

Potentiel Ligneux Et Capacite De Séquestration De Carbone De L'Espace Agroforestier De L'Arrondissement De Sonsoro, Benin

BAGUERIE Orou N'gobi Fabrice¹ and TOKO MOUHAMADOU Inoussa²

¹Laboratoire de Cartographie, (LaCarto), Université d'Abomey-Calavi (UAC), 10 BP 1082 Cotonou, Cadjèhoun, Bénin

²Chef du Département Photogrammétrie et Télédétection. Institut Régional Africain des Sciences et Technologies de l'Information Géospatiale (AFRIGIST). Campus Universitaire Obafemi Awolowo. PMB : 5545, Ilé-Ife, Etat d'Osun, Nigeria.



Résumé – L'étude quantitative et qualitative des systèmes agroforestiers qui garantissent de multiples services écosystémiques s'est toujours fait au moyen de techniques traditionnelles d'inventaire phytosociologique consommateur de ressources. L'espace agroforestier a été étudié dans l'arrondissement de Sonsoro au nord du Bénin à travers l'estimation du potentiel ligneux, de la caractérisation et de l'estimation du carbone séquestré. La classification OBIA d'image Google Earth de 2020 implémentée dans le logiciel Ecognition 9.0 a permis d'extraire la couronne des arbres isolés. L'utilisation des équations allométriques a permis de déterminer les paramètres dendrométriques des arbres isolés des systèmes agroforestiers de l'arrondissement. L'extraction de la couronne des arbres isolés des parcs agroforestiers a permis de dénombrer 226 303 arbres. L'abondance des individus de dbh comprise entre 21 cm et 40 cm (38,14 %), de hauteur totale comprise entre 5 m et 10 m a été révélée. 60,24% de la superficie totale du secteur a une densité inférieure à 6 arbres à l'hectare. La biomasse globale de la zone d'étude est 194 906 460 Kg (8 780,36 kg/ha) soit une séquestration correspondante de 94 919 446,02 kg (4 279,04 kg/ha). L'utilisation des images LIDAR pourrait approfondir les investigations pour des résultats plus probants.

Mots clés – Systèmes agroforestiers, arbre isolé, biomasse aérienne, télédétection, Sonsoro

Abstract – The quantitative and qualitative study of agroforestry systems that guarantee multiple ecosystem services has always been carried out using traditional resource-consuming phytosociological inventory techniques. The agroforestry area was studied in the district of Sonsoro in the north of Benin through the estimation of woody potential, characterization and estimation of the carbon sequestered. OBIA classification of 2020 Google Earth images implemented in Ecognition 9.0 software was used to extract the crowns of isolated trees. Allometric equations were used to determine the dendrometric parameters of isolated trees in the district's agroforestry systems. Extraction of the crowns of isolated trees in agroforestry parks revealed 226,303 trees. The abundance of individuals of dbh between 21 cm and 40 cm (38.14%), with a total height between 5 m and 10 m was revealed. 60.24% of the total area of the sector has a density of less than 6 trees per hectare. The overall biomass of the study area is 194,906,460 Kg (8,780.36 kg/ha), with a corresponding sequestration of 94,919,446.02 kg (4,279.04 kg/ha). The use of LIDAR images could deepen investigations for more conclusive results.

Keywords – Agroforestry systems, isolated trees, above-ground biomass, remote sensing, Sonsoro.

INTRODUCTION

Un paysage rural original de l'Afrique subsaharienne, les parcs agroforestiers constituent un mode d'utilisation des terres. C'est un système qui garantit de multiples services écosystémiques ([1], [2]). Ce type de paysage de gestion durable des ressources indigènes repose sur un fondement écologique qui se veut de garantir la biodiversité et précisément sa composante végétale ([3], [4]). Ressource ligneuse en dehors de la forêt, « les arbres hors forêt », sont admis aujourd'hui comme ayant un rôle important dans notre environnement grâce à leurs multiples fonctions : production de bois, préservation de la biodiversité, qualité

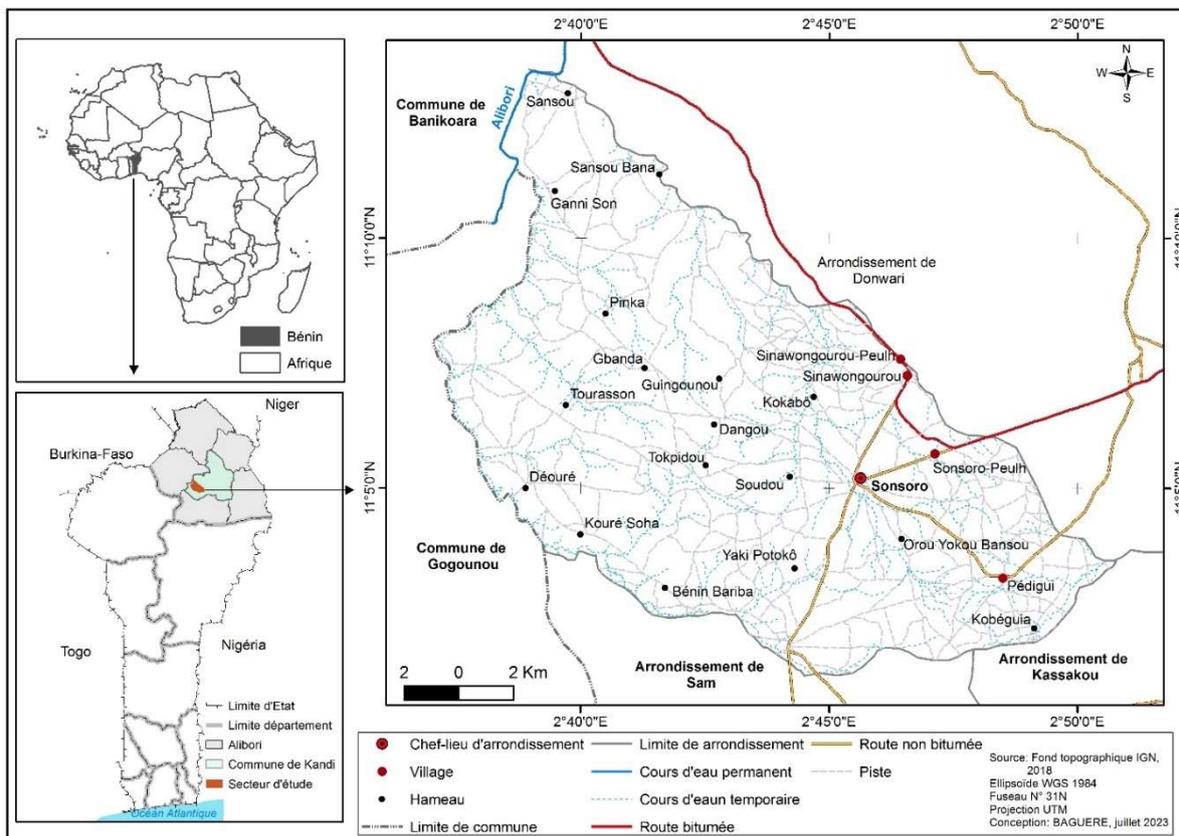
paysagère...[5]. Système de diversification et de maintien de la production pour l'amélioration des conditions sociales, économiques et environnementales des utilisateurs de la terre [6], les espaces agroforestiers sont confrontés de nos jours à une transformation alarmante. Les transformations induites par les formes actuelles de mise en valeur sont très peu compatibles à la préservation de leur intégrité. Les activités humaines ne cessent d'être la cause principale de sa dégradation ou destruction. La diversité biologique et le nombre d'arbres de valeur écologique et sociale ne cessent de baisser sous l'action conjuguée de l'accroissement démographique et les besoins croissants en terres agricoles et aussi en bois pour la fabrication des objets d'arts et autres ([7], [3], [8], [9]).

En Afrique de l'Ouest et particulièrement au Bénin, plusieurs études ont été conduites sur l'évaluation et la caractérisation des systèmes agroforestiers ([10], [11], [2], [9], [4], [12], [13]). Cependant, les techniques de caractérisation et d'évaluation quantitative et qualitative des systèmes agroforestiers s'est toujours fait au moyen de techniques traditionnelles d'inventaire phytosociologique sur le terrain selon la technique de Braun-Blanquet (1932), ou de Guinochet (1954). D'autres méthodes plus récentes utilisent des images de haute résolution spatiale et spectrale et les techniques du SIG ([14], [15], [16], [6], [17], [18], [19]). Le présent travail se propose d'évaluer le potentiel ligneux, de caractériser le système agroforestier et afin d'estimer le carbone séquestré.

I. MATERIEL ET METHODES

1.1. Secteur d'étude

L'arrondissement de Sansoro (figure 1) est l'un des dix arrondissements de la Commune de Kandi. Situé à une vingtaine de kilomètres du chef-lieu de la commune, il s'étend sur une superficie de 274 km². Il est compris entre 11° 1' 18'' et 11° 13' 20'' de latitude nord et entre 2° 37' 00'' et 2°50'15'' de longitude est. Il est limitrophe avec la commune de Banikoara et celle de Gogounou [20].



L'arrondissement de Sonsoró jouit d'un climat de type soudanien caractérisé par deux saisons avec une pluviosité comprise entre 776 mm et 1379 mm et une moyenne annuelle 1032 mm [21]. Le régime pluviométrique est unimodal avec une saison pluvieuse de mai à octobre et une saison sèche de novembre à avril [21]. La température moyenne mensuelle tourne autour de 28,37°C avec une valeur maximale de 39,29°C (avril) et une valeur minimale de 17,11°C (décembre). Sonsoró est traversé par Sansou et Darou wonga qui sont les affluents de la rivière Alibori. Le secteur d'étude repose sur des sols ferrugineux tropicaux. L'arrondissement est dominé par des mosaïques de champs et jachères parsemés de gros arbres tels que : le karité (*Vitellaria paradoxa*), le néré (*Parkia biglobosa*), le baobab (*Adansonia digitata*), le tamarinier (*Tamarindus indica*), l'ébène (*Diospyros mespiliformis*) le Akée (*Blighia sapida*) et diverses espèces plantées donnant un véritable parc arboré.

La population de l'arrondissement est passée de 6305 habitants à 22920 en 2013 [22]. Première source de revenu de la population l'agriculture occupe presque toute la population avec un système de culture et des techniques culturales prédatrices d'espace par les cultures céréalières (maïs, sorgho, mil et le riz), les racines et tubercules (manioc, igname et patate douce). Les cultures industrielles ou de rente sont essentiellement dominées par le coton, le soja et l'arachide. Les cultures pérennes regroupent les quelques rares plantations d'anacarde et de manguier [20]. L'élevage de volailles, bovins, d'ovins et de caprins constituent seconde activité [20].

1.2. Données utilisées

La principale donnée utilisée dans ce travail est une image Google Earth de résolution 0,29 m (Maxar Technologies) obtenue via la plateforme de l'application SASPlanet au format Tif en date de 19/12/2020. Les images sont composées de trois bandes : Red, Green, Blue géoréférencées.

1.3. Matériel

Le logiciel eCognition 9.0 a été utilisé pour le traitement des images. En plus de cela, le logiciel ArcGis 10.6 et le tableur Excel ont été utilisés pour effectuer les diverses opérations post-traitement d'image.

1.4. Traitement

1.4.1. Traitement d'image

Pour un traitement optimal et supportable par la capacité de l'ordinateur, l'image principale de la zone d'étude a été découpée en onze sous-zones de 30 km². Chacune des images de taille réduite ont subi le même traitement. La classification d'images basée sur des objets (OBIA) avec des algorithmes d'apprentissage automatique dans eCognition a été utilisée.

✓ Segmentation d'image

La segmentation multi-résolution a été implantée dans le logiciel eCognition en utilisant la valeur 25 pour le paramètre d'échelle, 0,8 pour la création de formes et 0,5 pour le critère de compacité. Il faut rappeler qu'un petit échantillon d'image a été traité au préalable pour pouvoir valider ces trois paramètres. Après, une segmentation de différence spectrale a été appliquée à l'image segmentée pour regrouper les objets voisins selon la moyenne de leur valeur d'intensité.

✓ Création de classe et de données d'entraînement pour la classification d'images basée sur les objets

Deux classes ont été définies, la classe arbre (couronnes) et la classe autres qui a regroupé tous les autres objets détectés sur l'image.

✓ Classification d'images segmentée

Deux paramètres ont été considérés dans la classification, il s'est agi de la moyenne et de déviation standard de la valeur des couches (RGB).

1.4.2. Traitement post traitement d'image (vecteur)

Le post traitement d'image opéré dans ArcGIS a consisté à faire un filtrage en extrayant les polygones (couronnes d'arbre) qui ont une superficie comprise entre 3,14 m² et 314,28 m². Cette classe correspond aux couronnes qui ont un diamètre supérieur à 2 m et inférieur à 20 m. Cette extraction est faite pour réduire les biais liés au chevauchement des couronnes qui pourrait augmenter la taille. En plus, les zones agglomérées, les zones de monticule, les galeries des cours d'eau et les couloirs qui ne sont pas cultivés n'ont pas fait objet d'analyse dans le traitement.

Des modèles d'équations allométriques ont été utilisés pour estimer le potentiel ligneux et la capacité de séquestration de carbone des systèmes agroforestiers. En effet, une équation allométrique est une formule qui formalise de manière quantitative les proportions entre hauteur et diamètre, entre taille du houppier et diamètre, entre biomasse et diamètre, obéissent à une règle qui est la même pour tous les arbres vivants dans les mêmes conditions, du plus petit au plus gros [23]. Plusieurs équations allométriques ont été développées depuis celles de [24], de [25] au plus récente de [26] en Afrique tropicale avec des prédicteurs soit la hauteur ou le diamètre ou les deux à la fois. Elles sont développées selon les régions et les types de formation végétale. Par la suite, vont naître des équations allométriques locales avec l'utilisation de nouvelles technologies comme les principes de la Télédétection et de la Photogrammétrie comme celle de [18].

- **Choix de l'équation allométrique**

La région soudanienne du Nord Bénin, d'après plusieurs investigations [10], [27], [4]) est caractérisée par deux espèces (nééré et karité). Selon Natta *et al.* (2012) le *Vitellaria paradoxa* (karité) représente 76 % des ligneux épargnés dans les champs et jachères et les parcs agroforestiers. Référence [4] sur la base de mesure de terrain et de drone sur le *Vitellaria paradoxa* ont mis sur pieds une équation allométrique pour une évaluation rapide des stocks de carbone forestier. En effet, cette équation de régression met en relation la hauteur et la surface houppier mesurée :

$$\ln(DBH) = 1,85019 + 0,4683 \ln(SH) \text{ Équation 1}$$

DBH= diamètre à hauteur de poitrine d'homme ; SH= surface houppier

N'ayant pas utilisé des données de Modèle Numérique de Surface et de Terrain pour pouvoir calculer la hauteur totale des arbres, nous ne disposons que la surface du houppier (SH). Avec cette équation qui met en relation la hauteur et la surface houppier mesurée par déduction il a été procédé au calcul des autres paramètres dendrométriques (Diamètre, Hauteur total).

- **Diamètre des arbres**

De l'équation 1 il a été déduit le Diamètre (DBH) :

$$DBH = \exp^{(1,85019 + 0,4683 \ln(SH))} \text{ Équation 2}$$

avec DBH= diamètre à hauteur de poitrine d'homme ; SH= surface houppier et exp=exponentiel

- **Hauteur des arbres**

Toujours [4] ont pu mettre en relation le diamètre à hauteur de poitrine d'homme (DBH) et la hauteur mesurée par drone (H) traduite par l'équation suivante :

$$\ln(DBH) = 1,27769 + 1,1430 \ln(H) \text{ Équation 3}$$

avec DBH= diamètre à hauteur de poitrine d'homme ; H=hauteur et exp=exponentiel

De l'équation 3 par déduction on peut écrire

$$H = \exp^{((\ln(DBH) - 1,27769) / 1,1430)} \text{ Équation 4}$$

avec DBH= diamètre à hauteur de poitrine d'homme ; H=hauteur et exp=exponentiel

- **Estimation du potentiel du carbone séquestré**

Pour rester dans la même logique d'analyse, la formule allométrique mise en place par [28] dans les écosystèmes de savane en zone soudanienne du Burkina Faso a été utilisée :

$$\ln(AGB) = \ln(a) + b \times \ln(X) \text{ Équation 5}$$

où $\ln(a) = -3,05$; $b = 2,66$; X= diamètre à hauteur de poitrine d'homme, AGB=Aboveground Biomass

La biomasse aérienne est alors :

$$AGB = \exp^{-3,05 + 2,66 \ln(X)} \text{ Équation 6}$$

AGB=Aboveground Biomass, avec X= diamètre à hauteur de poitrine d'homme

Ensuite, de la biomasse aérienne le stock de carbone a été déterminé en appliquant le facteur de conversion établi par [29] utiliser par d'autres auteurs [30]. Il est traduit par l'équation suivante :

$$C_{\text{seq}} = ABG * 0,487 \text{ Équation 7}$$

La spatialisation du carbone séquestré est faite par interpolation IDW des valeurs du carbone séquestré calculer pour chaque arbre isolé.

II. RESULTATS

2.1. Potentiel ligneux et caractérisation des arbres isolés du système agroforestier

2.1.1. Potentiel ligneux

L'extraction de la couronne des arbres de diamètre comprise entre 2 m et 20 m a permis de dénombrer environ 226 303 arbres isolés sur l'ensemble de la zone d'étude. La figure 2 présente le potentiel ligneux des espaces agroforestiers de l'arrondissement à travers la mise en exergue de la densité des arbres isolés.

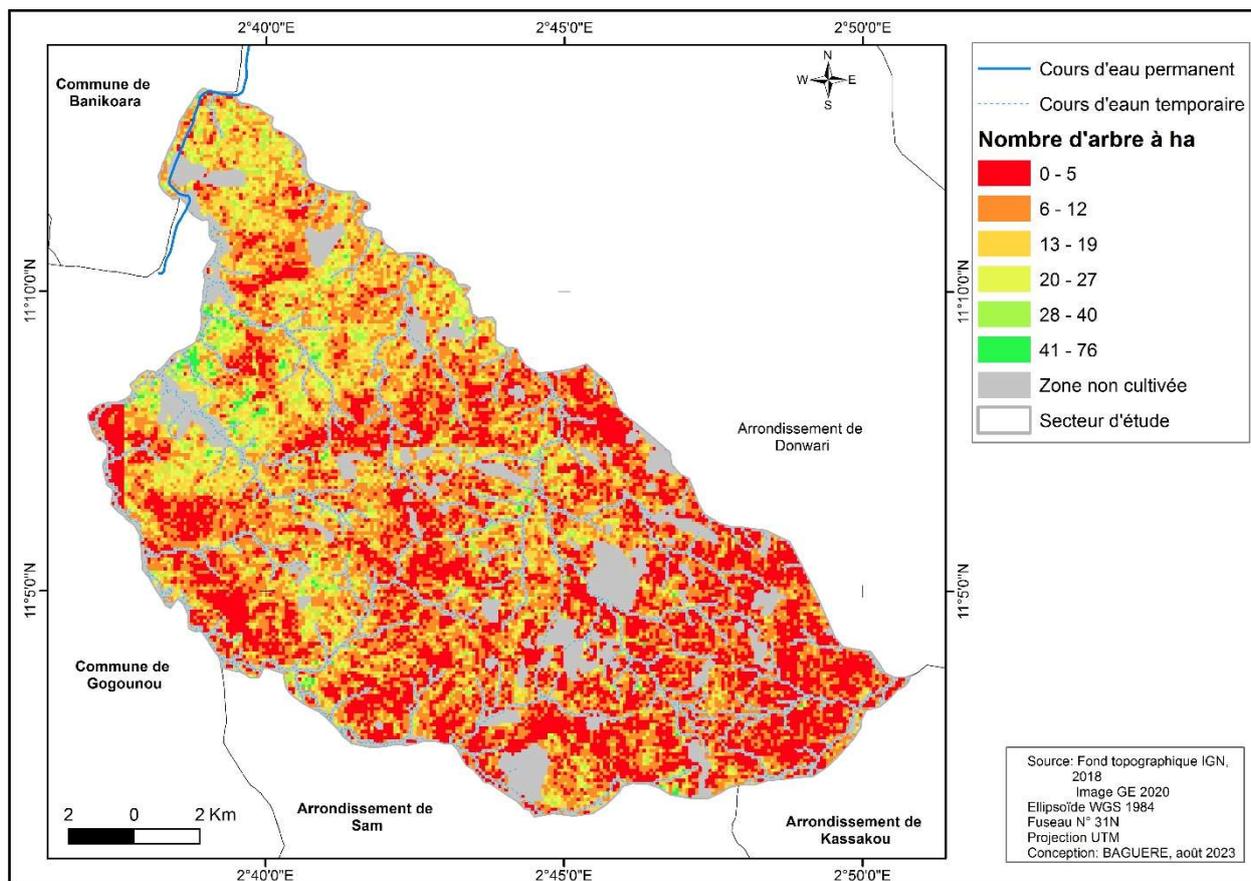


Figure 2. Potentialisé ligneuse de l'arrondissement

L'observation de la figure 2 montre qu'une grande partie de la zone d'étude est caractérisée par une couverture d'arbre isolé de densité comprise entre 0 et 5 à l'hectare soit 33,23 %. Par contre, les zones où la densité est supérieure à 28 arbres hectare sont très peu représentées soit environ 3,54 %. Cela traduit que les espaces agroforestiers de l'arrondissement sont pauvres en ligneux.

2.1.2. Taille des couronnes (houppier) des arbres isolés

La classification a permis d'isoler les arbres et de pouvoir déduire leur diamètre à partir de la superficie de leur couronne. La figure 3 présente le diamètre des houppiers des arbres isolés cartographiés dans l'ensemble de l'arrondissement.

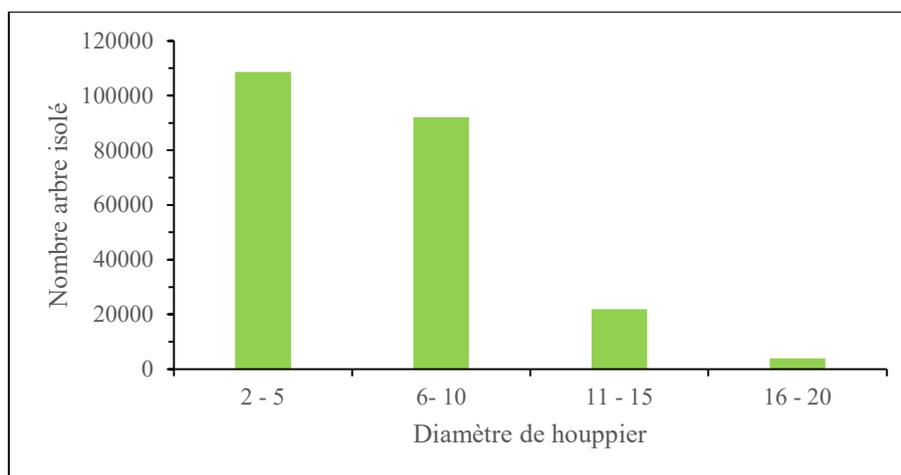


Figure 2. Diamètre des houppiers des arbres isolés

L'examen de la figure 3 montre que le nombre d'arbre isolé à une tendance régressive avec l'évolution du diamètre du houppier. Les petits arbres ou recrus de ligneux de diamètre de houppier comprise entre 2 m et 5 m sont plus abondants soit 47,97 %. Ensuite, viennent les arbres à couronne moyenne comprise entre 5 m et 10 m avec une proportion de 40,65 %. Le reste (11,37 %) est constitué d'arbres isolés de houppier de diamètre supérieur à 10 mètre.

2.1.3. Diamètre à hauteur de poitrine d'homme (DBH) des arbres isolés

La relation diamètre de houppier et sa superficie a permis de déterminer le diamètre à hauteur de de poitrine d'homme des arbres. La figure 4 présente la structure en diamètre des arbres isolés cartographiés.

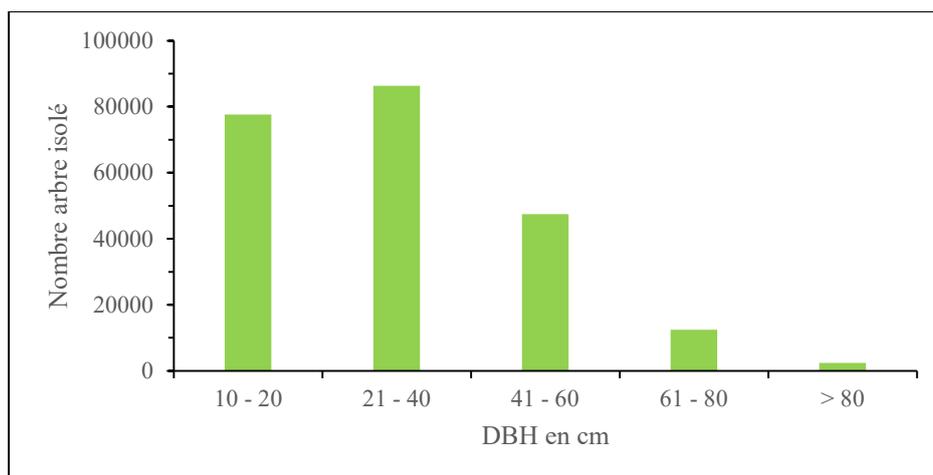


Figure 4. Diamètre à hauteur de poitrine d'homme des arbres isolés

La structure diamétrique des arbres montre une décroissance des effectifs en passant des classes inférieures vers les classes supérieures à l'exception de la classe inférieure ou égale à 20 cm de dbh (Figure 4). Cependant, la classe de dbh comprise entre 21 cm et 40 cm sont les plus abondants (38,14 %). Ceci traduit l'absence de renouvellement du peuplement. La faible présence d'individus de gros diamètre indique que le milieu est fortement anthropisé.

2.1.4. Hauteur totale des arbres isolés

De la même manière, la mise en relation du diamètre à hauteur de poitrine d'homme des arbres avec les hauteurs a permis d'obtenir la figure 5 des classes de hauteur suivante.

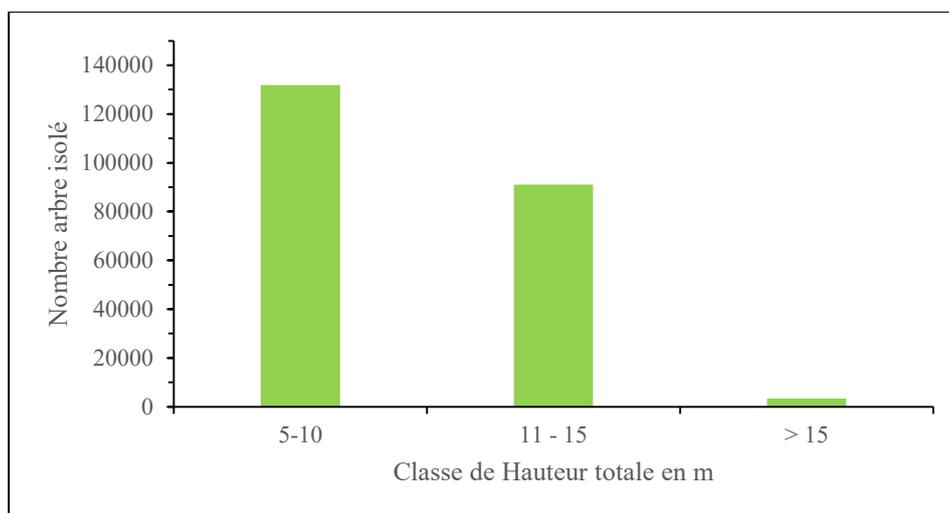


Figure 5. Classe de hauteur des arbres isolés

La figure 5 montre que la structure en hauteur des arbres isolés de l'arrondissement est dominée par des arbres ayant une hauteur totale comprise entre 5 m et 10 m. Cette classe de hauteur représente 58,26 % contre respectivement 40,22 % et 1,50 % pour la classe de hauteur comprise entre 11 m et 14 m de hauteur et celle supérieure à 15 m de hauteur. La hauteur moyenne est de 11, 26 m.

2.2. Séquestration de carbone des espaces agroforestiers

Malgré cette faible abondance d'arbre dans les espaces agroforestier de l'arrondissement, les quelque ligneux qui y peuplent constituent un puits de carbone non négligeable dans le contexte actuel d'émission additionnelle de gaz à effet de serre. Le tableau suivant présente la quantité de de biomasse aérienne (AGB) et celle de carbone aérien séquestré en kilogramme par classe de diamètre à hauteur de poitrine d'homme.

Tableau I. Estimation de la biomasse aérienne et du carbone séquestré

Classe de DBH	AGB en Kg			C Séquestré		
	Quantité	Moyenne	Kg.ha ⁻¹	Quantité	Moyenne	Kg.ha ⁻¹
≤ 20	7963259,34	70,88	-	3878107,297	34,52	-
] 20 - 40]	52727078,41	435,70	-	25678087,18	212,19	-
] 40 - 60]	72286911,61	1522,28	-	35203725,96	741,35	-
] 60 - 80]	45611000,09	3668,84	-	22212557,04	1786,72	-
> 80	16318210,55	6816,30	-	7946968,538	3319,54	-
Total général	194 906 460		8 780,36	94 919 446,02		4 276,04

AGB: Aboveground Biomass C: Carbone

De ce tableau I il ressort que la biomasse globale de l'ensemble des espaces agroforestiers de la zone d'étude est 194 906 460 Kg soit une séquestration correspondante de 94 919 446,02 kg. En moyenne la biomasse aérienne est d'ordre de 8 780,36 kg à l'hectare pour une quantité correspondante de carbone aérien séquestré égale à 4 279,04 kg. La quantité de biomasse et celle de carbone séquestrée sont spatialement traduite par les figures 6 et 7.

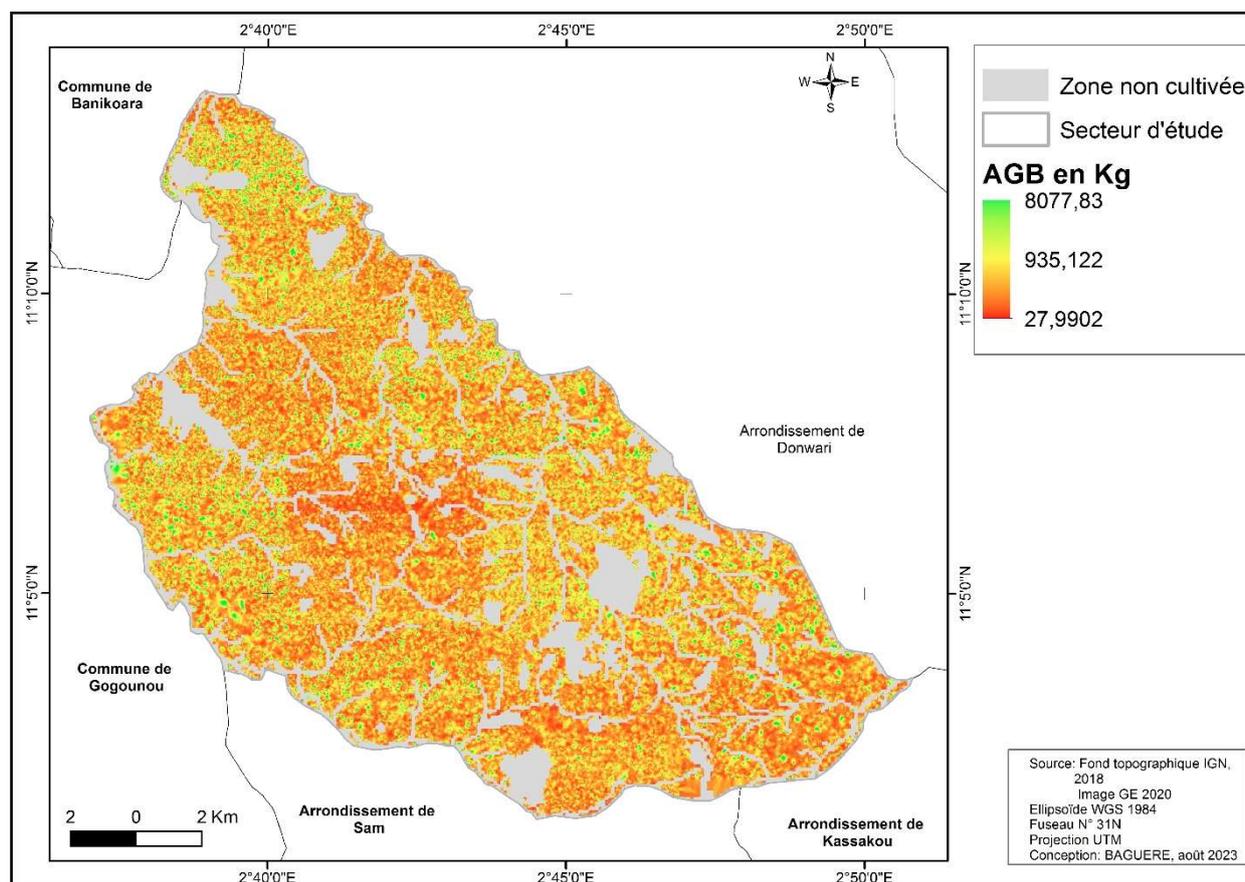


Figure 6 Biomasse aérienne (ABG) des arbres isolés

La carte de la figure 6 montre que la grande partie de la zone d'étude est caractérisée par une faible quantité de biomasse arienne. La figure 7 suivante montre la spatialisation du carbone correspondant de la biomasse aérienne.

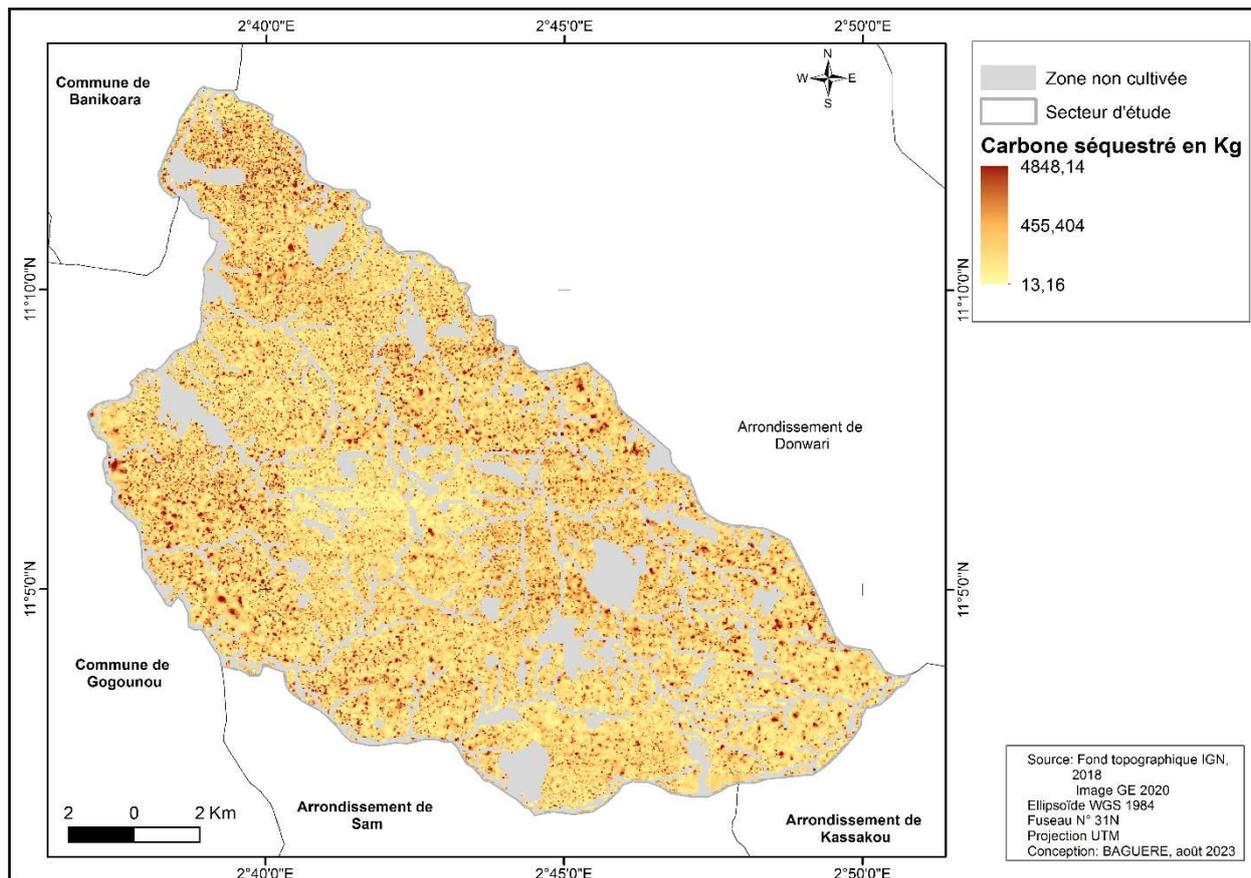


Figure7. Carbone séquestré des arbres isolés

L'analyse de la figure 17 révèle qu'une grande partie de la zone d'étude a une capacité de séquestration de carbone comprise entre 13,16 Kg et 256,60 Kg de carbone. Par contre, les zones à forte capacité de séquestration sont insignifiantes sur l'ensemble de la zone d'étude.

III. DISCUSSION

3.1. Potentiel ligneux et caractérisation des arbres isolés du système agroforestier

La relation entre la surface du houppier et les autres paramètres dendrométrique (diamètre à hauteur de poitrine d'homme et hauteur) grâce aux équations allométriques mise en place par [18] a abouti à un résultat concluant qui sont similaires à ceux obtenus dans la région soudanienne par d'autres études. De tendance régressive avec l'évolution du diamètre du houppier, les arbres isolés de diamètre de houppier comprise entre 2 m et 5 m sont plus abondants soit 47,97 % suivi de ceux comprise entre 5 m et 10 m avec une proportion de 40,65 %. Ces résultats corroborent ceux de [31] qui dans la savane guinéenne nigériane chez le *Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn trouvait les diamètres minimale et maximale des couronnes respectivement de 7,70 et 16,60 m. Les résultats se rapprochent malgré que notre échantillon n'est pas mono-spécifique. Quant à la structure diamétrique des arbres, la classe de dbh comprise entre 21 cm et 40 cm sont les plus abondants (38,14 %) ce qui rejoint aussi les résultats de [31] et de [32]. Ces résultats sont aussi similaires à ceux de [33] qui dans les formations post culturelles des écosystèmes forestiers de Monts Kouffé à obtenu un grand nombre d'individu de diamètre comprise entre 10 et 34 cm. Pour la hauteur totale des arbres isolés, sa moyenne est de 11,26 m ce qui est un peu éloigner de celle de [31]) de 14,27 m chez le *Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn. Cette différence pour être due de la mixité des espèces dans notre cas. La densité des arbres isolés dans les parcs agroforestiers de l'arrondissement est de l'ordre de 21,21 arbres à l'hectare valeur similaires celle de [34] au Niger, et de [35] au sud Bénin. Les parcelles (1 ha) les plus arborées qui ne représentent que 0,58 % de l'ensemble de la zone d'étude n'ont excédé 48 arbres. Cela corrobore les résultats de Toko Mouhamadou, (2014) qui dans les formations post culturelles des écosystèmes forestiers de Monts

Kouffé à obtenue une densité globale qui n'a pas excédé 40 arbres/ha. Cependant, [36] dans les champs des écosystèmes de Wari-Marou au Centre-Bénin ont été dénombré 36 arbres à l'hectare.

3.2. Séquestration de carbone des espaces agroforestiers

La quantité de biomasse aérienne des arbres des systèmes agroforestiers ainsi que le carbone équivalent séquestré ont été évalué. La biomasse aérienne moyenne est de 8,78 t/ha pour un carbone stocké équivalent de 4,27t/ha. Ce résultat concorde avec les travaux de [37] qui estiment la biomasse aérienne moyenne à 5 t/ha pour un équivalent carbone de 2,5 t/ha. Les résultats obtenus sont se rapprochent de ceux de [7] qui ont trouvé un stock de carbone de 5,046 t C/ha dans la biomasse aérienne d'un parc à karité du Nord-Cameroun. Par contre, cette valeur est un peu éloignée celle obtenue (20,17 t/ha) par [11]. Cette différence pourrait être expliquée par le fait que notre secteur est beaucoup plus soumis aux pressions anthropiques. En effet, le secteur d'étude fait partie de la deuxième commune productrice du Coton où pour le bois de chauffage les femmes font recours aux espèces des systèmes agroforestiers.

IV. CONCLUSION

Une contribution à la caractérisation des espaces agroforestiers de l'arrondissement de Sonsoro, ce travail à prouver comment à partir de la mobilisation d'images Google Earth et de différents outils d'analyse d'images, il était possible d'élaborer une cartographie des peuplements ligneux à l'échelle d'un terroir agroforestier. L'approche méthodologique a permis de dénombrer sur l'ensemble du secteur d'étude environ 226 303 arbres. Les arbres des systèmes agroforestiers de l'arrondissement sont marqués par l'abondance des individus de dbh comprise entre 21 cm et 40 cm (38,14 %). Quant à la hauteur, elle affiche des individus ayant une hauteur totale comprise entre 5 m et 10 m. Cette classe de hauteur représente 58,26 %. L'analyse quantitative de la biomasse aérienne du secteur d'étude a montré que la biomasse globale de l'ensemble des espaces agroforestiers de la zone d'étude est 194 906 460 Kg pour une séquestration correspondante de 94 919 446,02 kg. La biomasse moyenne aérienne est d'ordre de 8 780,36 kg à l'hectare pour une quantité correspondante de carbone aérien séquestré égale à 4 279,04 kg. L'analyse de la densité de recouvrement en arbres des systèmes agroforestiers étant très alarmante (densité inférieure à 6 arbres à l'hectare égale 60,24 %) il urge de promouvoir dans le secteur d'étude la Régénération Naturelle Assistée pour garantir l'équilibre écologique, environnemental, social et économique.

REFERENCES

- [1] Biaou, S. S., Natta, A., Dicko, A., & Kouagou, M. (2016). Typologie des systèmes agroforestiers et leurs impacts sur la satisfaction des besoins des populations rurales au Bénin Typology of agroforestry systems and their impacts on meeting the needs of rural populations in Benin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin _ BRAB*, 43-56.
- [2] Bidou, J.-É., Koukperé, A., & Droy, I. (2019). L'évolution des parcs à karité au Bénin : Inégalités de genre et désenchantement du monde. *L'Espace géographique*, 48(2), 138-152. <https://doi.org/10.3917/eg.482.0138>.
- [3] Tchindjang, M., Donald, M., & Happi, Y. (2015). Systèmes agroforestiers et conservation de la biodiversité dans un milieu fortement anthropisé : Le cas d'Obala. *Revue Scientifique et Technique Forêt et Environnement du Bassin du Congo*, 5, 22-34.
- [4] Koukperé, A. (2022). *Les parcs agroforestiers au Nord du Bénin : Dynamique d'un agroécosystème face aux changements socio-environnementaux* [Phdthesis, Université Paris-Nord - Paris XIII]. <https://theses.hal.science/tel-04020289>.
- [5] Bolyn, C., Latte, N., Fourbisseur, A., Colson, V., Baudry, O., & Lejeune, P. (2020). *Cartographie et caractérisation des arbres hors forêt à l'aide de la technologie LiDAR*.
- [6] Torquebiau, E. (2023). *Agroforesterie—Les Mots de l'agronomie*. Agroforesterie. <https://mots-agronomie.inra.fr/index.php/Agroforesterie#SnippetTab>.
- [7] Peltier, R., Njiti, C. F., Ntoupka, M., 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 & FORETS DES TROPIQUES*, 294, 39-50. <https://doi.org/10.19182/bft2007.294.a20332>.
- [8] Saj S., Durot C., Mvondo-Sakouma K., Tayo Gamo K., Avana-Tientcheu M.L., (2017). Contribution of companion trees to long-term tree conservation, carbon storage and agroforest sustainability: a functional analysis of the diversity in cacao plantations of Central Cameroon. *International journal of agricultural sustainability*, 15(3): 282-302.

- [9] Niwah, C. B., Todou, G., Souare, K., Abdoulaye, A., Bay, S., & Atem, E. (2020). Diversité et usages des plantes ligneuses des agrosystèmes périphériques de la ville de Maroua (Extrême-Nord, Cameroun). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 14(3), Article 3. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v14i3.25>.
- [10] Natta, A., Bachabi, F.-X., Wallis, N., & Dicko, A. (2012). Typologie et structure des parcs agroforestiers dans la zone soudanienne du nord bénin typology and structure of agroforestry parklands from gogounou and ouake districts in the sudanian region of north benin. *Annales des Sciences Agronomiques*, 16, 67-90.
- [11] Saïdou, A., Dossa, A., Gnanglè, P., Balogoun, I., & Aho, N. (2012). Evaluation du stock de carbone dans les systèmes agroforestiers à karité (*Vitellaria paradoxa* CF Gaertn.) et à néré (*Parkia biglobosa* Jacq. G. Don) en zone Soudanienne du Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB)*, 9.
- [12] Houesse, R., Koukperé, A., & Mering, C. (2022). *Apport de la granulométrie à l'étude de la dynamique des parcs agroforestiers au Nord-ouest du Bénin : Un exemple de gestion durable à Koukouatoungou chez les Bétamaribé de Boukoumbé*. Colloque international : Société, connaissances paysannes, et ressources phytogénétiques. <https://hal.science/hal-03976159>
- [13] Somanin, M. R., Ewedje, B. K. E.-E., Batcho, A. I., Ogan, E. P., Matilo, A. O., Adomou, C. A., & Yedomonhan, H. (2022). Diversity and Importance of Benin's Forests and Agroforestry Systems Woody Species in Mortars and Pestles Manufacture. *Open Journal of Forestry*, 13(1), 45-60.
- [14] Nordin, S. A., Abd Latif, Z., & Omar, H. (2019). Individual tree crown segmentation in tropical peat swamp forest using airborne hyperspectral data. *Geocarto International*, 34(11), 1218-1236. <https://doi.org/10.1080/10106049.2018.1475511>.
- [15] Aouragh, M., Lacaze, B., Hotyat, M., Ragala, R., & Aboudi, A. E. (2013). Cartographie et suivi de la densité des arbres de l'arganeraie (sud-ouest du Maroc) à partir d'images de télédétection à haute résolution spatiale. *Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection*, 203, Article 203. <https://doi.org/10.52638/rfpt.2013.24>.
- [16] Mariam, D., Bernadin, T. C. A., & Inoussa, T. M. (2013). Inventaire des vergers de mangues dans le cercle de Bougouni au Mali : Approche par Télédétection. *Journal of Applied Biosciences*, 66, 5095-5105. <https://doi.org/10.4314/jab.v66i0.95007>
- [17] El Abdellaoui, O. (2021). *Cartographie des arbres en ville à partir d'images satellites*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.30667.52007>.
- [18] Konate, I., Dayamba, S. D., Koala, J., Tonde, N., Damoue, A. K., Sawadogo, L., & Hien, M. (2022). Prédiction des paramètres dendrométriques à l'aide des prises de vue de drone en zone soudanienne : Perspectives pour une évaluation rapide des stocks de carbone forestier. *Journal of Applied Biosciences*, 177: 18514 – 18537.
- [19] Yang, M., Mou, Y., Liu, S., Meng, Y., Liu, Z., Li, P., Xiang, W., Zhou, X., & Peng, C. (2022). Detecting and mapping tree crowns based on convolutional neural network and Google Earth images. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 108, 102764. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.102764>.
- [20] SDAC. (2019). *Kandi 2023, Schema Directeur d'Amenagement de la Commune (SDAC)*. Mairie de Kandi. Rapport d'activité, 151 p.
- [21] ASECNA, (2020) Données climatiques de la station météorologique de Kandi, Bénin
- [22] INSAE (2013) Quatrième Recensement Général de la Population et de l'Habitat de 2013. Cahier des villages et quartiers de ville du département de l'Alibori. Cotonou, Bénin, 26 p.
- [23] Picard, N., Saint-Andre, L., & Henry, M. (2012). *Manuel de construction d'équations allométriques pour l'estimation du volume et la biomasse des arbres. De la mesure de terrain à la prédiction*.
- [24] Brown, S., Gillespie, A. J. R., & Lugo, A. E. (1989). Biomass Estimation Methods for Tropical Forests with Applications to Forest Inventory Data. *Forest Science*, 35(4), 881-902. <https://doi.org/10.1093/forestscience/35.4.881>.
- [25] Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M., Chambers, J., Eamus, D., Fölster, H., Fromard, F., Higuchi, N., Kira, T., Lescure, J.-P., Nelson, B., Ogawa, H., Puig, H., Riera, B., & Yamakura, T. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145, 87-99. <https://doi.org/10.1007/s00442-005-0100-x>.

- [26] Chave, J., Réjou-Méchain, M., Búrquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M. S., Delitti, W. B. C., Duque, A., Eid, T., Fearnside, P. M., Goodman, R. C., Henry, M., Martínez-Yrizar, A., Mugasha, W. A., Muller-Landau, H. C., Mencuccini, M., Nelson, B. W., Ngomanda, A., Nogueira, E. M., Ortiz-Malavassi, E., Vieilledent, G. (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, 20(10), 3177-3190. <https://doi.org/10.1111/gcb.12629>.
- [27] Ahamidé, I. D. Y., Tossou, M. G., Yédomonhan, H., Adomou, A. C., Houénon, J., & Akoègninou, A. (2017). Diversité Des Loranthaceae Et Leur Impact Sur Vitellaria Paradoxa C.F.Gaertn. : Un Fruitier À Grande Valeur Socio-Économique Au Nord-Bénin. *European Scientific Journal, ESJ*, 13(24), 217. <https://doi.org/10.19044/esj.2017.v13n24p217>.
- [28] Koala, J., Kagambega, O. R., & Sanou, L. (2021). Distribution des stocks de carbone du sol et de la biomasse racinaire dans un parc agroforestier à Prosopis africana (Guill., et Rich.) Taub au Burkina Faso, Afrique de l'Ouest. *Journal of Applied Biosciences* 160: 16482 - 16494.
- [29] Goussanou, C. A., Guendehou, S., Assogbadjo, A. E., & Sinsin, B. (2018). Application of site-specific biomass models to quantify spatial distribution of stocks and historical emissions from deforestation in a tropical forest ecosystem. *Journal of Forestry Research*, 29(1), 205-213. <https://doi.org/10.1007/s11676-017-0411-x>.
- [30] Djaouga, M., Karimou, S., Arouna, O., Zakari, S., Matilo, A. O., Imorou, I. T., Yabi, I., Djego, J., Thomas, O., & Houssou, C. (2021). Cartographie de la biomasse forestière et évaluation du carbone séquestré dans la forêt classée de l'Ouémé supérieur au Centre – Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 15(6), Article 6. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v15i6.12>
- [31] Buba, T. (2013). Relationships between stem diameter at breast height (DBH), tree height, crown length, and crown ratio of Vitellaria paradoxa CF Gaertn in the Nigerian Guinea Savanna. *African Journal of Biotechnology*, 12(22).
- [32] Arouna, O. (2012). Cartographie et modélisation prédictive des changements spatio-temporels de la végétation dans la Commune de Djidja au Bénin : implications pour l'aménagement du territoire. Thèse de doctorat, Université. Abomey-Calavi, Bénin, 246 p.
- [33] Toko Mouhamadou, I. (2014). *Facteurs déterminants de la fragmentation des écosystèmes forestiers : Cas des îlots de forêts denses sèches de la forêt classée des Monts Kouffé et de sa périphérie au Bénin*. Thèse de doctorat, Université. Abomey-Calavi, Bénin, 231 p.
- [34] Morou, B., Ounani, H., Oumani, A. A., Diouf, A., Guero, C., & Mahamane, A. (2016). Caractérisation de la structure démographique des ligneux dans les parcs agroforestiers du terroir de Dan Saga (Aguié, Niger). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 10(3), Article 3. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v10i3.31>.
- [35] Assogbadjo, B. E. J., Hounkpevi, A., Barima, Y. S. S., Akabassi, G. C., Padonou, E. A., Sangne, Y. C., Assogbadjo, A. E., & Kakai, R. G. (2021). Diversité et état de conservation des espèces ligneuses alimentaires à la périphérie de la Forêt Classée de la Lama (Bénin). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 15(6), Article 6. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v15i6.17>.
- [36] Issifou Moumouni, Y., Moumouni, Y. I., 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 Leidi : Dynamique des territoires et développement*, 17. <https://hal.science/hal-01688993>.
- [37] Ouedraogo, W. O., Gomgnimbou, A. P. K., Santi, S., Ilboudo, D., & 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. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 13(7), Article 7. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v13i7.24>.