



Land use and variability of woody biomass in North Benin

Land use and woody biomass

¹ Ismaël MAZO, ² Ousséni AROUNA, ³ Ismaïla TOKO IMOROU

¹Cartography Laboratory,
mazoismael7@gmail.com, Abomey-
Calavi, Bénin

²Laboratory of Geosciences,
Environment and Applications,
arounaousseni@gmail.com, Abomey,
Bénin

³Cartography Laboratory,
tokismael@gmail.com, Abomey-Calavi,
Bénin

ABSTRACT

Context and background

Human pressures cause biomass losses and indirectly contribute to climate change. The forest reserve of Goungoun and its riparian lands is constantly under human pressure with a deforestation rate of 2.91%. In this perspective, this research will attempt to answer the question of what is the impact of human activities on woody biomass. The hypothesis underlying this research is that land use changes including deforestation and forest degradation decrease the amount of biomass.

Goal and Objectives:

The objective of this research is to assess the impact of land use changes on woody biomass in the Goungoun Forest Reserve and its Riparian Land in North Benin.

Methodology:

The 2005 Landsat ETM + and 2008 OLI/TIRS images downloaded from the earthexplorer.usgs.gov site in GEOTIFF format were interpreted using the supervised classification method. The variation in aboveground woody biomass was estimated using land use maps obtained from the interpretation of Landsat images and forest inventory data all from 2005 and 2018. The allometric equation developed in the Sudanese and Sudano-Guinean savannas from M'Bow (2014) was used for the estimation of woody biomass.

Results:

Natural formations have experienced a decline of 27.34%. This regression leads to a loss of 41.66 t.ms/ha and 8.23 t.ms/ha of biomass from forest land converted to savannah and cultivated land. The transformation of savannah lands into cultivated lands causes the loss of 3.56 t.ms/ha of biomass and saves 54.92 t.ms/ha of biomass to forest lands. Biomass losses and gains were also observed at the level of land use categories that remained unchanged, including forest land (-7.65 t.ms/ha and 28.5 t.ms/ha), savannah land (-4.44 t.ms/ha and 26.91 t.ms/ha) and cultivated land (-4.29 t.ms/ha and 20.43 t.ms/ha).

This research has contributed to the understanding of the effects of land-use category conversion on biomass. Actions to strengthen the woody potential of this ecosystem are needed to minimize the degradation of biomass in the FCGTR so that it can be a long-term carbon sink.

Keywords

Biomass, Land use, Landsat images, Regression, Remote sensing, Benin

Affectation des terres et variabilité de la biomasse ligneuse au Nord-Bénin

Affectation des terres et biomasse ligneuse

¹ Ismaël MAZO, ² Ousséni AROUNA, ³ Ismaïla TOKO IMOROU

¹Cartography Laboratory,
mazoismael7@gmail.com, Abomey-
Calavi, Bénin

²Laboratory of Geosciences, Environment
and Applications,
arounaousseni@gmail.com, Abomey,
Bénin

³Cartography Laboratory,
tokismael@gmail.com, Abomey-Calavi,
Bénin

ABSTRACT (Cambria 10, UPPERCASE, ITALIC)

L'objectif de cette recherche est d'évaluer l'impact des changements d'affectation des terres sur la biomasse ligneuse dans la Forêt Classée de Goungoun et ses Terroirs Riverains au Nord-Bénin. Les cartes d'affectation des terres obtenues de l'interprétation des images Landsat et des données d'inventaire forestier tous de 2005 et de 2018 ont permis d'estimer la variation de la biomasse ligneuse. Les cartes de biomasse ont été générées en tenant compte des catégories d'affectation des terres de 2005 et de 2018. Les formations naturelles ont connu une régression de 27,34 %. Cette régression entraîne une perte de 41,66 t.ms/ha et de 8,23 t.ms/ha de biomasse des terres forestières converties en terres savaniques et cultivées. La transformation des terres savaniques en terres cultivées fait perdre 3,56 t.ms/ha de biomasse et fait gagner 54,92 t.ms/ha de biomasse aux terres forestières. Pour reconstituer cette aire protégée, il faut passer de la conservation à la protection.

Mots clés

Biomasse, affectation des terres, images landsat, Régression, Télédétection, Bénin

1. INTRODUCTION

La biomasse aérienne est un important réservoir de carbone dans les écosystèmes forestiers. Elle représente entre 70 % et 90 % de la biomasse forestière totale (Cairns et al., 1997). Ces écosystèmes terrestres et les forêts en particulier (Keith et al., 2009) sont des composantes cruciales du cycle global du carbone atmosphérique. Les forêts tropicales comptent parmi les écosystèmes les plus complexes et les plus riches en carbone du monde (Pan et al., 2011). Néanmoins, elles sont en train d'être défrichées pour l'agriculture et le pâturage (Zhang et al., 2006). Ces changements d'usage des terres sont responsables de 15 à 20 % des émissions de gaz à effet de serre (Houghton, 2005).

L'estimation et la surveillance de la biomasse aérienne sur différentes échelles d'espace et de temps sont cruciales pour l'évaluation des stocks de carbone et les plans stratégiques de gestion forestière (Pan et al., 2011 ; Deo et al., 2017). Connaître la variation spatio-temporelle de la biomasse forestière est essentielle, car bien que la proportion de carbone stocké dans les forêts représente 70 à 80 % du carbone terrestre total (Houghton, 2008), la variabilité spatiale et temporelle du stockage de carbone est considérable (Asner et al., 2010). Cette variabilité provient de perturbations aussi bien naturelles qu'anthropiques.

Sur le plan temporel, plusieurs études ont montré une tendance à l'augmentation de la biomasse aérienne et des stocks de carbone dans les forêts tropicales non perturbées (Gourlet-Fleury et al., 2013). Elles se comporteraient comme des puits de carbone. Cependant, les activités humaines, dont l'agriculture et l'exploitation forestière affectent la biomasse et les stocks de carbone (Johnson et al., 2016).

En Afrique, chaque année, environ 13 millions d'hectares de forêts sont convertis en d'autres types d'utilisation des terres (Parker et al., 2009). La plupart de ces changements de surface terrestre sont dus au défrichage des forêts (Houghton et al., 2012) et aussi pour satisfaire une demande croissante de bois. L'utilisation des terres demeure donc un facteur important de dégradation de l'habitat et de perte de biomasse (Lucas, 2015).

Au Nord-Bénin, le bassin cotonnier est dominé par la monoculture du coton et la coupe illicite du bois d'œuvre (Agbanou et al., 2018). Les pratiques agricoles dans cette zone sont intenses et continues, ce qui n'est pas sans influence sur la biomasse forestière.

Dans le bassin moyen de la Sota, la dégradation des forêts est responsable de la perte de biomasse (Issifou Moumouni, 2020). La forêt classée de Goungoun et ses terroirs riverains font partie intégrante de cette zone agroécologique qui est constamment sous pressions anthropiques avec un taux de déforestation de 2,91 % entre 2000 et 2015 (Zakari et al., 2018). Ces pressions anthropiques vont certainement réduire la quantité de biomasse dans cette aire protégée. A ce jour, aucune recherche n'est réalisée sur l'effet des pressions anthropiques sur la biomasse ligneuse. Dans cette perspective, cette recherche tentera de répondre à la question de savoir quel est l'impact des activités anthropiques sur la biomasse ligneuse dans la forêt classée de Goungoun et ses terroirs riverains. En supposant que les changements d'affectation des terres notamment la déforestation et la dégradation des forêts diminuent la quantité de biomasse, la présente recherche s'est fixée pour objectif d'analyser l'impact des activités anthropiques sur la variabilité spatio-temporelle de la biomasse

aérienne ligueuse dans la Forêt Classée de Gougoun et ses Terroirs Riverains (FCGTR) au Nord-Bénin.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1 Secteur d'étude

La FCGTR est localisée entre 11°45'48" et 11°51'47" de latitude nord et entre 3°01'50" et 3°29'39" de longitude est et couvrent une superficie de 186956,48 ha (Figure 1).

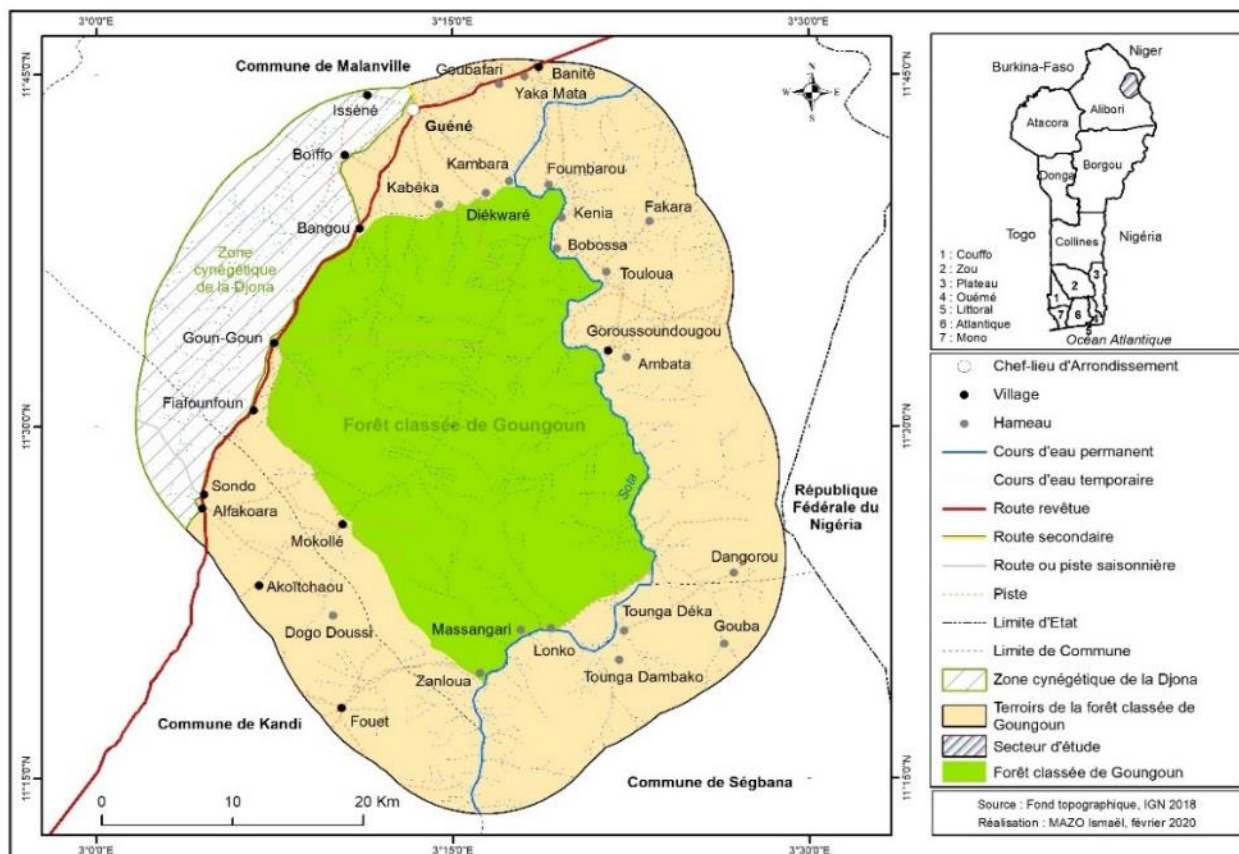


Fig. 1. Localisation géographique du secteur de recherche

La FCGTR se trouve dans la zone cotonnière du nord Bénin où l'agriculture est la principale source de revenus des populations. La végétation prédominante est une savane arborée fortement dégradée par l'emprise anthropique, évoluant ainsi vers la savane arbustive. Les principales activités sont l'agriculture, l'élevage et l'exploitation forestière. Elle est sous l'influence d'un climat soudanien. La pluviométrie et la température moyennes sont respectivement de 1037,09 mm et de 28,30°C.

2.2. Collecte des données

2.2.1. Données planimétriques

Dans cette recherche, les données utilisées sont composées des images Landsat ETM+ et OLI/TIRS, scène (P192 et R052) de décembre 2005 et 2018 et du fond topographique de l'Institut Géographique National de 2018. Les images ont été téléchargées sur le site de earthexplorer.usgs.gov au format GEOTIFF.

2.2.2. Données d'inventaire

Les outils de collecte sont constitués : du GPS pour la géolocalisation des placeaux, le penta décimètre pour la délimitation des placeaux et un ruban pi pour la mesure des diamètres des arbres.

Pour évaluer la variation de la biomasse ligneuse, les données des placeaux de l'Inventaire Forestier National (2005) et les données de terrain 2018 ont été considérées. Ainsi, un total de 48 placeaux circulaires de 18 m de rayon ont été géolocalisés et raliés à l'aide du récepteur GPS. Les données collectées sont le diamètre, le nombre d'individus et l'identifiant de chaque espèce.

2.3. Analyse des données

2.3.1. Traitement d'image

Le traitement des images a consisté à la délimitation des aires d'entraînement et la classification supervisée par maximum de vraisemblance. Les catégories d'affectation des terres ont été identifiées et pour chacune d'elles, les aires d'entraînement ont été délimitées loin des zones de transition afin d'éviter d'inclure des pixels qui pourraient porter de confusion. Les images classifiées ont été transformées en un fichier de forme afin de pouvoir déterminer les superficies de chaque unité d'occupation des terres.

2.3.2. Analyse de l'intensité de changement de l'occupation des terres

L'analyse de l'intensité des changements de l'occupation des terres s'est faite à travers les gains (G_j) et les pertes (P_i) (Huang *et al.*, 2018) à l'aide des formules suivantes :

$$G_j = \frac{\{(\sum_{i=1}^j S_{ij}) - S_{jj}\} \times 100}{\sum_{i=1}^j S_{ij}} \quad \text{et} \quad P_i = \frac{\{(\sum_{j=1}^i S_{ij}) - S_{ii}\} \times 100}{\sum_{j=1}^i S_{ij}}$$

G_j = Gain de superficie d'une catégorie d'affectation des terres j ; P_i = Perte de superficie d'une catégorie d'affectation des terres i ; S_{ii} ou S_{jj} = Superficie stable d'une catégorie d'affectation i ou j entre deux dates ; S_{ij} = Superficie d'une catégorie d'affectation i transformée en j entre deux dates et S_{ji} = Superficie d'une catégorie d'affectation j transformée en i entre deux dates

2.3.3. Estimation de la variation de la biomasse ligneuse

2.3.3.1. Choix du modèle

L'équation allométrique de M'Bow *et al.* (2014) est retenue du fait qu'elle intègre le paramètre de DBH et le domaine de validité de ce paramètre englobe les données d'observation de la présente recherche ($5,15 \leq D \leq 41,5$ cm qui prend en compte 98,53 % des données). L'équation s'énonce comme suit :

$$Ba = 1,929D + 0,116D^2 + 0,013D^3$$

Ba : Biomasse ligneuse, D : Diamètre (cm)

Paramètres de performance de l'équation : $R^2 = 0,934$; $RSE = 0,183$ et % Erreur = 1,241

2.3.3.2. Estimation de la variation de la biomasse des catégories d'affectation des terres restées inchangées

Il s'agit de la méthode des gains et pertes de la biomasse (GIEC, 2006). Sa formule est :

$$\Delta B_A = \Delta B_G - \Delta B_P$$

ΔB_A : Variation de la biomasse pour chaque sous-catégorie de terres ; ΔB_G : Augmentation de la biomasse due aux gains pour chaque sous-catégorie de terres ; ΔB_P : Diminution de la biomasse due aux pertes pour chaque sous-catégorie de terres.

❖ **Augmentation de la biomasse due à la croissance (ΔB_G)**

Cette méthode, permet de calculer les gains de biomasse en utilisant des taux de croissance de la biomasse et des estimations des superficies et des gains de biomasse pour toutes les strates d'affectation des terres.

$$\Delta B_G = \sum_{i,j} S_{i,j} * C_{ce_{Totale_{i,j}}}$$

ΔB_G : Augmentation de la biomasse pour les terres restant dans la même catégorie d'affectation ; S : Superficie restant dans la même catégorie d'affectation des terres, en ha, ; $C_{ce_{Totale_{i,j}}}$: Croissance annuelle moyenne de la biomasse.

❖ **Estimation des diminutions de la biomasse (ΔB_P)**

Les pertes de biomasse sont représentées par la somme des pertes dues à l'extraction de bois (récolte), l'extraction de bois de chauffage et d'autres pertes dues à des perturbations, comme le feu, les insectes, etc. Les relations entre ces éléments sont représentées par l'équation suivante :

$$\Delta B_P = P_{\text{extraction de bois}} + P_{\text{bois de chauffage}} + P_{\text{perturbation}}$$

ΔB_P : Diminutions de la biomasse dues aux pertes ; $P_{\text{extraction de bois}}$: Diminutions de la biomasse dues à l'extraction de bois ; $P_{\text{bois de chauffage}}$: Diminutions de la biomasse dues à l'extraction de bois de chauffage ; $P_{\text{perturbation}}$: Diminutions de la biomasse dues aux perturbations.

2.3.3.3. Estimation de la variation de la biomasse des terres converties en d'autres catégories d'affectation des terres

La conversion à une autre catégorie de terres peut être associée à des variations des stocks de biomasse. Ces variations de la biomasse sont calculées à l'aide de l'équation suivante (GIEC, 2006) :

$$\Delta B_{\text{Conversion}} = \sum \{ (B_{\text{Après}_i} - B_{\text{Avant}_i}) * \Delta S_{\text{Vers_autres}_i} \}$$

$\Delta B_{\text{Conversion}}$: Variation de la biomasse pour les terres converties à une autre catégorie de terres ; $B_{\text{Après}_i}$: Stock de biomasse sur le type de terre i immédiatement après conversion ; B_{Avant_i} : Stock de biomasse sur le type de terre i immédiatement avant conversion ; $\Delta S_{\text{Vers_autres}_i}$: Superficie d'affectation i convertie en une autre catégorie d'affectation des terres pendant une période donnée.

2.3.3.4. Cartographie de la biomasse en fonction des catégories d'affectation des terres

Les cartes de biomasse ont été générées en tenant compte des catégories d'affectation des terres de 2005 et de 2018. A chaque catégorie d'affectation des terres est associée la valeur moyenne de biomasse déterminée à partir des données de terrain en fonction de leur superficie et des changements intervenus en leur sein.

3. 3. RESULTATS

3.1. Cartographie des changements d'occupation des terres

La figure 2 montre la carte d'occupation des terres entre 2005 et 2018 de la FCGTR.

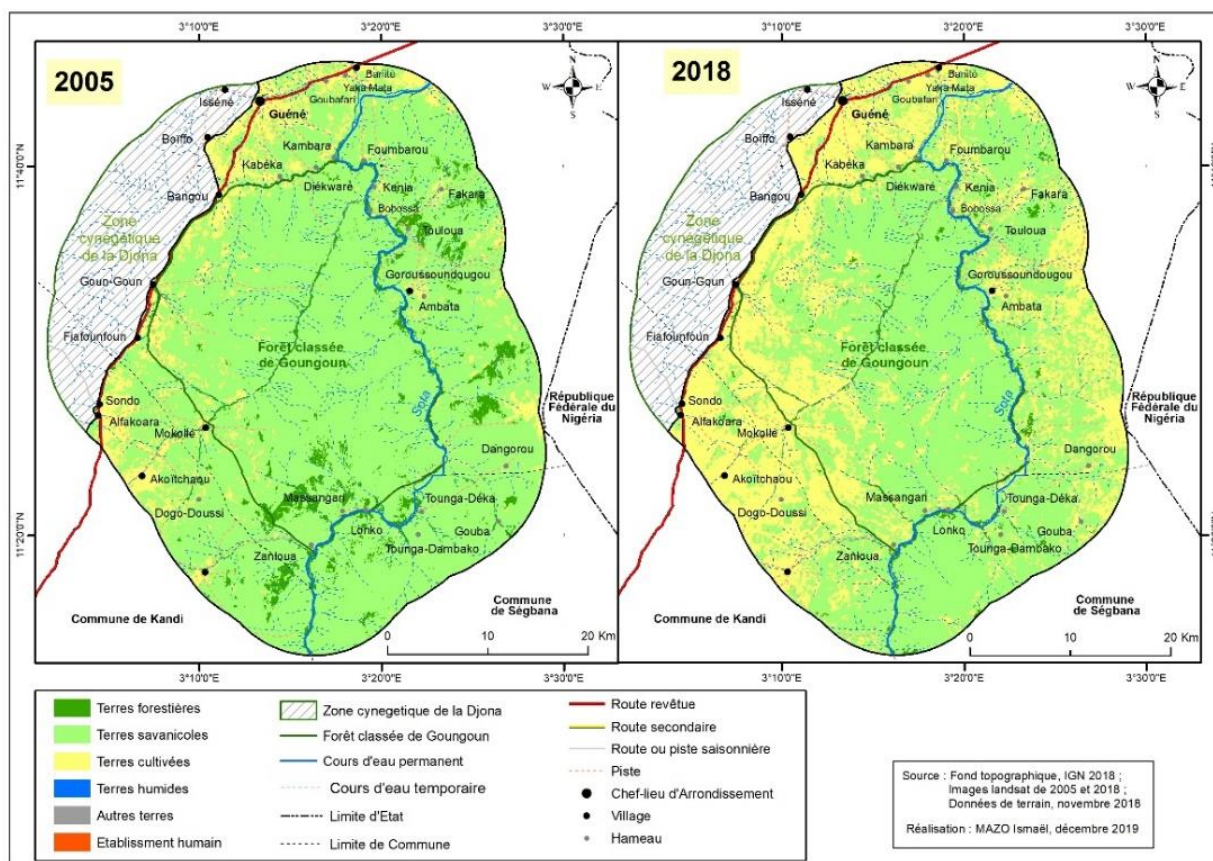
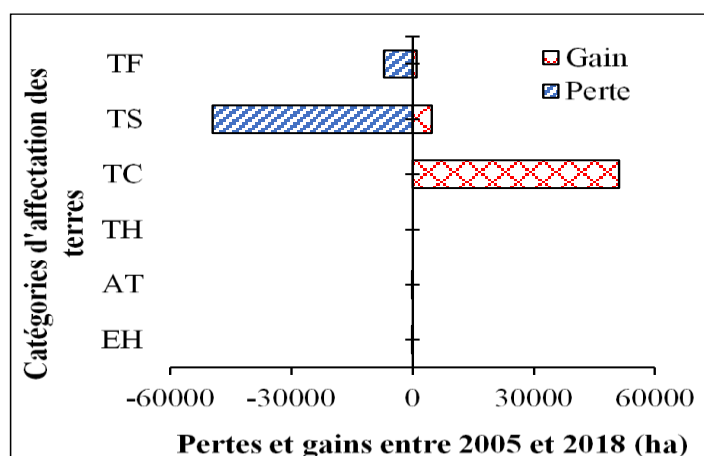


Fig. 2. Occupation des terres entre 2005 et 2018 de la FCGR

L'examen de la figure 2 montre qu'en 2005, les terres savaniques occupaient une bonne emprise spatiale et les terres forestières se localisaient par endroit dans le secteur d'étude. Les terres cultivées s'observaient principalement au niveau des terroirs et à la lisière de la forêt classée. En 2018, on remarque une réduction de l'emprise des terres savaniques et des terres forestières. Par contre, les terres cultivées ont fortement progressé dans les terroirs et la forêt classée. Les figures 3 montrent les pertes et les gains intervenus dans la FCGR entre 2005 et 2018.



TF : Terres forestières, TS : Terres savaniques, TC : Terres cultivées, TH : Terres humides, AT : Autres terres, EH : Etablissement humains

Fig. 3. Perte et gains entre 2005 et 2018 dans la FCGR

L'examen de la figure 3 montre que les terres savaniques ont subi plus de perte (-49597 ha) suivies des terres forestières (-7175 ha) entre 2005 et 2018. Par contre les terres cultivées sont les

catégories d'affectation des terres qui ont obtenu le plus de gain avec 51115 ha. Les pertes et les gains au niveau des autres catégories d'affectations des terres sont très faibles.

3.2. Etat de la biomasse en 2005 et en 2018

La figure 4 présente l'état de la biomasse aérienne ligneuse dans la forêt classée de Goungoun et ses terroirs riverains en 2005 et en 2018.

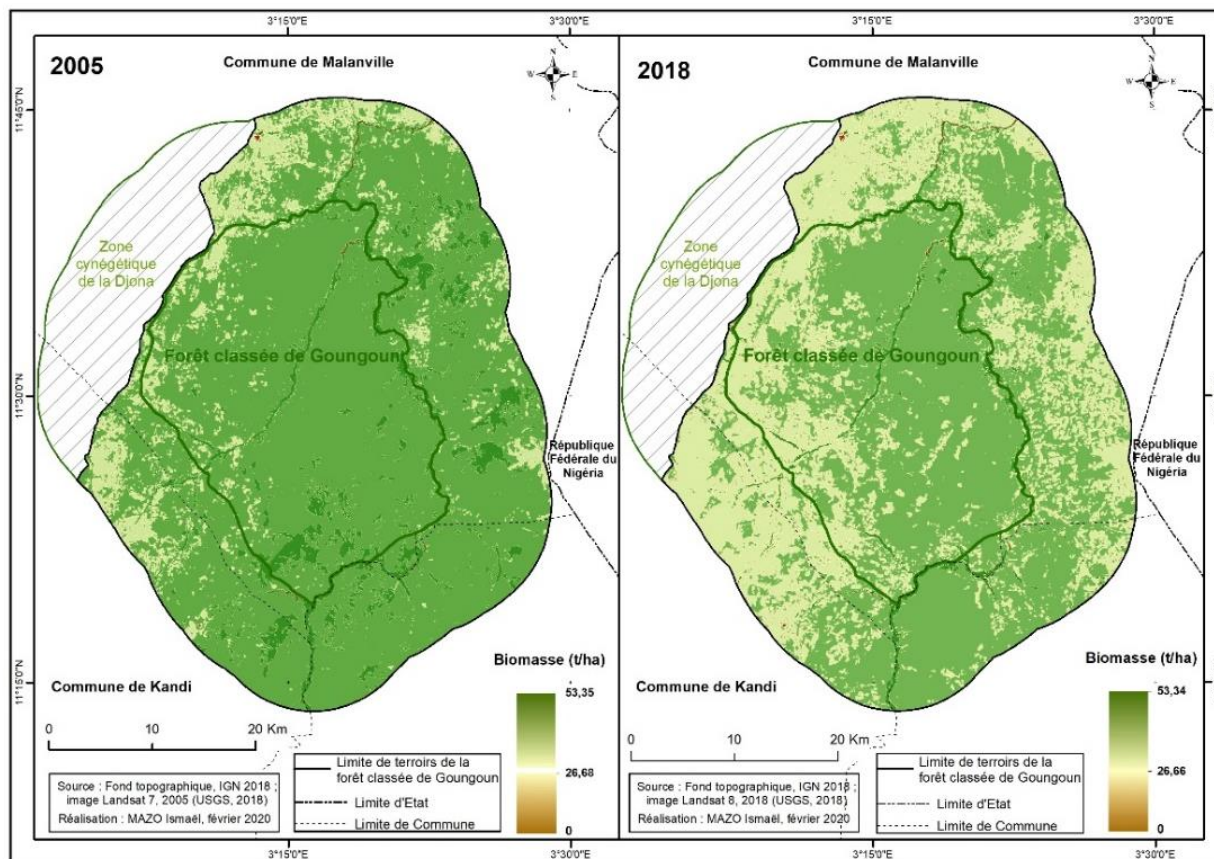


Fig. 4. Etat de la biomasse aérienne ligneuse en 2005 et en 2018

L'examen de la figure 4 montre en 2005 une bonne répartition de la biomasse sur l'ensemble du secteur d'étude. Elle varie de 0 à 53,35 t.ms/ha avec les valeurs nulles au niveau des sols nus, les agglomérations et les plans d'eau. Par contre, les plus fortes valeurs (53,35 t.ms/ha) sont observées au niveau des galeries forestières le long des cours d'eau et des savanes boisées. La majeure partie du secteur d'étude couvre une biomasse moyenne de 34,03 t.ms/ha essentiellement fournie par les savanes arborées et arbustives. Les secteurs Nord-Ouest et Sud-Ouest des terroirs concentrent la faible quantité de biomasse (23,25 t.ms/ha), essentiellement dans les champs. En 2018 on remarque une réduction de la biomasse sur l'ensemble du secteur de recherche. On note une forte progression des unités de végétation comportant les faibles quantités de biomasse (22,39 t.ms/ha). Il s'agit essentiellement des champs. Cette progression se fait selon le gradient périphérie-forêt classée. Les plus fortes valeurs restent toujours dans les forêts galeries et les savanes boisées (53,33 t.ms/ha).

3.3. Variation de la biomasse aérienne ligneuse dans les catégories d'affectation des terres restées inchangées

Le tableau 1 montre la variation de la biomasse aérienne ligneuse des terres restant dans la même catégorie d'affectation des terres.

Catégories d'affectation des terres		Biomasse aérienne ligneuse					
		t.ms/ha	P (%)	t.ms/an	P (%)	t.ms	P (%)
Terres forestières	<i>Pertes</i>	-7,65	-8,89	-1696,78	-6,14	-22058,18	-6,14
	<i>Gains</i>	28,50	33,12	6319,38	22,85	82151,89	22,85
	ΔBa	20,84	24,23	4622,59	16,71	60093,71	16,71
Terres savanicoles	<i>Pertes</i>	-4,44	-4,94	-35853,68	-13,42	-466097,79	-13,42
	<i>Gains</i>	26,91	29,95	217427,66	81,41	2826559,57	81,41
	ΔBa	22,47	25,01	181573,98	67,99	2360461,79	67,99
Terres cultivées	<i>Pertes</i>	-4,29	-17,34	-7134,61	-17,34	-92749,92	-17,34
	<i>Gains</i>	20,43	82,66	34008,41	82,66	442109,37	82,66
	ΔBa	16,15	65,32	26873,80	65,32	349359,45	65,32

Légende : t.ms/ha : tonne de matière sèche par hectare, t.ms/an : tonne de matière sèche par année, P (%) : Proportion en pourcentage, ΔBa : Variation de la biomasse

Tableau 1. Variation de la biomasse aérienne ligneuse dans les catégories d'affectation des terres restées inchangées

L'examen du tableau 1 montre que dans les terres forestières, 7,65 t.ms de biomasse sont perdues par hectare soit une proportion de 8,89 %. Au sein de cette même catégorie d'affectation des terres, un gain de 28,5 t.ms de biomasse s'opère par hectare soit une proportion de 33,12 %. La variation de la biomasse dans cette catégorie d'affectation des terres est de 20,84 t.ms/ha soit une proportion de 24,23 %. Par an, on observe une perte de 1696,78 t.ms et un gain de 6319,38 t.ms, ce qui correspond respectivement à - 6,14 % et 22,85 % de la quantité de biomasse. Au total dans les terres forestières, 22058,18 t.ms (-6,14 %) de biomasse sont perdues et 82151,89 t.ms (22,85 %) de biomasse sont gagnées soit une variation de 60093,71 t.ms (16,71 %). Au sein des terres savanicoles, 466097,79 t.ms (-13,42 %) de biomasse sont perdues dans l'ensemble du secteur d'étude soit -4,44 t.ms/ha (-4,94 %) et -35853,68 t.ms/an (-13,42 %). Par contre, elles ont gagné 2826559,57 t.ms de biomasse (81,41 %) soit 26,91 t.ms/ha (29,95 %) et 217427,66 t.ms/an (81,41 %). Au niveau des terres cultivées, les pertes et les gains de biomasse sont évaluées respectivement à -92 749,92 t.ms (-17,34 %) et 442109,37 t.ms (82,66 %) dans l'ensemble du secteur d'étude soit une variation de 349359,45 t.ms (65,32 %). Sur une superficie d'un hectare, les pertes sont de -4,29 t.ms (-17,34 %) et les gains de 20,43 t.ms (82,66 %) soit une variation de 16,15 t.ms (65,32 %). De façon annuelle, on observe une perte de -7134,61 t.ms (-17,34 %) et un gain de 34008,41 t.ms (82,66 %) ce qui correspond à une variation de 26 873,80 t.ms (65,32 %).

3.4. Variation de la biomasse aérienne ligneuse due à la conversion des terres forestières

Le tableau 2 montre la variation de la biomasse aérienne ligneuse due à la conversion des terres forestières dans la FCGTR.

Conversion des terres forestières	Variation spatiale		Variation temporelle		Variation totale	
	Ba (t.ms/ha)	P (%)	Ba (t.ms/an)	P (%)	Ba (t.ms)	P (%)
TF_TS	-41,66	-48,42	-18034,08	-65,21	-234442,98	-65,21
TF_TC	-8,23	-9,57	-1605,74	-5,81	-20874,59	-5,81

Légende : Ba (t/ha) : Biomasse aérienne ligneuse (tonne/hectare) ; Conversion : TF_TS : Terres forestières vers terres savanicoles ; TF_TC : Terres forestières vers terres cultivées ; P (%) : Proportion en pourcentage

Tableau 2. Variation de la biomasse aérienne ligneuse due à la conversion des terres forestières

L'examen du tableau 2 révèle que sur le plan spatial, une proportion de 48,42 % de la biomasse est perdue lors de la conversion des terres forestières vers les terres savanicoles. Ce qui correspond à

une quantité de biomasse de 41,66 t.ms/ha. De même, la conversion des terres forestières vers les terres cultivées fait perdre une quantité de 8,23 t.ms/ha de biomasse soit une proportion de 9,57 % de biomasse. Sur le plan temporel, 18034,08 t.ms de biomasse sont perdues par an soit une proportion de 65,21 %. La conversion vers les terres cultivées fait perdre 1605,74 t.ms de biomasse par an dans la FCGTR, ce qui correspond à une proportion de 5,81 %. Dans l'ensemble du secteur d'étude, 234442,98 t.ms de biomasse sont perdues lors de la conversion vers les terres savaniques (65,21 %). La conversion vers les terres cultivées a fait perdre 20874,59 t.ms de biomasse soit 5,11 % dans l'ensemble du secteur d'étude.

3.5. Variation de la biomasse aérienne ligneuse due à la conversion des terres savaniques

Le tableau 3 montre la variation de la biomasse aérienne ligneuse due à la conversion des terres savaniques dans le FCGTR.

Conversion des terres savaniques	Variation spatiale		Variation temporelle		Variation totale	
	Ba (t.ms/ha)	P (%)	Ba (t.ms/an)	P (%)	Ba (t.ms)	P (%)
TS_TF	54,92	61,14	507,18	0,19	6 593,33	0,19
TS_TC	-3,56	-3,96	-132 84,59	-4,97	-172 699,67	-4,97
TS_EH	-0,005	-0,01	-0,007	0,00	-0,097	0,00

Légende : Ba (t/ha) : Biomasse aérienne ligneuse (tonne/hectare) ; Conversion : TS_TF : Terres savaniques vers terres forestières ; TS_TC : Terres savaniques vers terres cultivées ; TS_E : Terres savaniques vers établissement humain ; P (%) : Proportion en pourcentage

Tableau 3. Variation de la biomasse aérienne ligneuse due à la conversion des terres savaniques

L'examen du tableau 3 révèle que sur le plan spatial, les terres forestières ont gagné 54,92 t.ms/ha de biomasse venant des terres savaniques soit une proportion de 61,14 %. La conversion vers les terres cultivées fait perdre 3,56 t.ms/ha de biomasse aux terres savaniques soit une proportion de 3,96 %. De même une quantité de 0,005 t.ms/ha de biomasse est perdue par les terres savaniques lors de leur transformation vers les établissements humains soit 0,01 %. Sur le plan temporel, la quantité de biomasse gagnée par les terres forestières lors de la conversion des terres savaniques est de 507,18 t.ms/an soit 0,19 %. La conversion vers les terres cultivées s'est faite avec une perte de 13284,59 t/an de biomasse soit une proportion de 4,97 %. Par ailleurs, chaque année, une quantité de 0,007 t.ms de biomasse est perdue par la conversion des terres savaniques vers les établissements humains. Dans l'ensemble du secteur d'étude, 6593,33 t.ms de biomasse sont gagnées par les terres forestières lors de la conversion des terres savaniques soit une proportion de 0,19 %. La conversion vers les terres cultivées fait perdre 172699,67 t.ms de biomasse aux terres savaniques soit une proportion de 4,97 %. De même, la conversion vers les établissements humains fait perdre 0,097 t.ms de biomasse aux terres savaniques.

4. DISCUSSION

Les formations végétales naturelles ont régressé de 51114,33 ha entre 1990 et 2018 au profit des champs et jachères soit une proportion de 27,34 %. Cette régression des formations végétales dans le Nord du Bénin a été déjà observée par Mama et al. (2013). De même, Bondé et al. (2013), remarquent que le paysage soudanien est en pleine mutation avec une conversion progressive des formations soudanaises en formations sahéliennes.

Dans la FCGTR, entre 1990 et 2018, les terres forestières et les terres savanicoles ont régressé respectivement de -4,30 % et de -24,04 %. Par contre les terres cultivées ont progressé de 27,34 %. Plusieurs études ont montré que la conversion des formations végétales s'opère dans les unités spatiales dominées par des pressions exercées sur les ressources naturelles par le prélèvement des ligneux et l'agriculture (Avakoudjo et al., 2014). Les causes de la dégradation sont donc d'origine anthropique (Adjonou et al., 2010). Dans le bassin versant de la Sota, Zakari (2015), a constaté la régression de toutes les formations végétales naturelles au profit des champs et jachères qui ont connu une expansion de 113,47 km²/an. De même, à l'est du bassin cotonnier du Nord-Bénin, Toko Imorou et al. (2018), ont observé une transformation des terres forestières (831,39 km²) en savanes et en mosaïque de champs et jachères. Ces défrichements agricoles et l'exploitation forestière éliminent un grand nombre d'arbres y compris la biomasse (M'Bow, 2013).

La répartition disproportionnée de la biomasse à travers le secteur d'étude dans les catégories d'affectation des terres évaluées est attribuée à la densité, à l'hétérogénéité de la taille des arbres et aux perturbations. La biomasse élevée dans les terres forestières (53,33 t/ha) est attribuée à la présence d'arbre à biomasse élevée. Les terres à faible biomasse sont principalement les terres agricoles (22,39 t/ha) et les zones boisées ayant connu un niveau élevé de perturbation de même que les terres savanicoles (32,39 t/ha) avec des arbres à faible biomasse. La biomasse déterminée pour la forêt classée de Goungoun et ses terroirs riverains est inférieur aux chiffres donnés en Tanzanie par Munishi *et al.* (2010). Les différences sont attribuées à l'intensité de perturbations humaines.

Le changement de couverture terrestre entre 2005 et 2018 a eu un impact sur la biomasse dans le secteur de recherche. Entre 2005 et 2018, une tendance à la baisse des stocks totaux de biomasse a été détectée dans le secteur de recherche (6324192,6 t.ms en 2005 et 3297517,8 t.ms en 2018 soit une diminution de 47,86 %). Selon Pellikka *et al.* (2018), ce genre de changement se traduit par une réduction de la biomasse.

Les résultats ont également montré que la quantité de biomasse diminue avec l'évolution du gradient de perturbation. Les terres forestières avaient la plus forte quantité de biomasse, tandis que les terres cultivées avaient la valeur la plus faible. Le défrichage des terres à des fins agricoles diminue la quantité de végétation ligneuse dans le paysage, ce qui entraîne une diminution des stocks totaux de biomasse (Pellikka *et al.*, 2018). À l'échelle continentale, Baccini *et al.* (2012), ont observé que le défrichage des arbres peut avoir un impact significatif sur les variations des stocks de biomasse. C'est ce qui justifie la faible quantité de biomasse obtenue dans les terres cultivées de la FCGTR (22,18 t.ms/ha). Dans les empiétements agricoles, Works (2008), a obtenu 8,14 t.ms/ha de biomasse, valeur qui reste inférieure à celle de la FCGTR. La faible quantité de biomasse observée dans les exploitations agricoles est justifiée par l'intensité de la pratique de l'agriculture, qui est reconnue comme la pratique causant plus de dommages en termes de perte de biomasse (Zapfack *et al.*, 2013). En effet, les exploitants, en vue de limiter la concurrence pour la lumière, indispensable à l'activité de photosynthèse des cultures, abattent certains arbres. Ce qui a pour impact une réduction du potentiel ligneux et par la même occasion une baisse de la biomasse (Ouédraogo et al., 2019).

La conversion des terres forestières vers les terres savanicoles et les terres cultivées s'accompagnent de pertes de biomasse. Leur transformation vers les terres savanicoles a fait perdre 234442,98 t de biomasse dans le secteur d'étude soit 41,66 t/ha et 18 034,08 t.ms/an. Quant à leur conversion vers

les terres cultivées, 20874,59 t.ms de biomasse soit 8,23 t.ms/ha et 1605,74 t.ms/an sont perdues. Cette perte de biomasse est observée par Baccini *et al.* (2017), lors de l'expansion des terres cultivées dans la forêt de Mau, au Kenya.

Une diminution de 21,8 % de la biomasse total des forêts du Kenya a été détectée, passant de 2507 Tg en 1992 à 1961 Tg en 2001 soit un taux annuel moyen de 2,4 %. Une perte de 14630 t.ms a été également observé par M'Bow *et al.* (2013) lors de la réduction des terres savaniques du Sénégal. Ainsi Zheng *et al.* (2007), attribuent ces pertes aux changements de la couverture terrestre. La fragmentation des forêts réduit donc les réservoirs de biomasse et mettent en péril les efforts d'atténuation du climat à plus long terme (Balima *et al.*, 2020). Par contre, Pellikka *et al.* (2013), ont remarqué que le ralentissement de l'expansion des terres cultivées semble favoriser la séquestration du carbone. Une augmentation de 143 t.ms/ha de biomasse arienne a été observée par Jha *et al.* (2020), après un temps de récupération de 20 ans. Une estimation légèrement supérieure à celle prédite par Poorter *et al.* (2016a) dans les forêts secondaires néotropicales (122 t.ms/ha) et qui sont supérieures à celle observée dans la FCGTR lors de la conversion des terres savaniques vers les terres forestières. Une accumulation de 4,22 t.ms/ha/an qui correspond à 54,92 t.ms/ha a été observée. Ce taux d'accumulation de biomasse est proche de l'estimation pantropicale de Silver *et al.* (2000), et est similaire aux taux de récupération par défaut du continent donnés par les lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre (GIEC, 2006). Ainsi, on conclut que l'hypothèse qui sous-tend que la biomasse et le stock de carbone varient selon l'intensité de d'utilisation des catégories d'affectation des terres est donc vérifiée.

5. CONCLUSION

Les résultats de l'analyse de la dynamique de l'occupation des terres indiquent que les changements se sont opérés des formations végétales naturelles vers les formations anthropiques. Les terres forestières et les terres savaniques ont vu leur potentiel ligneux se réduire à travers les activités comme l'agriculture, l'exploitation du bois et le pâturage. La déforestation et la dégradation des forêts ont été observées.

Ces phénomènes de déforestation et de dégradation des forêts ont modifié la biomasse ligneuse. En effet, une relative stabilité de la quantité de biomasse ligneuse est observée au niveau des terres forestières et des terres savaniques qui n'ont pas été converties en d'autres unités. Par contre, une perte importante de biomasse ligneuse est observée lors de la conversion des terres forestières et des terres savaniques en terres cultivées. Les terres savaniques restent les catégories d'affectation des terres qui concentrent la plus grande quantité de biomasse. La diminution globale de la quantité de biomasse observée peut perturber le cycle climatique à travers le stock de carbone et l'émission des gaz à effet de serre.

6. RECONNAISSANCE

Les auteurs remercient les membres du Laboratoire de Cartographie pour leur avoir offert un cadre scientifique d'échanges.

7. APPUI FINANCIER

Nous remercions le programme d'Observation Spatiale des Forêts d'Afrique Centrale et de l'Ouest (OSFACO) qui a supporté notre inscription en première année de thèse à travers le projet "Evaluation

de la Déforestation et de la Dégradation des forêts dans les aires protégées et terroirs villageois du bassin cotonnier du Bénin (E2DF)" porté par le Laboratoire de Cartographie (LaCarto). Cet article a été rédigé en utilisant les données de notre thèse de doctorat.

8. ROLE DES AUTEURS

MAZO Ismaël : Elaboration du cadre théorique, méthodologie, analyse des résultats, écriture du manuscrit, correction du manuscrit révisé, soumission à la revue.

AROUNA Ousséni : Appui à l'élaboration du cadre théorique, méthodologie, analyse des résultats, relecture du manuscrit, relecture du manuscrit révisé, supervision.

TOKO IMOROU Ismaïla : Relecture du manuscrit, relecture du manuscrit révisé, supervision.

9. REFERENCES

- Adjonou, K. ; Ali, N. ; Kokutse, A. D. ; & Novigno, S. K (2010). Etude de la dynamique des peuplements naturels de *Pterocarpus ericaceus* surexploités au Togo. Bois et forêts des tropiques, 306, pp. 45-55.
- Agbanou, T (2018). Modélisation des changements d'occupation des terres en région soudanienne au Nord-Ouest du Bénin." European Scientific Journal, 14(12), pp. 248-266.
- Asner, G. P. ; Powell, G. V. ; Mascaró, J. ; Knapp, D. E. ; Clark, J. K. ; Jacobson, J. ; & Secada, L (2010). High-resolution forest carbon stocks and emissions in the Amazon. Proceedings of the National Academy of Sciences, 107 (38), pp. 16738-16742.
- Avakoudjo, J. ; Mama, A. ; Toko Imorou, I. ; Kindomihou, V. ; & Sinsin, B (2014). Dynamique de l'occupation du sol dans le Parc National du W et sa périphérie au nord-ouest du Bénin. International Journal of Biological and Chemical Sciences, 8(6), pp. 2608-2625.
- Baccini, A. G. S. J. ; Goetz, S. J. ; Walker, W. S. ; Laporte, N. T. ; Sun, M. ; Sulla-Menashe, D. ; & Samanta, S (2012). Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon-density maps. Nature climate change, 2(3), pp. 182-185.
- Baccini, A. ; Walker, W. ; Carvalho, L. ; Farina, M. ; Sulla-Menashe, D. ; & Houghton, R. A (2017). Tropical forests are a net carbon source based on aboveground measurements of gain and loss. Science, 358(6360), pp. 230-234.
- Balima, L. H. ; Nacoulma, B. M. I. ; Bayen, P. ; Kouamé, F. N. G. ; & Thiombiano, A (2020). Agricultural land use reduces plant biodiversity and carbon storage in tropical West African savanna ecosystems: Implications for sustainability. Global Ecology and Conservation, 21, 875 p.
- Bondé, L. ; Ouédraogo O. ; Kagembèga F. ; & Boussim, J. I (2013). Impact des gradients topographique et anthropique sur la diversité des formations ligneuses soudanaises. Bois et forêts des tropiques, 318, pp. 15-25.
- Brown, S (2002). Measuring carbon in forests: current status and future challenges. Environmental pollution, 116(3), pp. 363-372.
- Cairns, M. A. ; Brown, S. ; Helmer, E. H. ; & Baumgardner, G. A (1997). Root biomass allocation in the world's upland forests. Oecologia, 111(1), pp. 1-11.
- Deo, R. C. ; Kisi, O. ; & Singh, V. P (2017). Drought forecasting in eastern Australia using multivariate adaptive regression spline, least square support vector machine and M5Tree model. Atmospheric Research, 184, pp. 149-175.
- Gourlet-Fleury, S. ; Mortier, F. ; Fayolle, A. ; Baya, F. ; Ouédraogo, D. ; Bénédet, F. ; & Picard, N (2013). Tropical forest recovery from logging : a 24 year silvicultural experiment from Central Africa. Philosophical Transactions of the Royal Society B : Biological Sciences, 368(1625), 20120302.

- GIEC (Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'évolution du Climat), (2006). Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre. Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. et Tanabe K. (eds). Publié : IGES, Japon, 132 p.
- Houghton, R. A. ; House, J. I. ; Pongratz, J. ; Van Der Werf, G. R. ; DeFries, R. S. ; Hansen, M. C. ; & Ramankutty, N (2013). Carbon emissions from land use and land-cover change. *Biogeosciences*, (12), pp. 5125-5142.
- Huang, X. ; Liu, M. Y. ; Belongie, S. ; & Kautz, J (2018). Multimodal unsupervised image-to-image translation. In *Proceedings of the European Conference on Computer Vision*, (pp. 172-189).
- Issifou Moumouni, Y (2020). Evaluation de la déforestation et de la dégradation du couvert végétal et estimation des gaz à effet de serre correspondants dans le bassin moyen de la Sota au Nord-Bénin. (Thèse de doctorat), Université d'Abomey-Calavi, Bénin.
- Jha, N. ; Tripathi, N. K. ; Chanthorn, W. ; Brockelman, W. ; Nathalang, A. ; Pélissier, R. ; & Réjou-Méchain, M (2020). Forest aboveground biomass stock and resilience in a tropical landscape of Thailand. *Biogeosciences*, 17(1), pp. 121-134.
- Johnson, M. O. ; Galbraith, D. ; Gloor, M. ; De Deurwaerder, H. ; Guimberteau, M. ; Rammig, A. ; & Phillips, O. L (2016). Variation in stem mortality rates determines patterns of above-ground biomass in Amazonian forests: implications for dynamic global vegetation models. *Global change biology*, 22(12), pp. 3996-4013.
- Keith H., Mackey B. G., & Lindenmayer D. B. (2009). Re-evaluation of forest biomass carbon stocks and lessons from the world's most carbon-dense forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(28), pp. 11635-11640.
- Lin, C. H. ; Kong, C. ; & Lucey, S (2018). Learning efficient point cloud generation for dense 3d object reconstruction. In *Thirty-Second AAAI Conference on Artificial Intelligence*.
- Lucas, A (2015). Propriété littéraire et artistique. 5^e édition, Dalloz, 189 p.
- Mama, A. ; Sinsin, B. ; De Cannière, C. ; & Bogaert, J (2013). Anthropisation et dynamique des paysages en zone soudanienne au nord du Bénin. *Tropicicultura*, 31(1), pp. 78-88.
- M'bow, C. ; Fensholt, R. ; Rasmussen, K. ; & Diop, D (2013). Can vegetation productivity be derived from greenness in a semi-arid environment ? Evidence from ground-based measurements. *Journal of Arid Environments*, 97, pp. 56-65.
- M'bow, C. ; Smith, P. ; Skole, D. ; Duguma, L. ; & Bustamante, M (2014). Achieving mitigation and adaptation to climate change through sustainable agroforestry practices in Africa. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 6, pp. 8-14.
- Munishi, P. K. ; Temu, R. A. P. ; & Soka, G (2010). Plant communities and tree species associations in a Miombo ecosystem in the Lake Rukwa basin, Southern Tanzania: Implications for conservation. *Journal of Ecology and the Natural Environment*, 3, pp. 63-71.
- Ouédraogo, R. A. ; Kambiré, F. C. ; Kestemont, M. P. ; & Bielders, C. L. (2019). Caractériser la diversité des exploitations maraîchères de la région de Bobo-Dioulasso au Burkina-Faso pour faciliter leur transition agroécologique. *Cahiers Agricultures*, 28, 20 p.
- Pan, Y. ; Birdsey, R. A. ; Fang, J. ; Houghton, R. ; Kauppi, P. E. ; Kurz, W. A. ; & Ciais, P. (2011). A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science*, 333(6045), pp. 988-993.
- Direction Générale des Forêts et des Ressources Naturelles (2013). Plan d'Aménagement Participatif des forêts classées de Sota-Goungoun et Goroubi 2013-2022, Vol (1). 152 p.
- Parker, R. I. ; & Vannest, K (2009). An improved effect size for single-case research : Nonoverlap of all pairs. *Behavior Therapy*, 40(4), pp. 357-367.

- Pelikka, P. K. E. ; Heikinheimo, V. ; Hietanen, J. ; Schäfer, E. ; Siljander, M. ; & Heiskanen, J (2018). Impact of land cover change on aboveground carbon stocks in Afromontane landscape in Kenya. *Applied Geography*, 94, pp. 178-189.
- Phillips, J. ; Duque, Á. ; Scott, C. ; Wayson, C. ; Galindo, G. ; Cabrera, E. ; & Duivenvoorden, J (2016). Live aboveground carbon stocks in natural forests of Colombia. *Forest Ecology and Management*, 374, pp. 119-128.
- Poorter, L. ; Bongers, F. ; Aide, T. M. ; Zambrano, A. M. A. ; Balvanera, P. ; Becknell, J. M. ; & Craven, D (2016). Biomass resilience of Neotropical secondary forests. *Nature*, 530, pp. 211-214.
- Silver, W. L. ; Ostertag, R. ; & Lugo, A. E (2000). The potential for carbon sequestration through reforestation of abandoned tropical agricultural and pasture lands. *Restoration ecology*, 8(4), pp. 394-407.
- Toko Imorou, I. ; Pelebe, O. R. ; Tonato, R. ; Guedegba, N. L. ; Agbohessi, T. P. ; & Kestemont, P (2018). Indices biométriques et paramètres de croissance du tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) exposé aux pesticides agricoles dans les retenues d'eau du Nord-Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 12(3), 1401-1414.
- Works, W (2008). The Kasigau Corridor REDD Project Phase I-Rukinga Sanctuary. CCB project design document. 31 p.
- Zakari, S (2015). Vulnérabilité des parcours naturels aux changements climatiques dans le bassin de la Sota à l'exutoire de coubéri (Bénin). Thèse de Doctorat, Université d'Abomey-Calavi, 203 p.
- Zapfack, L. ; Noumi, V. N. ; Kwouossu, D. P. ; Zemagho, L. ; & Nembot, F. T (2013). Deforestation and carbon stocks in the surroundings of Lobéké National Park (Cameroon) in the Congo Basin. *Environment and Natural Resources Research*, 3(2), 78 p.
- Zakari, S.; Mazo, I.; Toko Imorou, I.; Djaouga, M.; Arouna, O.; & Thomas, O (2018). Cartographie des changements spatio-temporels des unités d'occupation des terres dans la forêt classée de Goungoun et ses terroirs riverains, Actes de la conférence, OSFACO, pp. 229-246
- Zhang, D. ; Ryu, K. ; Liu, X. ; Polikarpov, E. ; Ly, J. ; Tompson, M. E. ; & Zhou, C (2006). Transparent, conductive, and flexible carbon nanotube films and their application in organic light-emitting diodes. *Nano letters*, 6(9), pp. 1880-1886.
- Zheng, H. ; Wang, J. ; Lofland, S. E. ; Ma, Z. ; Mohaddes-Ardabili, L. ; Zhao, T. ; & Viehland, D (2007). Multiferroic $\text{BaTiO}_3\text{-CoFe}_2\text{O}_4$ nanostructures. *Science*, 303(5658), pp. 661-663.

10. TERMES CLES ET DEFINITIONS

Affectation des terres : Utilisation humaine d'un terrain dans un but donné

Biomasse ligneuse : Quantité totale de matière organique vivante aérienne dans la végétation.

Conversion : Passage d'une affectation des terres à une autre

Déforestation : Conversion anthropique à long terme ou permanente de terres forestières en terres non forestières

Matière sèche : La matière sèche se réfère à la biomasse qui a été séchée pour atteindre un état sec à l'étuve, normalement à 70° C.