

Structure et potentiel de séquestration de carbone des formations boisées du Plateau Akposso en zone sub-humide au Togo

Bimare KOMBATE*, Marra DOURMA, Fousseni FOLEGA, Agbéléssisi Yao WOEGAN, Kpérkouma WALA et Koffi AKPAGANA

Laboratoire de Botanique et Ecologie Végétale, Département de Botanique, Faculté des Sciences, Université de Lomé, OIBP 1515 Lomé 1, Lomé, Togo

* Correspondance, courriel : parfaitbimare@yahoo.fr

Résumé

Cette étude porte sur la structure et le potentiel de séquestration de carbone des formations boisées du Plateau Akposso en zone sub-humide au Togo. La méthodologie utilisée a consisté à l'installation de 41 placettes d'inventaire forestier de 50 m x 20 m chacune à l'intérieur desquelles les individus ligneux dont le DBH ≥ 10 cm ont été mesurés. Les données dendrométriques collectées ont permis d'élaborer la structure des formations boisées par la méthode de Weibull, d'estimer la biomasse et les stocks de carbone à l'aide des équations allométriques de Chave (2005). La structure en classes de diamètre révèle que ces formations boisées sont dominées par des tiges d'arbres jeunes avec une forte tendance à la régénération. Bien que la dynamique de reconstitution est soutenue, ces formations boisées sont le siège permanent des activités anthropiques comme l'exploitation artisanale anarchique de bois à diverses fins, l'exploitation au fin agricole, les feux de végétation, les parcours de bétail, etc., qui impacte négativement sur leur potentiel de séquestration. Le Plateau Akposso séquestre une quantité de carbone non négligeable estimée à 35,47 t C / Ha. Les Agroforêts stockent plus de carbone (16,39 t C / Ha) que les autres formations ligneuses. Dans le cadre du processus REDD+, il est indispensable de promouvoir la pratique agroforestière, les projets forestiers de reboisement pour maintenir les puits de carbone afin de limiter les émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère et produire des données pour faciliter l'accès du Togo au marché carbone.

Mots-clés : *structure, biomasse, stock de carbone, Plateau Akposso, Togo.*

Abstract

Structure and carbon sequestration potential of woodlands on Akposso Plateau in Sub-humid areas of Togo

The study investigates the structure and carbon sequestration potential of the Akposso Plateau woodlands located in the sub-humid climatic zone of Togo. The methodology used consisted of the design of 41 forest inventory plots of 50 m x 20 m each. For a given plot both of woody individuals with a DBH ≥ 10 cm were sampled by the physical measurement of the diameter, and height. The stand structure data was employed to elaborate the structure of the plant formations follow the Weibull method, to estimate the biomass and the carbon stocks using Chave allometric equations (2005). The structure in diameter classes of vegetation reveals that these woody formations are dominated by young trees with a strong tendency to regeneration. Although

the dynamics of recovery are sustained, the woody formations of the Akposso Plateau undergo a strong anthropogenic pressure such as uncontrolled artisanal logging, agricultural exploitation, wildland fires, cattle route which negatively impacts on their sequestration potential. The Akposso Plateau sequesters a significant amount of carbon estimated at 35.47 tC / Ha. Agroforests store more carbon (16.39 tC / Ha) than other woody formations. As part of the REDD + process, it is sine qua non to promote agroforestry, forest reforestation projects to maintain carbon sinks in order to mitigate greenhouse gas emissions in atmosphere and also provide update available database to facilitate Togo's access to the carbon market.

Keywords : *structure, biomass, carbon stock, Plateau Akposso, Togo.*

1. Introduction

Les caractéristiques structurales, la diversité floristique et la dynamique des peuplements boisés et des forêts à l'échelle du globe terrestre sont constamment modifiées et remaniées par diverses activités d'origine anthropique (exploitation de bois, agriculture, surcharge de pâturages, etc.). La situation est d'autant plus accentuée et récurrente par l'effet des changements climatiques et des changements globaux de ces dernières décennies [1]. La forte dégradation des forêts et la déforestation engendrée entraînent un changement d'affectation des sols et une réduction du couvert végétal. La perte de la couverture végétale constitue une des causes de la perte de la biodiversité et est à l'origine de la réduction du potentiel de séquestration de carbone des forêts avec pour corolaire le réchauffement de la planète [2]. Au Togo, les formations végétales connaissent elles aussi une dégradation poussée de leur composante ligneuse, qui constitue la source d'approvisionnement en bois-énergie, en bois de service et en bois d'œuvre pour les populations locales [3]. Le fort taux de croissance démographique, la pression de l'agriculture par la recherche de terres fertiles et les besoins en bois énergie des populations rurales et urbaines ont exacerbé la déforestation sur le Plateau Akposso rendant les écosystèmes forestiers du milieu très fragiles. Cette situation a pour conséquence la perte de la biodiversité, l'augmentation du réchauffement suite à l'augmentation des gaz à effet de serre [4, 5]. Le Plateau Akposso conserve encore pour le pays les dernières reliques de forêts denses semi-décidues. La forte croissance démographique couplée des aléas climatiques a accentué la réduction drastique du couvert forestier, puits considérable des stocks de carbone.

Les formations végétales accumulent la biomasse ligneuse suivant sa composition floristique et sa structure [4, 6, 8]. Par conséquent, les perturbations écologiques d'ordre anthropique impactent négativement sur la structure des formations ligneuses et sur leurs potentiels de séquestration du carbone [4, 7]. Actuellement, les connaissances sur la structure et le stock de carbone des reliques forestières du Plateau Akposso après la conversion des forêts denses semi-décidues en zone agricole sont peu connues sur le plan scientifique. Or dans le cadre des programmes et stratégies en lien avec les émissions de carbone au Togo et dans la sous-région ouest-africaine, il s'avère important de prendre en compte les services écosystémiques qu'offrent ces reliques forestières surtout leur contribution en séquestration de carbone (l'un des services écosystémiques les plus mis en avant par les organismes internationaux). Ainsi, ces données viennent compléter les études précédentes relatives à la dynamique environnementale, les variations de la biodiversité et les facteurs de dégradation du couvert végétal du plateau Akposso [9, 10] en déterminant la structure des formations forestières du plateau Akposso et en estimant sa biomasse et son potentiel de séquestration du carbone. L'objectif de l'étude vise à (i) déterminer la structure de la végétation du Plateau Akposso et (ii) estimer la biomasse et le potentiel de séquestration du carbone des formations ligneuses du Plateau Akposso.

2. Matériel et méthodes

2-1. Présentation du milieu d'étude

Le Plateau Akposso surplombe la partie méridionale de la chaîne de l'Atakora qui prend le Togo en écharpe dans la direction sud-ouest nord-est. Elle se situe dans la zone forestière sub-humide ou zone écologique IV [11] entre 7°20'' et 7°35'' de latitude Nord et 0°40'' et 0°60'' de longitude Est (**Figure 1**). La végétation climacique de la forêt sub-humide est fragmentée et remplacée par les agroforêts à café-cacao, les savanes guinéennes et les mosaïques de culture-jachères [12]. La zone est irriguée par les rivières Wawa (se jetant dans la Volta), Amou et Amoutchou. La zone jouit d'un climat subéquatorial à régime bimodal. Les précipitations annuelles oscillent entre 1300 et 1600 mm [13]. La température annuelle moyenne est de 26°C. La population vit des revenus de l'agriculture, principalement les cultures vivrières (maïs, manioc, riz, fonio, igname) et de rentes sous couvert arboré (caféier, cacao, palmier à huile, bananier, avocatier, etc.).

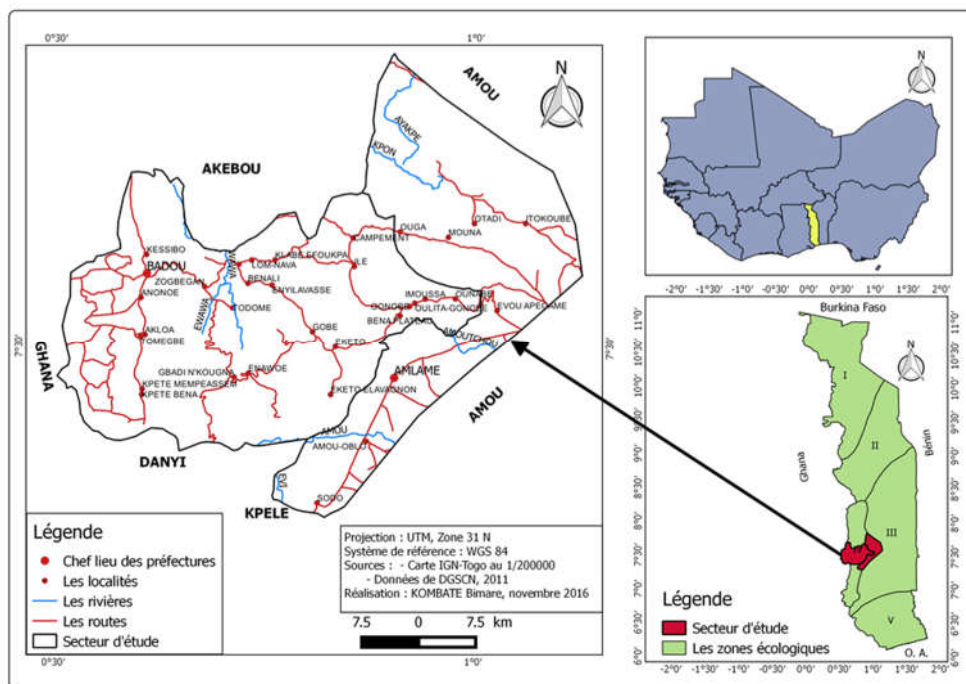


Figure 1 : Localisation du Plateau Akposso et situation au Togo et en Afrique de l'Ouest

2-2. Méthode de collecte de données

Sur un fond de carte de la zone d'étude, un quadrillage en mailles carrées de 100 x 100 m est réalisé. Chaque carré est divisé en placettes d'inventaire de 50 m x 20 m pour l'inventaire forestier conformément aux travaux de [14]. A partir d'un échantillon de 41 placettes, les espèces d'arbres de diamètre supérieur ou égal à 10 cm à 1,3 m du sol sont dénombrées et notées en présence. Les mesures de diamètre, de hauteur totale et du fût sont relevées, les tiges de diamètre inférieur à 10 cm étant rangée parmi les régénérations potentielles [15]. Un clinomètre a été utilisé pour déterminer les azimuts, et vérifier l'orthogonalité des angles et le degré d'inclinaison de la placette. Les hauteurs des espèces ligneuses ont été mesurées avec le clinomètre et le diamètre à l'aide d'un mètre ruban. Les coordonnées géographiques des placettes ont été enregistrées au GPS (Global Positioning System) Garmin de précision 5 mètres. La nomenclature des espèces, des genres et des familles est basée sur celle de [16, 17].

2-3. Traitement de données

Les données collectées sont saisies dans le tableur Microsoft Excel[®]2013. Le biovolume, la distribution des tiges par classes de hauteur et de diamètre sont ajustés suivant les trois (3) paramètres de distribution de Weibull [18] du logiciel Minitab, qui se fonde sur la fonction de densité de probabilité de Rondeux [19]. La biomasse aérienne (BA) est calculée suivant les équations allométriques classiques applicables à la zone d'étude [20]. Le calcul de la biomasse souterraine s'est fondé sur la relation de [21]. Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel Minitab 16[®]. La classification hiérarchique ascendante des relevés est faite à l'aide du logiciel Community Analysis Package (CAP[®]). Les variables structurales sont calculées suivant les **Formules** :

- densité (D) :
$$D = \frac{N_i}{S_i} \times 0,0001 \quad (1)$$

- diamètre moyen (Dm) :
$$Dm = \frac{\sum di}{N_i} \quad (2)$$

- surface terrière (G) :
$$G = \sum \frac{Ci^2}{4\pi} \quad (3)$$

- volume (V) :
$$V = \sum \left(\frac{Ci^2}{4\pi} \times Hi \right) \quad (4)$$

avec, N_i = nombre d'individus du groupe i , S_i = surface du groupe i , di = diamètre de l'individu i , Ci = circonférence de l'individu i et Hi = la hauteur de l'individu i .

Les histogrammes de distribution ont été établis par classe de diamètre de 10 cm et par classe de hauteur de 2 m pour rendre compte de la structure démographique des peuplements ligneux sur la base de la densité de probabilité.

- densité de probabilité :
$$f(x) = \frac{c}{b} \cdot \left(\frac{x-a}{b} \right)^{c-1} \cdot e^{-\left(\frac{x-a}{b} \right)^c} \quad (5)$$

avec, x = diamètre des arbres ; a = paramètre de position (nul si toutes les catégories d'arbres sont considérées et non nul si les arbres considérés ont un diamètre ou une hauteur supérieur ou égal à a ; b est le paramètre d'échelle ou de taille ; il est lié à la valeur centrale des diamètres ou des hauteurs des arbres du peuplement considéré et C = est le paramètre de forme lié à la structure en diamètre ou hauteur considérée.

- Biomasse aérienne (BA) :
$$BA = e^{(-2,187+0,916 \ln(\rho HD^2))} \quad (6)$$

où, D = diamètre à hauteur de poitrine (m) ; ρ = densité spécifique du bois (t/m^3 séché à $103^\circ C$) ; H = hauteur totale de l'arbre (m).

- biomasse souterraine :
$$BS = e^{(-1,0587+0,8836 \times \ln(BA))} \quad (7)$$

La biomasse totale de chaque arbre (BT) est la somme de sa biomasse aérienne et de sa biomasse souterraine. D'où :

- biomasse totale :
$$BT = BA + BS \quad (8)$$

- stock de carbone (SC) :
$$SC = BT \times CF \quad (9)$$

avec, $CF = 0,47$ = ratio de carbone par défaut de toutes espèces confondues [22].

3. Résultats

La classification hiérarchique ascendante des 41 relevés obtenue suivant la méthode de Ward a permis de discriminer trois groupes végétaux au seuil de 6 % suivant leur similarité floristique, qui correspondent aux différentes formations végétales identifiées sur le terrain. Il s'agit de : les agroforêts (G1), les forêts denses semi-décidues et galeries forestières (G2), les savanes arborées et arbustives (G3) (Figure 2).

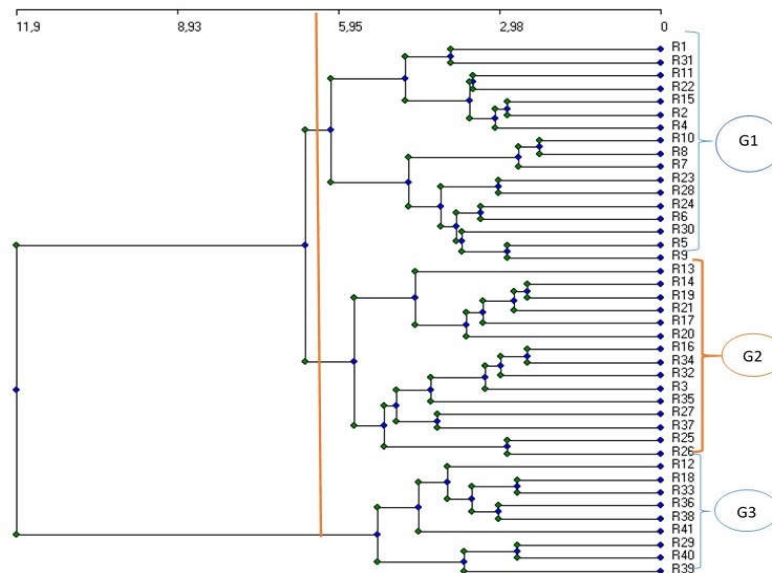


Figure 2 : Dendrogramme de distribution des relevés suivant la méthode de Ward sur la base de leur similarité floristique

- *Agroforêts (G1)*

Elles se rencontrent sur les bas-versants, les mi-versants et généralement sur les berges des cours d'eau avec un taux de recouvrement atteignant 75 %. Sur le plan floristique, la strate supérieure est caractérisée par les espèces d'arbre comme : *Albizia adianthifolia*, *Albizia zygia*, *Khaya grandifoliola*, *Antiaris africana*, *Elaeis guineensis*, *Albizia zygia*, *Ceibapentadra*, *Cola gigantea*, *Milcia excelsa*, *Parkia filicoidea*, *Alstonia boonei*, *Cola nitida* et *Persea americana*.

- *Forêts denses semi-décidues et galeries forestières (G2)*

Elles s'installent sur les bas-versants et les dépressions où les conditions pédoclimatiques sont plus favorables avec un taux de recouvrement dépassant 70 %. Les espèces généralement rencontrées sont *Albizia zygia*, *Albizia adianthifolia*, *Sterculia tragacantha*, *Alchornea cordifolia*, *Cola gigantea*, *Khaya grandifoliola*, *Lonchocarpus cyanescens*, *Aubrevillea kerstingii*, *Macaranga barteri*, *Anogeissus leiocarpa*, *Markhamia tomentosa*, *Antiaris africana* et *Milicia excelsa*.

- *Savanes arborées et arbustives (G3)*

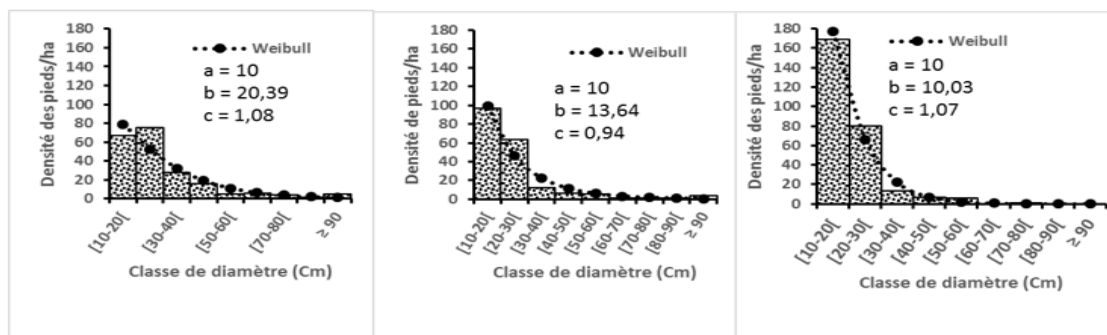
Elles se localisent sur les mi-versants et sommets avec un taux de recouvrement inférieur à 25 %. Les espèces d'arbres de la strate supérieure sont entre autre : *Lophira lanceolata*, *Pterocarpus erinaceus*, *Hymenocardia acida*, *Crossopteryx febrifuga*, *Terminalia glaucescens*, *Daniellia oliveri*, *Syzygium guineense*, *Bridelia ferruginea*, *Parkia biglobosa*, *Cussonia arborea*, *Lannea barteri*, *Hannoa undulata*, *Terminalia laxiflora*, *Sterculia setigera*, *Ficus sur* et *Loudezia simplex*.

Les fortes densités d'arbres soit 276 pieds / Ha sont obtenues au niveau du groupe G3 suivi du groupe G1 (208 pieds / Ha) et du groupe G2 (191 pieds / Ha). En effet, cette variable permet d'évaluer l'impact anthropique dans chaque groupe. Les groupes G1 et G2 ont les plus gros diamètres moyens estimés respectivement à 29,72 cm et 23,93 cm. Quant au groupe G3, le diamètre moyen est estimé à 19,66 cm. La hauteur moyenne maximale est obtenue dans les groupes G1 (15,35 m) et G2 (14,09 m) traduisant que ces formations sont constituées de grands arbres par rapport au groupe G3 constitué des savanes où elle est estimée à 7,78 m. En termes de productivité, les Agroforêts (G1) sont plus productives en témoigne les valeurs calculées pour la surface terrière estimée à 21,28 m² / Ha et le biovolume calculé estimé à 428,68 m³ / Ha. Les forêts denses semi-décidues et galeries forestières (G2) ont une surface terrière calculée estimée à 13,38 m² / Ha avec un biovolume de 285,57 m³ / Ha et les savanes arborées et arbustives (G3) ont 10,46 m² / Ha avec un biovolume 105,66 m³ / Ha; et et (**Tableau 1**).

Tableau 1 : Caractéristiques structurales des formations boisées étudiées

Formations boisées	Densité (D, pieds / Ha)	Diamètre moyen (Dm, cm)	Hauteur moyenne (Hm, m)	Surface terrière (G, m ² / Ha)	Biovolume (V, m ³ / Ha)
Agroforêts (G1)	208	29,72	15,35	21,28	428,68
Forêts denses semi-décidues et galeries forestières (G2)	191	23,97	14,09	13,38	285,57
Savanes arborées et arbustives (G3)	276	19,66	7,78	10,46	105,65

La distribution des tiges par classe de diamètre montre une allure en « J renversée » pour les trois groupes discriminés. Le coefficient de forme de distribution des classes de diamètre dans le groupe G2 est de 0,94 ($c < 1$). Ceci traduit une forte représentativité des jeunes individus de classe de diamètre [10 - 20[et un faible effectif de vieux individus (**Figure 3b**). Le coefficient de forme de distribution des classes de diamètre dans le groupement G1 et le groupe G3 est compris entre 1 et 3,6 avec une grande représentativité des individus de diamètres [20 - 30[pour le groupe G1 (**Figure 3a**) et de diamètre [10 - 20[pour le groupe G3 (**Figure 3c**). Ceci traduit une forte représentativité des jeunes individus de classe de diamètre [10 - 20[, des individus moyens de classe de diamètre de [20 - 30[et un faible effectif d'individus de gros diamètre. La forte proportion des individus de petit diamètre signifie que ces groupes présentent un fort taux de régénération qui constitue un indicateur d'une possible reconstitution de la végétation. La présence de quelques tiges d'arbres de gros diamètre indique que ces groupes sont perturbés par l'action anthropique telle que la coupe de bois.



(a) Agroforêts G1

(b) Forêts denses semi-décidues et galeries forestières (G2)

(c) Savanes arborées et arbustives (G3)

Figure 3 : Structures en diamètre des arbres des formations végétales du Plateau Akosso

La valeur du coefficient de forme c de la distribution de Weibull de la structure en hauteur de l'ensemble des ligneux est comprise entre 1 et 3,6 au niveau des trois (03) groupes de végétaux identifiés. Cette valeur ($1,88 < c < 2,51$) indique une distribution asymétrique positive (droite) avec une prédominance des individus de faibles hauteurs (**Figure 4**). Les classes de hauteur les plus représentées dans les groupes G1 et G2 sont respectivement [12 - 14[et [14 - 16[(**Figure 4a**), et de [10 - 12[et [14 - 16[(**Figure 4b**). La classe de hauteur la plus représentée dans le groupe G3 est [6 - 8[.

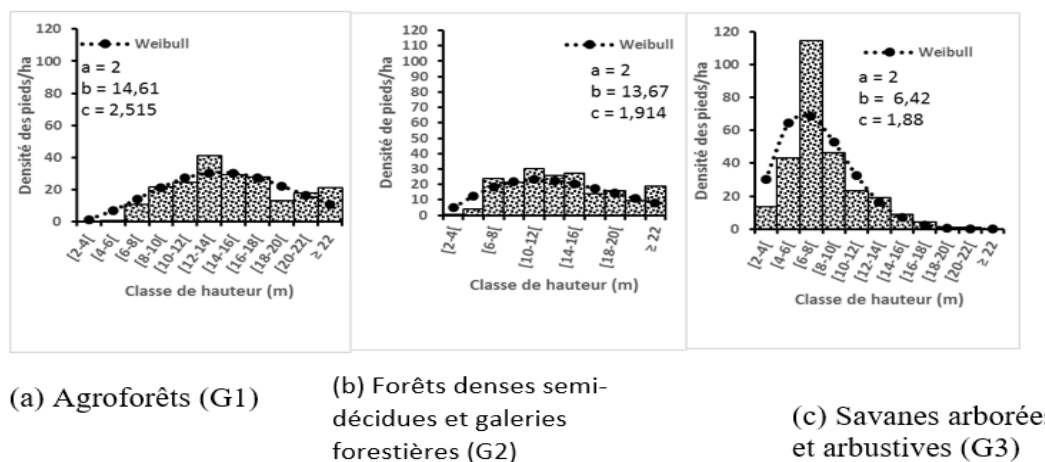


Figure 4 : Structures des hauteurs des arbres des formations végétales du Plateau Akposso

La biomasse est estimée à 75,46 T sur l'ensemble des 4,1 Ha inventoriés. Sa distribution est 34,87 T / Ha pour les Agroforêts, 26,90 T / Ha pour les forêts denses semi-décidues / galeries forestières et 13,69 T / Ha pour les savanes arborées / arbustives. La biomasse aérienne a été estimée à 53,36 T / Ha et la biomasse souterraine à 22,10 T / Ha. Le stock total de carbone a été estimé à 35,47 T / Ha sur l'ensemble des trois groupes. L'équivalent en CO₂ séquestré est de 130,06 T / Ha. La séquestration du stock de carbone est estimée à 16,39 t C / Ha pour les Agroforêts, 12,64 t C / Ha pour les forêts denses semi-décidues/galeries forestières et 6,44 t C / Ha pour les savanes arborées / arbustives (**Tableau 2**).

Tableau 2 : Biomasse et stock de carbone des formations végétales du Plateau Akposso

Formations boisées	Biomasse aérienne (BA, T / Ha)	Biomasse souterraine BS(T / Ha)	Biomasse totale (BT,T / Ha)	Stock de carbone (SC, T / Ha)	Equivalent carbone (EqC, T / Ha)
Agroforêts	24,93 ± 0,12	9,94 ± 0,04	34,87 ± 0,16	16,39 ± 0,08	60,15
Forêts denses semi-décidues / Galeries	19,20 ± 0,11	7,69 ± 0,03	26,90 ± 0,15	12,64 ± 0,07	46,39
Savanes arborées / arbustives	9,22 ± 0,05	4,47 ± 0,02	13,69 ± 0,07	6,44 ± 0,03	23,62

4. Discussion

4-1. Biomasse ligneuse et caractéristiques structurales

Sur le plateau Akposso, les caractéristiques de la biomasse ligneuse (densité, surface terrière et biovolume) varient d'une formation ligneuse à une autre ; un constat courant dans les paysages anthropisés à l'échelle nationale [23, 24]. Ces caractéristiques constituent un bon outil d'appréciation de la maturité d'une formation végétale. Sur le Plateau Akposso, elles se révèlent faibles dans les forêts denses semi-décidues, les galeries forestières et les savanes indiquant que ces différents types de formations sont jeunes et se renouvellent constamment. Elles subissent continuellement les feux de végétations, le surpâturage et le coupe du bois de chauffe. Ces pressions anthropiques sont renforcées par la forte croissance démographique couplée des mauvaises pratiques culturales. Ces différentes perturbations des écosystèmes tropicaux au Togo sont très connues et découlent de la volonté d'augmenter la productivité agricole dans ces paysages [8, 25]. Par contre, on observe un taux élevé de ces caractéristiques dans les Agroforêts montrant la présence de quelques individus ayant de gros diamètres et une taille importante. Ces gros individus sont conservés et épargnés soit pour pouvoir favoriser la culture de cacao et / ou du café ou soit pour l'exploitation du bois d'œuvre. Toutes ces pressions anthropiques influencent la structure démographique des différentes formations végétales présentes sur le Plateau Akposso. Sur le plan structural, les formations végétales du plateau Akposso présentent une distribution diamétrique en « J renversée » avec décroissance des individus. Cette structure montre que ces formations sont sujettes à de fortes pressions anthropiques et qu'elles disposent de plusieurs tiges d'avenir pour assurer sa reconstitution [26] si elles sont gérées de façon efficiente et durable. Ces résultats se rapprochent à ceux trouvés par [10, 27, 28] qui ont fait les mêmes constats. Le Plateau Akposso est une zone d'excellence pour la culture du café-cacao qui peut séquestrer une importante quantité de carbone émis dans l'atmosphère.

4-2. Potentiel de séquestration de carbone et déterminisme de la distribution dans les formations boisées du Plateau Akposso

Les stocks de biomasse et de carbone sont essentiels pour la mise en œuvre des stratégies d'atténuation des changements climatiques, et notamment le mécanisme de réduction des émissions dues à la déforestation et la dégradation (REDD+). Sur l'ensemble des espaces inventoriés sur le plateau Akposso, les estimations du stock total de carbone sont de 35,47 t C / Ha avec une quantité de biomasses totales de 75,46 T / Ha. Les résultats trouvés sont comparables à ceux de [26] qui a obtenu un stock de carbone estimé à 129 t C / Ha avec 275,37 T / Ha de biomasse totale dans la forêt modèle de Dimonika en République du Congo. La différence est à mettre à l'actif du statut de protection et de conservation de la forêt modèle de Dimonika qui est une réserve transfrontalière du Mayombe. La biomasse totale et le stock de carbone trouvés sont largement inférieurs à ceux des forêts tropicales humides de Guadeloupe et du Ghana [29, 30] avec 75,46 T / Ha contre respectivement en moyenne 377,09 T / Ha et 355 t C / Ha. En effet, le stockage de carbone est proportionnel à la quantité de la biomasse des arbres et plusieurs facteurs peuvent influencer son stockage. Les flux de carbone présentent une importante variabilité spatiale, principalement liée à la variabilité des conditions pédo-climatiques, des modes de gestion, des types de végétation et des formes d'usage des écosystèmes [31]. Divers facteurs influencent la variabilité de la biomasse des arbres. En forêt tropicale humide, la biomasse d'un arbre est principalement influencée par le diamètre du tronc, le diamètre de la couronne et la densité du bois [6]. La capacité d'une forêt à stocker le carbone dépend principalement des essences forestières qui la composent et des classes de diamètre des arbres [26] ; des facteurs du milieu et les facteurs propres aux arbres [32]. Parmi les facteurs du milieu susceptibles d'influencer le captage de carbone dans le Plateau Akposso, se trouveraient l'effet de la topographie, la distribution des plantes, les sols, l'histoire des perturbations et de la gestion des forêts, la zone écologique, le climat, la tolérance aux insectes et aux maladies, l'âge, la structure et le type d'occupation du sol. Certains de ces facteurs sont propres aux arbres susceptibles d'agir sur le stockage de carbone et même sur la stratégie de croissance [6, 24].

5. Conclusion

Les caractéristiques des formations végétales boisées du Plateau Akposso étudiées montrent que la structure diamétrique des groupes de végétaux identifiés reste dominée par les tiges de petites classes de diamètre, capable d'assurer sa reconstitution si des mesures idoines de mis en défens sont entreprises. Aussi, les formations boisées du Plateau Akposso séquestrent une quantité de carbone de 35,47 tC/Ha dont 71 % se trouvent accumulés dans la biomasse aérienne et 29 % dans la biomasse souterraine, les Agroforêts étant les plus grands contributeurs. Il s'avère sine qua non de promouvoir la pratique agroforestière, les projets forestiers de reboisement pour maintenir les puits de carbone afin de limiter les émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère et produire des données pour faciliter l'accès du Togo au marché carbone.

Remerciements

Les auteurs remercient l'IRD à travers son appui financier dans le cadre du Projet GEOFORAFRI.

Références

- [1] - C. MADELAINE-ANTIN, Dynamique des peuplements forestiers tropicaux hétérogènes: variabilité inter et intraspécifique de la croissance des arbres et trajectoires de développement en forêt dense humide sempervirente, dans les Ghâts occidentaux de l'Inde. Université Montpellier II-Sciences et Techniques du Languedoc, (2009)
- [2] - B. BASTIDE, S. J. OUÉDRAOGO, Feux précoces et production fruitière de *Detarium microcarpum* Guill. et Perr. en zone sud soudanienne du Burkina Faso. *Sécheresse*, 20 (4) (2009) 388 - 393
- [3] - M. DOURMA, K. BATAWILA, K. A. GUELLY, R. BELLEFONTAINE, B. D. FOUCAULT, K. AKPAGANA, Les forêts claires à *Isobertinia doka* Craib & Stapf et *I. tomentosa* (Harms) Craib & Stapf (Fabaceae) en zone soudanienne du Togo: écologie, régénération naturelle et activités humaines. *Acta Botanica Gallica*, 158 (1) (2011) 141 - 144
- [4] - IFO A. S., K. F., J. C., N. D., Stock and Flow of Carbon in Plant Woody Debris in Two Different Types of Natural Forests in Bateke Plateau, Central Africa. *Open Journal of Forestry*, 5 (2015) 38 - 47
- [5] - F. FOLEGA, Y. WOGAN, M. DOURMA, K. WALA, K. BATAWILA, J. SEBURANGA, C. ZHANG, D. PENG, X. ZHAO, K. AKPAGANA, Long term evaluation of green vegetation cover dynamic in the Atacora Mountain chain (Togo) and its relation to carbon sequestration in West Africa. *Journal of Mountain Science*, 12 (4) (2015) 921 - 934
- [6] - M. HENRY, *Carbon stocks and dynamics in Sub Saharan Africa*. Doctor of Philosophy, Paris Institute of Technology for Life, Food and Environmental Sciences (AgroParisTech) & The University of Tuscia, (2010)
- [7] - A. N. DJOMO, A. IBRAHIMA, J. SABOROWSKI, G. GRAVENHORST, Allometric equations for biomass estimations in Cameroon and pan moist tropical equations including biomass data from Africa. *Forest Ecology and Management*, 260 (10) (2010) 1873 - 1885
- [8] - F. FOLEGA, M. DOURMA, K. WALA, K. BATAWILA, C. ZHANG, X. ZHAO, K. AKPAGANA, Assessment and impact of anthropogenic disturbances in protected areas of northern Togo. *Forestry Studies in China*, 14 (3) (2012) 216 - 223
- [9] - A. KOUYA, Les changements environnementaux et l'appauvrissement de la biodiversité en milieu montagnard Akposso (sud-ouest du Togo). Thèse de Doctorat, Université de Lomé (Togo), (2009)
- [10] - D. K. KODA, *Caféiculture et conservation de la biodiversité sur le plateau-Akposso au Togo*. Master en gestion des ressources naturelles et biodiversité, Université d'Abomey-Calavi (Bénin), (2013)
- [11] - H. ERN, Die vegetation Togos. *Gefährdung. Willdnovia*, 9 (1979) 295 - 312

- [12] - K. ADJOSSOU, Diversité floristique des forêts riveraines de la zone écologique IV du Togo. *Mém. DEA biologie de développement, option biologie végétale appliquée, Univ. Lomé*, (2004) 75 p.
- [13] - T. C. ADDRA, A. K. FAHEM, T. DE JONG, T. MANK, *Atlas de développement régional du Togo*. Éditogo, (1989)
- [14] - A. THIOMBIANO, K. HAHN-HADJALI, A. KOULIBALY, B. SINSIN, , Méthodes de collecte de données de terrain pour l'évaluation et le suivi de la biodiversité, (2016) 1 - 38 p.
- [15] - M. DOURMA, K. BATAWILA, K. WALA, K. KOKOU, K. A. GUELLEY, R. BELLEFONTAINE, B. DE FOUCAULT, K. AKPAGANA, Régénération naturelle des peuplements à *Isoberlinia* spp. en zone soudanienne au Togo. *Acta Bot. Gal.*, 156 (3) (2009) 415 - 425, DOI : 10.1080/12538078.2009.10516167
- [16] - J. F. BRUNEL, P. HIEKPO, H. SCHOLZ, *La flore analytique du Togo : Phanérogames*. GTZ éd., Eschborn, (1984)
- [17] - A. AKOÉGNINO, W. J. VAN DER BURG, L. J. G. VAN DER MAESEN, V. ADJAKIDJÈ, J. P. ESSOU, B. SINSIN, H. YÉDOMONHAN, Flore analytique du Bénin. *Backhuys Publishers*, (2006)
- [18] - B. HUSCH, T. BEERS, J. KERSHAW, *Forest Mensuration*. London: 4th ed, Ronald Press Company, John Wiley & Sons, Inc, (2003)
- [19] - J. RONDEUX, *La mesure des arbres et des peuplements forestiers* : Les presses agronomiques de Gembloux, (1999)
- [20] - J. CHAVE, C. ANDALO, S. BROWN, M. CAIRNS, J. CHAMBERS, D. EAMUS, H. FÖLSTER, F. FROMARD, N. HIGUCHI, T. KIRA, Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145 (1) (2005) 87 - 99
- [21] - M. A. CAIRNS, S. BROWN, E. H. HELMER, G. A. BAUMGARDNER, Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia*, 111 (1) (1997) 1 - 11
- [22] - GIEC, Guide pour l'inventaire national des gaz à effet de serre agriculture, foresterie et autre usage des terres. *Institute for Global Environmental Strategies, Japon*, 4 (2006) 46 - 52
- [23] - F. FOLEGA, X. ZHAO, C. ZHANG, K. WALA, K. AKPAGANA, Ecological and numerical analyses of plant communities of the most conserved protected area in North-Togo. *International Journal of Biodiversity and Conservation*, 2 (11) (2010) 359 - 369
- [24] - F. FOLEGA, M. KANDA, D. KONATE, H. PEREKI, K. WALA, W. ATAKPAMA, A. AKUETE, K. AKPAGANA, Foresterie urbaine et potentiel de séquestration du carbone atmosphérique dans la zone urbaine et peri-urbaine de Kpalimé (Togo). *Rev. Sc. Env. Univ.*, Lomé (Togo), 14 (1) (2017) 7 - 28
- [25] - F. FOLEGA, M. DOURMA, K. WALA, K. BATAWILA, X. ZHAO, C. ZHANG, K. AKPAGANA, Basic overview of Riparian Forest in Sudanian Savanna ecosystem: case study of Togo. *Revue d'écologie*, (2014)
- [26] - B. TSOUMOU, K. LUMANDÉ, J. KAMPÉ, J. NZILA, 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 (2016) 39 - 45
- [27] - T. HOUNGÉDJI, K. ADJOSSOU, K. A. GUELLEY, Diversité, structure, Dynamique et fonctionnement des agroforêts de la zone écologique IV du Togo. *Journal de la Recherche Scientifique, Université de Lomé (Togo)*, (2012)
- [28] - K. ADJOSSOU, Diversité, structure et dynamique de la végétation dans les fragments de forêts humides du Togo : les enjeux pour la conservation de la biodiversité. Th. Doct., Univ. Lomé, Togo, (2009)
- [29] - W. DORVIL, Evaluation de la biomasse et des stocks de carbone sur des placettes forestières en forêts tropicales humides de guadeloupe. Master en Sciences et Technologies, Université des Antilles et de la Guyane, (2010)
- [30] - M. HENRY, N. PICARD, C. TROTTA, R. J. MANLAY, R. VALENTINI, M. BERNOUX, L. SAINT-ANDRÉ, *Estimating tree biomass of sub-Saharan African forests: a review of available allometric equations* : Finnish Society of Forest Science, (2011)
- [31] - E. E. AGO, Dynamique des flux de carbone entre l'atmosphère et des écosystèmes ouest-africains: cas des forêts et savanes sous climat soudanien au Bénin. Université de Liège, Gembloux, Belgique, (2016)
- [32] - D. SIMZA, *Foresterie urbaine et sa contribution dans la séquestration du carbone : cas de la ville de Lomé (Togo)*. DEA Mémoire de DEA, Université de Lomé, Togo, (2012)