signaler que parmi les trois types

de végétation étudiés, la-dite plantation présente une abondance de tiges de gros diamètre (DBH ≥10 cm = 63,94%), ce qui la différencie des autres peuplements forestiers. Mille et Louppe (2015) estiment d'ailleurs que l'estimation de la biomasse d'un peuplement forestier se limite à celle des arbres de DBH ≥10 cm. De même, sa quantité élevée des arbres (871,43 ± 321,27 tiges/ha), un des paramètres clés dont dépendent les

stocks de carbone (Amougou et al., 2016), expliquerait cette importance des quantités de carbone.

Néanmoins, la valeur de stock de carbone (61,47 tC/ha) est largement moins importante aux 120,2 tC/ha trouvées par Kraenzel et al. (2003) dans 4 plantations de Teck de 20 ans au Panama. Ces différences sont dues aux conditions pluviométriques du Panama (2300 – 3000 mm d'eau annuelle) et à la méthodologie d'estimation de la fraction carbone qui est de 0,5 selon la méthodologie que nous avons utilisée. Kraenzel et al. (2003), par contre, ont déterminé le taux de carbone dans les différents tissus des arbres par la méthode directe et elle varie de 45,2% à 50,4%. Cependant, nos résultats (122,96 tMS/ha ; 61,47 tC/ha) sont largement supérieures au 38,33 tMS/ha et 20,08 tC/ha obtenues par Odiwe et al. (2012) dans une plantation de *Tectona grandis* au Nigéria. Cette différence serait liée à l'âge de ce peuplement qui est de 10 ans alors que le peuplement de teck étudié aurait au moins 30 ans car les travaux de réalisation des plantations de *T. grandis*, d'*Aradichta indica* et de *Gmelina arborea* se sont déroulés dans la FCD entre 1939 et 1988 (Bahiré, 2016).

La valeur de la biomasse et de carbone dans la savane est faible du fait de la prédominance des ligneux de petits diamètres. Aussi, l'exploitation forestière vise le plus souvent de gros sujets ; réduisant ainsi radicalement les stocks de biomasse au fil des années (Mbow, 2009). De même, la partie savanicole (Z sav.) du site d'étude est caractérisée par l'importance de son tapis herbacé et un relatif faible potentiel ligneux (228,74 ± 134,17 pieds/hectare). Or, comme l'ont rapporté d'autres auteurs (Valentini, 2007 ; Saïdou et al., 2012), la flore herbacée a une faible contribution au volume de carbone total. C'est pourquoi, Brown & Pearson (2005) estiment que l'évaluation des stocks de carbone devrait se limiter aux ligneux.

Dans la savane, Cette valeur moyenne de biomasse reste relativement faible par rapport à celle d'autres savanes. Cette différence est attribuable à la composition floristique en rapport avec les conditions du

sol et à la structure des groupements herbacés comme l'ont dit Yoka et al. (2013).

Le potentiel de séquestration de carbone de la flore herbacée est de $1,39 \pm 0,61 \text{tC ha}^{-1}$. Cette valeur est moins importante par rapport au stock de carbone herbacé de 3,15 tC/ha enregistrée par Ibrahima & Abib Fanta (2008) en zone de savane arbustive de la région Ngaoundéré au Cameroun. En revanche, elle est plus importante aux quantités de carbone herbacé de 0,16 tC/ha observée par ces auteurs dans la savane arborée de la même zone. Cette différence pourrait se justifier par la densité des ligneux qui est plus important en savane arborée (3967 individus/ha) par rapport à la savane arbustive (2933 individus/ha). La quantité de stock de carbone de la flore herbacée observée est contenue dans l'intervalle de 1,16 et 1,95 tC/ha obtenu par Dona et al. (2016) au Tchad.

Au niveau de la strate ligneuse de la savane, la biomasse aérienne (AGB) et racinaire ligneuse (BGB) est respectivement de $35,33 \pm 44,09$ et $4,55 \pm 4,82 \text{tMS ha}^{-1}$ pour un stock carbone correspondant de $17,66 \pm 22,05$ et $2,28 \pm 2,41 \text{tC ha}^{-1}$. Ces valeurs faibles, pourraient s'expliquer d'une par la structure démographique ligneuse. Les individus de petits diamètres majoritaires (66,43%), représentent toutefois une faible fraction de la biomasse épigée selon Mille et Louppe (2015). D'autres paramètres tels que la quantité des arbres évoqués par Amougou et al. (2016) expliqueraient les faibles quantités de carbone de la savane.

Les quantités de biomasse aérienne et de carbone aérien correspondant corroborent néanmoins avec les valeurs de biomasse et de carbone obtenues par Tankoano (2014) dans la forêt classée de Tiogo (FCT). Cependant, les quantités de stock de carbone ligneux aérien de notre site est supérieure aux celles des formations de savane du Ranch de gibier du Nazinga (et celles de la réserve de Bontioli) selon les résultats des travaux de Qasim et al. (2016). Cette différence se justifie principalement par la densité des arbres qui oscille entre 11,25 et 160 pieds d'arbres/ha dans le Ranch de Nazinga et de 16,25 à 145 tiges/ha au niveau de la réserve de

Bontioli. Nos résultats de (carbone ligneux aérien) et de (carbone racinaire) se rapprochent également de ceux obtenus par Dona et al. (2016) dans la région orientale du Tchad où le stock de carbone ligneux aérien et racinaire varie respectivement de 11,78 à 15,24 et de 0,27 à 0,33 tC/ha. Ils sont aussi en adéquation avec les estimations faites par Mbow (2009) dans les savanes soudanaises et soudano-guinéennes des forêts classées de Bala, Kantora, Mampaye, Ouli, Patako et Welor au Sénégal. En effet, dans ces forêts, les quantités de biomasse ligneuse sur pied évaluées avec le modèle allométrique de type polynomial varient de 7,9 à 102,2 tMS/ha et celles de stocks de carbone équivalentes de 3,93 à 50,89 tC/ha. Cependant, nos résultats sur les quantités de carbone totales de la végétation ligneuse (19,94 tC/ha) sont largement inférieurs à celles des savanes soudano-guinéennes de Ngaoundéré au Cameroun comprises entre 81,48 et 118,36 tC/ha selon les résultats de travaux de Ibrahim et Abib Fanta (2008). Ces différences seraient liées aux conditions climatiques. En effet, les savanes de Ngaoundéré sont situées entre les forêts tropicales humides du sud et les savanes sèches du nord Cameroun et présentent les caractéristiques climatiques semblables à celles des savanes humides selon Ibrahim & Abib Fanta (2008). Or, la capacité de stockage du carbone est plus élevée dans les forêts humides comparativement à celles dites sèches mentionne Ciesla (1997).

Conformément aux observations de Monssou et al. (2016), les quantités de biomasse et de carbone enregistrées dans le système agroforestier sont très faibles du fait de son caractère herbeux (notamment les cultures), donc moins riche en espèces arborescentes. Ceci pourrait s'expliquer aussi par le fait que les stocks de carbones dépendent de plusieurs paramètres tels que la quantité des arbres selon Amougou et al. (2016). Les ligneux, dans cet espace, en effet, sont perturbés par le feu à chaque opération de nettoyage des champs. Concernant la quantité des arbres, elle est très faible et la densité est seulement de l'ordre de $20,31 \pm 16,27$

pieds/ha. Les exploitants, en vue de limiter la concurrence pour la lumière, indispensable l'activité de photosynthèse des cultures, abattent certains arbres. Ce qui a eu pour impact direct une réduction du potentiel ligneux et par la même occasion une baisse de la biomasse et du stock de carbone. Aussi, cet agrosystème est dominé par l'espèce *E. guineensis* (58,78%). Cependant, selon Mille et Louppe (2015), les palmiers ne forment qu'une faible fraction de la biomasse épigée.

Les résultats du système agroforestier, sont largement inférieurs à l'intervalle 10 – 60 tC/ha contenues dans la biomasse aérienne vivante des systèmes agroforestiers à cacaoyers au Costa-Risca selon les résultats des travaux Valentini (2007). L'importance de la quantité des arbres de cet agrosystème, plantés, pourrait justifier cette différence. Aussi, nos résultats restent largement inférieurs au stock de carbone contenue la partie aérienne ligneuse et vivante des systèmes agroforestiers à karité et à néré en zone soudanienne du Bénin qui est de $20,17 \pm 4,19$ tC/ha selon les résultats des travaux de Saïdou et al. (2012). Ces différences s'expliquent par le fait que la densité des arbres de karité est élevée au Bénin par rapport à notre système agroforestier. Ils sont également moins importants à ceux obtenus par Peltier et al. (2007) qui ont trouvé un stock de carbone de 5,046 tC/ha dans la biomasse aérienne d'un parc à karité du Nord-Cameroun. Par contre, nos résultats (2,85 tC/ha) se rapprochent des 2,40 tC/ha du parc agroforestier à *Cordyla pinnata* dans le Sud du Bassin Arachidier (Sénégal) présentés par Diatta et al. (2016).

Conclusion

L'étude avait pour objectif d'estimer la biomasse afin d'en déduire les stocks de carbone du massif forestier de l'ENEF. Il s'est agi d'estimer les stocks de carbone épigé et racinaire et enfin, d'estimer les quantités de carbone atmosphérique séquestrées. La plus forte moyenne de biomasse à l'hectare, le plus haut carbone moyen ainsi que le plus important équivalent carbone ont été enregistrés dans la plantation de *Tectona*

grandis. Ces différences sont par ailleurs significatives. Globalement le site aurait séquestré environ 7 144,11 tonnes d'équivalent carbone. Ceci confirme donc notre hypothèse. Les résultats de cette étude qui contribuent à la compréhension de l'apport de chaque strate à la séquestration du carbone, ont montré que les plantations ont un potentiel de séquestration plus important par rapport aux peuplements forestiers de type savanicole ainsi qu'aux systèmes agroforestiers. Nos résultats peuvent servir de bases de référence pour les futurs paiements possibles des services écosystémiques.

CONFLIT D'INTERETS

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

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

Tous les auteurs ont suffisamment contribué à la réalisation de ce travail et à la rédaction du manuscrit.

REFERENCES

- Amougou JA, Bembong Ebokona LD, Batha RAS, Mala AW, Ngonho 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>
- André AD, Ngor N, Alla M, Bienvenu S, Cheikh SF, Lamine D, Cheikh M. 2016. Composition floristique et dynamique du parc agroforestier à *Cordyla pinnata* (Lepr. ex A. Rich.) Milne-Redh. dans le Sud du Bassin Arachidier (Sénégal). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **10**(4): 1805-1822. DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v10i4.29>
- Angelsen A, Brockhaus M, Sunderlin WD, Verchot LV. 2013. *Analyse de la REDD + : les Enjeux et les Choix*. CIFOR: Bogor, Indonésie; 488p.
- Bahiré FXW. 2016. Étude diachronique des changements du couvert végétal dans les écosystèmes forestiers par télédétection spatiale et par suivi au sol : « Cas de la forêt classée de Dindéresso » Burkina Faso. Mémoire d'Inspecteur des Eaux et Forêts, ENEF/Dindéresso, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 76p.
- Bontemps JD, Longuetaud F, Franceschini T, Charru M, Constant T. 2012. L'estimation de la biomasse et de la productivité forestières à l'épreuve des changements environnementaux. *Innovations Agronomiques*, **18**:39–52.
- Brown S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forest: A Primer. Forest Resources Assessment Publication; Forestry Paper 134, FAO, 55p.
- Brown S. 2002. Measuring carbon in forests: current status and future challenges. *Environmental Pollution*, **116**(3): 363–372. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00212-3](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00212-3)
- 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*, 39p.
- Cairns AM, Helmer HEBS, Baumgardner AG. 1997. Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia*, **111**: 1–11. DOI: <https://doi.org/10.1007/s004420050201>
- Daget P, Poissonet J. 1971. Une méthode d'analyse phytosociologique des prairies. *Annales Agronomiques*, **22**(1): 5–41. DOI: <https://agritrop.cirad.fr/537178/>
- Dimobe K. 2017. Dynamique, séquestration de carbone et modèles de variations des savanes soudanaises 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, Burkina Faso, 179 p.
- Dona A, Mapongmetsem PM, Dongock ND, Pamboudem NA, Fawa G, Aoudou D. 2016. Phytodiversity and carbon stock in Sudanian savannahs zone of Tandjile-

- East of Chad. *International Journal of Applied Research*, **2**(9): 455–460.
- FAO. 2002. Evaluation des ressources forestières mondiales 2000, rapport principal. Etude FAO: Forêts (140), Rome, Italie, 466 p. + annexes.
- GIEC. 2003. Recommandations du GIEC en matière de bonnes pratiques pour le secteur de l'utilisation des terres, changements d'affectation des terres et foresterie. IGES, Kanagawa, Japon, 25p.
- GIEC. 2013. Résumé à l'intention des décideurs, changements climatiques 2013: *Les Eléments Scientifiques. Contribution du Groupe de travail I au cinquième Rapport d'Evaluation du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat*. Cambridge University Press: Cambridge, Royaume-Uni et New York, États-Unis d'Amérique; 204 p.
- Ibrahima A, Fanta CA. 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. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/cajeb.v4i1.37970>
- Joosten R, Schumacher J, Wirth C, Schulte A. 2004. Evaluating tree carbon predictions for beech (*Fagus sylvatica* L.) in Western Germany. *Forest Ecology and Management*, **189** (1-3): 87–96. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2003.07.037>
- Kessler JJ, Breman H. 1991. The Potential of Agroforestry to Increase Primary Production in the Sahelian and Sudanian Zones of West Africa. *Agroforestry Systems*, **13**(1): 41–62. DOI: <https://link.springer.com/article/10.1007%2FBF00129618>
- Kraenzel M, Castillo A, Moore T, Potrin C. 2003. Carbon storage of harvest-age teak (*Tectona grandis*). *Forest Ecology and Management*, **173** (1-3): 213–225. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00002-6](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00002-6)
- Locatelli B, Loisel C. 2002. Changement climatique : la vérité est-elle au fond du puits ? Une analyse des controverses sur les puits de carbone. *Natures Sciences Sociétés*, **10**(4): 7–19. DOI: <https://doi.org/10.1051/nss/20021004007>
- Mbow C. 2009. Potentiel et dynamique des stocks de carbone des savanes soudaniennes et soudano-guinéennes du Sénégal. Thèse de Doctorat d'Etat ès Sciences. Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD), Dakar, Sénégal, 291p.
- McGhee W, Saigle W, Padonou EA, Lykke AM. 2016. Méthodes de calcul de la biomasse et du carbone des arbres en Afrique de l'Ouest. *Annales des Sciences Agronomiques*, **20**: 79–98. DOI: <https://www.academia.edu/25487957/M%C3%>
- Mille G, Louppe D. 2015. *Mémento du Forestier Tropical*. Editions QUÆ. Versailles, France; 1200p.
- Monssou EO, Vroh BTA, Goné BZB, Adou YCY, N'Guessan KE. 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*, **2**(6): 168–184. DOI: 10.19044/esj.2016.v12n6p168
- Odiwe AI, Adewumi RA, Alimi AA, Olugbenga OO. 2012. Carbon stock in topsoil, standing floor litter and above ground biomass in *Tectona grandis* plantation 10-years after establishment in Ile-Ife, Southwestern Nigeria. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **6**(6): 3006–3016. DOI: 10.4314/ijbcs.v6i6.3
- Peltier R, Forkong NC, Ntoupka N, Manlay R, Henry M, Morillon V. 2007. Evaluation du stock de carbone et de la productivité en bois d'un parc à karités du Nord Cameroun. *Bois et Forêts des Tropiques*. <cirad-00189696>, **294**(4): 39–50. DOI: <https://doi.org/10.19182/bft2007.294.a20332>
- Saïdou A, Dossa AFE, Gnanglè PC, Balogoun I, 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. http://www.slire.net/download/1737/article_1_brab_n-sp_cial_agric_for_t_2012
- Saidou O, Douma S, Djibo AZ, Fortina R. 2010. Analyse du peuplement herbacée de la station sahélienne expérimentale de Toukounous (Niger): composition floristique et valeur pastorale. *Sécheresse*, **21**(2): 154 – 60. DOI : 10.1684/sec.2010.0243
- Santi S. 2011. Feu, pâture, climat et paramètres structurels et fonctionnels des écosystèmes savanicoles. Mémoire d'Ingénieur du Développement Rural, Option: Eaux et Forêts. IDR/UPB, Bobo, Burkina Faso, 124p.
- 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. + annexes.
- Tankoano B. 2014. Contribution de la télédétection et des SIG à l'aménagement et à la gestion durable des aires protégées du Burkina Faso: Cas de la forêt classée de Tiogo (Région du Centre-Ouest). Mémoire de Master de Recherche en Télédétection et Système d'Information Géographique, Spécialité : Télédétection, Botanique et Foresterie. Université Félix Houphouët Boigny d'Abidjan-Cocody, 66p.
- Tsoumou BR, Lumandé KJ, Kampé JP, Nzila JD. 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 & Environnement du Bassin du Congo*, **6**: 39–45. DOI: 10.5281/zenodo.48399
- Valentini SG. 2007. Evaluation de la séquestration du carbone dans des plantations agroforestières et des jachères issues d'une agriculture migratoire dans les territoires autochtones de Talamanca, au Costa-Rica. Mémoire présenté pour l'obtention du Grade de Maître ès Sciences (M.Sc.), Option: Biologie Végétale. Faculté des Sciences de l'agriculture et de l'alimentation, Université Laval, Québec, Canada, 88p.
- Yé L, Lata JC, Nacro HB, Barot S. 2016. Effets de pâturage sur la biomasse herbacée et sur des paramètres chimiques et biologiques des sols dans une savane arbustive au Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **10**(6): 2539 – 2554. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v10i6.11>
- Yoka J, Loumeto JJ, Vouidibio J, Epron D. 2013. Productivité herbacée des savanes de la Cuvette congolaise (Congo-Brazzaville). *Afrique SCIENCE*, **09**(1): 89–101. DOI: <https://www.ajol.info/index.php/afsci/article/view/112035>
- Youl S. 2005. Dynamique et modélisation de la dynamique du carbone dans un agrosystème de savane de l'ouest du Burkina Faso. Thèse de Doctorat Unique. IDR/UPB, Bobo, Burkina Faso, 144p. + annexes.