



## The 1<sup>st</sup> International Conference on Local Resource Exploitation

[www.lorexp.org](http://www.lorexp.org) / [info@lorexp.org](mailto:info@lorexp.org)  
REF: LOREXP\_2021\_A1104 Pages: 132–146



### Evaluation multicritère du zonage de la forêt classée de l'Alibori supérieur au nord Bénin

#### *Multi-criteria assessment of the zoning of the forest class of alibori upper in north Benin*

Issiako Dramane<sup>1,\*</sup>, Arouna Ousséni<sup>1,2</sup>, Zakari Soufouyane<sup>1</sup>, Ibrahim Amadou Oussén<sup>1,2</sup>, Abdoulaye Moussadikou<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire de Cartographie (LaCarto), Université d'Abomey-Calavi (UAC), 10 BP 1082, Cotonou, Bénin.

<sup>2</sup> Ecole des Sciences et Techniques du Bâtiment et de la Route (ESTBR), Université Nationale des Sciences, Technologies, Ingénierie et Mathématiques d'Abomey (UNSTIM),

\* Auteur correspondant : [dramaneissiako@gmail.com](mailto:dramaneissiako@gmail.com) ; (+229) 96 07 93 79)

#### RÉSUMÉ :

Le non-respect de la limite des zones agricoles par les populations locales et colons agricoles au sein de la forêt classée de l'Alibori Supérieur (FCAS) met en danger la conservation de la biodiversité végétale. L'objectif de cette recherche est d'évaluer la mise en œuvre du zonage du Plan d'Aménagement Participatif de la forêt classée de l'Alibori Supérieur de 2009 à 2010. Les méthodes utilisées sont basées sur l'analyse diachronique et les inventaires phytosociologiques et forestiers. Les résultats de l'analyse comparative diachronique du couvert végétal sur la base des images satellitaires montrent que les superficies des zones de protection, les zones de production forestière ont régressé au profit essentiellement des zones agro-forestières. Outre, des zones agro-forestières qui ont connu une augmentation de leurs superficies, de même que les zones de service et les zones improductives. Par ailleurs, les résultats du test t d'échantillon apparié au seuil de 5 %, révèlent qu'il y a une différence significative entre l'indice de diversité de Shannon et d'équitabilité de Piélu de 2013 et celui de 2020 des zones de protection ( $p < 5\%$ ) et des zones de production forestière ( $p < 5\%$ ). Cette comparaison des paramètres structuraux au seuil de 5 %, révèle une différence significative entre les valeurs de la densité et de la surface terrière de 2013 et celle de 2020 des formations des zones de protection ( $p < 5\%$ ) et des zones de production forestière ( $p < 5\%$ ). Les résultats du test t, révèlent une différence non significative entre la valeur des indices de diversités et les paramètres dendrométriques de 2013 et celle de 2020 pour l'ensemble des formations végétales des zones agro-forestières.

**Mots clés :** Forêt Classée de l'Alibori Supérieur, Analyse comparative, Paramètres de diversité et dendrométriques, Zonage.

#### ABSTRACT:

Failure to respect the limit of agricultural zones by local populations and agricultural settlers within the classified forest of Alibori upper (FCAS) endangers the conservation of plant biodiversity. The objective of this research is to evaluate the implementation of the zoning of the Participatory Development Plan of the classified forest of Alibori Supérieur from 2009 to 2010. The methods used are based on diachronic analysis and phytosociological inventories and foresters. The results of the diachronic comparative analysis of plant cover based on satellite images show that the areas of protection zones and forest production zones have declined in favor mainly of agro-forestry zones. In addition, agroforestry areas which have experienced an increase in their surface area, as well as service areas and unproductive areas. In addition, the results of the paired sample t test at the 5 % threshold reveal that there is a significant difference between the Shannon diversity index and Piélu fairness index of 2013 and that of 2020 of the areas of protection ( $p < 5\%$ ) and forest production areas ( $p < 5\%$ ). This comparison of the structural parameters at the 5 % threshold reveals a significant difference between the values of density and basal area of 2013 and that of 2020 of the formations of the protection zones ( $p < 5\%$ ) and of the forest production zones. ( $p < 5\%$ ). The results of the t test reveal a non-significant difference between the value of the diversity indices and the dendrometric parameters of 2013 and that of 2020 for all the plant formations in agroforestry zones.

**Keywords:** Upper Alibori classified forest, Comparative analysis, Diversity and dendrometric parameters, Zoning.

## 1. INTRODUCTION

Les écosystèmes forestiers sont une composante essentielle de la biodiversité mondiale, car de nombreuses forêts disposent d'une biodiversité plus importante que les autres écosystèmes (FAO et PNUE, 2020). Il en ressort, entre autres, une grande perte de la biodiversité et des services écosystémiques, ainsi que la raréfaction des ressources forestières, avec des répercussions sociales et économiques (Gbedahi et al., 2019).

Au Bénin, le couvert forestier national est dans sa majeure partie dégradé et (Zakari et al. 2019). Le couvert végétal est passé de 5 761 000 ha en 1990 à 4 561 000 ha en 2010, soit une perte de 20,8 %. Cette perte correspond en moyenne à 60 000 ha de couverture forestière par an soit 1,04 % (FAO, 2010). La dégradation des terres est liée à la pauvreté et à des pressions humaines, aux régimes fonciers et à la sécheresse qui ont pour corollaires le surpâturage, les activités agricoles non durables, la surexploitation des terres, et la déforestation (Avakoudjo et al. 2014). Malgré l'adhésion par tous à la gestion participative, les forêts classées ne sont pas épargnées.

L'ensemble des aires protégées et forêts classées de la zone soudanienne au Nord Bénin, caractérisées de forêts et savanes, constituent l'un des écosystèmes forestiers importants de par leurs diversités biologiques et de par leurs superficies en thème de conservation de la biodiversité végétale (Issiako et Arouna, 2018). De nombreuses zones forestières protégées sont gérées de manière à concilier les moyens d'existence locaux et la conservation de la biodiversité (Ngom et al., 2012). La FCAS devrait disposer d'un zonage multicritère qui n'est rien d'autre la répartition spatiale fonctions majeures et spécifiques répondant aux objectifs environnementaux de conservation, contribuant à une série de services écosystémiques chiffrables, du point de vue du développement, en termes économiques : séquestration du carbone, stabilisation des sols, qualité de l'air et de l'eau. Afin de combiner efficacement conservation, utilisation durable des ressources et production du savoir, la réserve de biosphère doit nécessairement bénéficier d'une stratification, d'un zonage intégré et d'une gestion coopérative (Ngom et al., 2012). L'utilisation des critères et indicateurs est l'une des approches les plus partagées par la communauté scientifique internationale pour suivre et évaluer la durabilité de la gestion des systèmes forestiers à divers niveaux géographiques (Djogbenou et al., 2008). Le principe du zonage consiste à définir la meilleure affectation des terres au vu de leurs caractéristiques écologiques et des objectifs d'aménagement (Houndagba et al., 2003). L'évaluation multicritère du zonage du plan d'aménagement permet d'avoir une compréhension globale afin d'apprécier la performance et la réussite de la mise en œuvre du zonage d'aménagement forestier.

- quelle est la tendance évolutive des formations végétales avant et après la mise en œuvre du zonage ?
- quel est l'état des paramètres de diversités et dendrométriques des formations végétales avant et après le zonage ?

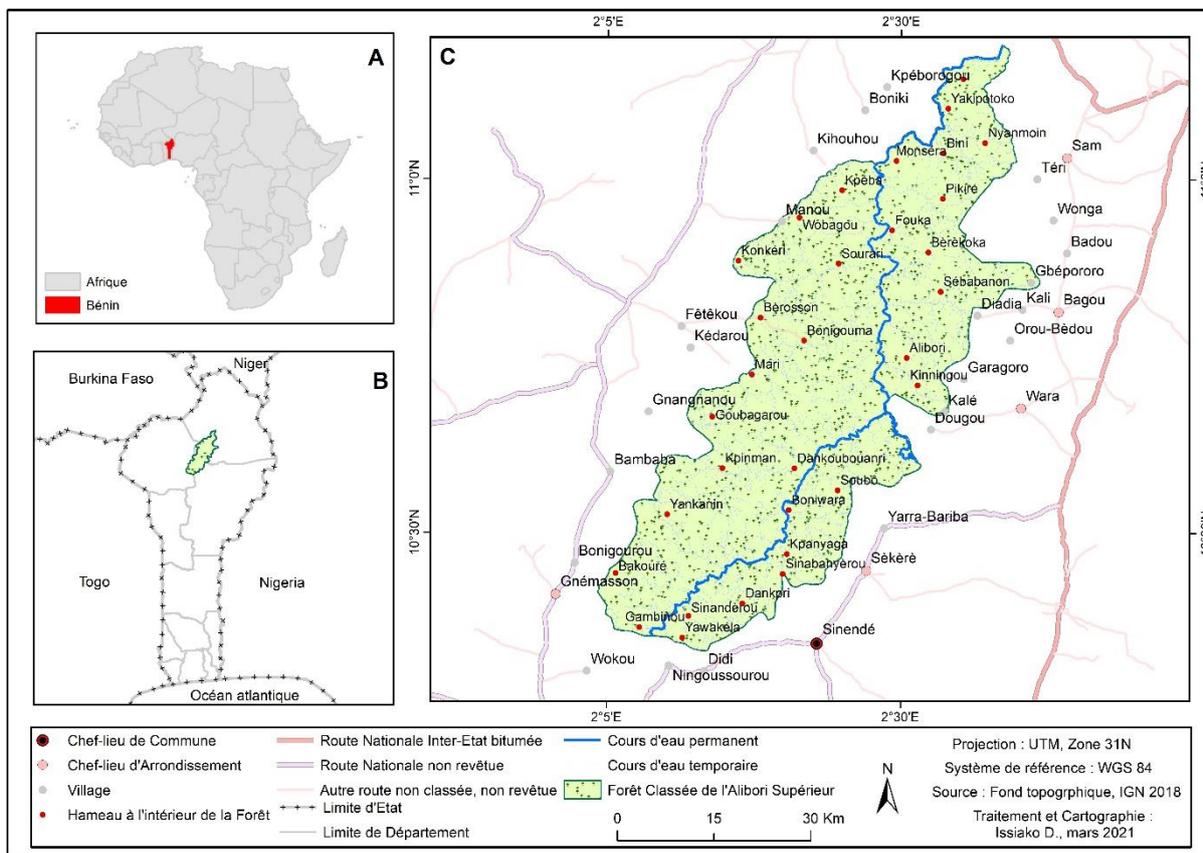
L'objectif global de la présente recherche est d'évaluer la mise en œuvre du zonage du plan d'aménagement. De façon spécifique, il s'est agi de réaliser une analyse diachronique comparative du couvert forestier et de comparer les paramètres structuraux et de diversité des formations végétales des différentes zones.

Cette recherche est fondée sur l’hypothèse que la mise en œuvre du zonage participe efficacement à la préservation de la biodiversité végétale et de l’utilisation rationnelle des ressources naturelles afin d’assurer un développement durable aux générations futures.

## 2 MATERIEL ET METHODES

### 2.1. Localisation géographique de la FCAS

La forêt classée de l’Alibori supérieur (FCAS) est à cheval entre les Départements de l’Atacora, du Borgou et de l’Alibori. Elle est localisée entre 10°14 et 11°40 de latitude Nord et entre 1°54’ et 2°55 de longitude Est. Elle est sise dans les Communes de Gogounou, Kandi, Banikoara, Kèrou, Ouassa-Péhunco et Sinendé réputées grandes productrices de coton, de maïs et d’igname où le taux d’accroissement entre 2002 et 2013 est en moyenne de 4 % (INSAE, 2015). Elle couvre une superficie de 256 000 hectares. Au cours de la période précoloniale, la forêt du bassin de l’Alibori Supérieur était gérée par les autorités traditionnelles. Elle a été par la suite classée par l’arrêté N°6459 SE du 18 août 1955, promulgué par le gouvernement de l’Afrique Occidentale Française (Arouna, 2002 et DGFRN, 2012). L’arrêté de classement a défini clairement les droits d’usage : ramassage des bois morts, la récolte des fruits, des plantes médicinales et alimentaires, la récolte de la paille pour des besoins personnels. La chasse par des procédés non prohibés y est autorisée de même que l’aménagement des parcours des bovins des populations peulh (Issiako et Arouna, 2018). La Figure 1 montre la localisation géographique de la FCAS.



**Figure 1** : Localisation géographique de la forêt classée de l’Alibori Supérieur

## 2.2 Délimitation des zones

Les zones d'aménagement sont définies à partir des types d'occupation des terres auxquels sont affectés des vocations ou objectifs de gestion (DGFRN, 2012). On distingue ainsi dans les FC AS quatre (04) zones d'aménagement que sont :

- **Zone de production forestière**

Elle occupe une superficie de 209.557,04 ha, soit 84 % de la superficie des forêts. Dans cette série se mènent les principales activités de restauration forestière à savoir l'enrichissement des peuplements naturels et le reboisement en plein des zones dégradées.

- **Zone agro-forestière**

La zone agro-forestière, occupant 34.619,46 ha, soit environ 14 % de la superficie des forêts, regroupe les portions du domaine forestier classé où les populations exercent déjà les activités agricoles et, les parties du domaine classé où sont installées les habitations définitives ou semi définitives de superficie supérieure à un (01) ha et qui sont plus ou moins groupées.

- **Zone de protection**

En raison de la dégradation des forêts, les galeries forestières constituent la zone de protection, avec une superficie de 5.862,23 ha, soit environ 2 % de la superficie des FC-AS. Les parcelles ou sous parcelles concernées sont exclues de toutes activités d'exploitation afin d'assurer la conservation de la biodiversité.

- **Zone de service**

Cette zone est essentiellement constituée du réseau de pistes à l'intérieur des forêts et des domaines des infrastructures sociocommunautaires existantes ou à réaliser. Elle couvre une superficie de 89,99 ha et représente moins de 1 % de la superficie totale des FC AS.

- **Zone improductive**

Elle prend en compte les sols dénudés, surfaces rocheuses à la production forestière. Elle couvre une superficie de 76,84 ha et représente moins de 0,03 % de la superficie totale des FC AS.

## 2.3 Matériel et méthodes de la cartographie diachronique du couvert forestier des zones d'aménagement

La cartographie diachronique du couvert forestier des différentes zones d'aménagement a été réalisée. Les références des dates et données planimétriques utilisées sont :

- la carte du zonage de 2009 réalisée par Direction Générale des Forêts et Ressources Naturelles du Bénin (DGFRN) en juillet 2009 a été utilisée.

- les données planimétriques utilisées sont : les cartes topographiques, au 1/50 000, réalisées par l'Institut Géographique du Bénin en 2018 ; les images SENTINEL-2A (Bande 13) en format Geotiff de 2019 : Path 192 et Row 52 ; Path 192 et Row 53 ; d'une résolution spatiale de 20 m, obtenue sur le site internet earthexplorer-usgs.gov/usa.

## 2.4 Traitement numérique des images satellitaires

Le traitement des images satellitaires s'est fait à l'aide de logiciel QGIS et ArcGIS. Les opérations de prétraitement ont consisté à faire le mosaïquage des deux (2) scènes d'images et les corrections radiométriques pour enlever les rayures présentes sur les images et les rendre plus lisibles.

Concernant le traitement (classification), il a été créé un modèle nécessaire à son lancement en se servant des ROIs créés au préalable. Le module Train Random Forest Image Classifier de la boîte à outils de Orfeo a permis la création du modèle. Une fois le modèle validé à travers la valeur « Global performance », pour chaque image, la classification est faite à partir du module Image classifier contenu dans la boîte à outils Orfeo.

Une validation de l'image de 2019 a été faite en confrontant les points vérité terrain aux classes issues de l'interprétation numérique des images. Au total, 195 points répartis sur les différentes unités d'occupation des terres ont été vérifiés sur le terrain. Cette confrontation a permis de générer automatiquement la matrice de confusion portant les informations relatives à la précision globale.

## 2.5 Détection des changements

La matrice de transition a permis de mettre en évidence les différentes formes de conversion qu'ont subies les formations végétales entre deux les dates. Elle est constituée de X lignes et de Y colonnes. Le nombre de lignes de la matrice indique le nombre d'unités d'occupation des terres au temps  $t_0$  ; le nombre Y de colonnes de la matrice est le nombre de classes converties au temps  $t_1$  et la diagonale contient les superficies des formations végétales restées inchangées. Les transformations se font des lignes vers les colonnes.

### ✓ Taux de conversion des unités d'occupation des terres

Il a permis de mesurer le degré de conversion d'une unité donnée en d'autres unités d'occupation des terres (Aldwaik et Pontius, 2012). Il est déterminé à partir de la matrice de transition suivant l'équation 1 :

$$T_c = \frac{S_{it} - S_{is}}{S_{it}} \times 100 \quad (1)$$

Avec **T<sub>c</sub>** : taux de conversion ; **S<sub>it</sub>** : Superficie de l'unité *i* à la date initiale  $t$  ; **S<sub>is</sub>** : Superficie de la même unité demeurée stable à la date  $t_1$ .

### ✓ Analyse des intensités et vitesses des changements entre 2009 et 2019

Deux programmes d'analyses ('PontiusMatrix22' et 'Intensity Analysis02.xlms') de (Issiako, 2015), ont permis de mesurer (en %) les intensités des changements selon les intervalles de temps, les catégories et les transitions entre catégories d'occupation des terres. Ils se sont tous basés sur les matrices de transition de 2009 - 2019 pour générer des graphiques et les statistiques montrant les intensités de changements selon les intervalles de temps, entre chaque catégorie d'occupation des terres et les autres unités d'occupation des terres.

## 2.6 Matériel et méthode d'analyse des caractéristiques de diversités et dendrométriques

### 2.6.1 Données utilisées

Les résultats des inventaires phytosociologiques et forestiers effectués dans les différentes zones d'aménagement de la Forêt Classée de l'Alibori Supérieur en 2013 (Braun-Blanquet, 1932) ont été utilisés.

#### ➤ Paramètres de diversités utilisés

Les paramètres de diversités utilisés pour la présente recherche sont :

- l'indice de diversité de Shannon et de l'équitabilité de Pielou.

#### ➤ Paramètres dendrométriques utilisés

Les paramètres dendrométriques utilisés pour la présente recherche sont :

- les valeurs moyennes de la densité et de la surface terrière.

### 2.6.2 Inventaires phytosociologique et forestier

En matière de gestion forestière, la réalisation d'un inventaire est capitale. Cet inventaire nécessite le plus souvent de recourir à l'échantillonnage compte tenu du temps et des moyens pour parvenir à des résultats fiables.

#### ➤ Méthode de relevés phytosociologiques

La réalisation des relevés phytosociologiques requiert une méthode appropriée d'étude. Celle utilisée est la méthode sigmatiste de (Akoegninou et al., 2006). Cette méthode stipule que les aires de relevés doivent être suffisamment homogènes sur le plan floristique et topographique.

L'aire de relevé est une placette carrée de 100 m<sup>2</sup> pour la strate herbacée, de 900 m<sup>2</sup> pour les strates arbustives et arborées. Pour certaines stations particulières telles que les forêts-galeries, des ajustements ont été parfois effectués dans les dimensions des plateaux tout en respectant l'aire de relevé retenue. Il s'agit des réajustements de type 45 m x 20 m afin de respecter la forme des galeries forestières. Au niveau des différentes formations végétales, 195 plateaux ont été installés. Le nombre de plateaux par formation végétale a été déterminé sur la base de l'étendue des formations végétales.

L'identification des espèces est faite soit directement sur le terrain, soit à partir des spécimens récoltés et comparés à ceux de l'herbier national du Bénin ou à partir des Flores existantes (Piélou, 1966).

#### ➤ Méthodes de traitement des données floristiques

Les paramètres

#### ✓ Indice de diversité de Shannon (H)

Il a permis de mesurer la diversité spécifique d'un groupement. Sa formule mathématique est donnée par l'équation 2 :

$$H = -\sum P_i \log_2 P_i \quad (2)$$

Avec  $P_i = (n_i/N)$  : la fréquence relative des individus de l'espèce (i) ;  $(n_i)$  : le nombre d'individu (s) de l'espèce (i) ;  $(N)$  : le nombre total d'individus recensés.

Cet indice varie généralement de 0 à 5 bits. Les valeurs élevées de H traduisent les conditions favorables du milieu pour l'installation de nombreuses espèces. Par contre les valeurs faibles de H traduisent les conditions défavorables du milieu pour l'installation des espèces.

#### ✓ **Équitabilité de Pielou (E)**

L'équitabilité de Konan et al. (2019) mesure le degré de diversité atteint par un peuplement et correspond au rapport entre l'indice de diversité de Shannon (H) et la diversité maximale théorique (Hmax) qui est égal au logarithme (log) à base 2 du nombre de taxons. Elle est déterminée à partir de l'équation 3 :

$$E = \frac{H}{\log_2 R} \quad (3)$$

H représente l'indice de diversité de Shannon ;  $\log_2 R$  est la valeur théorique de la diversité maximale pouvant être atteinte dans chaque groupement ; elle correspond à un état de répartition égale de tous les individus entre toutes les espèces du groupement ; R est la richesse spécifique.

Cette équitabilité varie de 0 à 1. Les valeurs proches de 1 témoignent d'une régulière distribution des individus entre les espèces. Par contre, les valeurs proches de 0 correspondent à la présence d'un nombre élevé d'espèces rares ou d'un petit nombre d'espèces dominantes.

#### ✓ **Inventaire forestier**

Les données structurales recueillies sont : le nombre d'individus par espèce, le diamètre des ligneux de dbh  $\geq 10$  cm, la hauteur de l'arbre le plus haut et le degré d'ouverture de la strate arborescente. Le diamètre des ligneux de dbh  $\geq 10$  cm est mesuré à 1,30 m au-dessus du sol. Les données dendrométriques sont collectées dans les plateaux. La hauteur des arbres est obtenue à l'aide du clinomètre SUUNTO.

#### ✓ **Traitement des données dendrométriques**

La densité et la surface terrière sont les paramètres à calculer pour la caractérisation dendrométrique.

#### ✓ **Densité (D)**

La densité est le nombre de tiges par hectare (équation 4).

$$D = \frac{N \times 10000}{S} \quad (4)$$

D est le nombre de tiges à hectare ; N est le nombre de tiges ; S est la superficie inventoriée rapportée à l'hectare.

#### ✓ **Surface terrière (G)**

La surface terrière est la somme des sections des troncs des arbres à un niveau de référence. Sa formule est donnée par les équations 5 ou 6 :

$$G = \frac{10000\pi}{4S} \sum_{i=1}^n d_i^2 \quad \text{ou} \quad (5)$$

$$G = \frac{1}{4\pi S} \sum_{i=1}^n c_i^2 \times 10000 \tag{6}$$

G est en m<sup>2</sup>/ha ; d (cm) est le diamètre à 1,30 m au-dessus du sol ; c = circonférence à 1,30 m au-dessus du sol ; S : Superficie inventoriée rapportée à l’hectare.

### 2.6.3 Comparaison des données floristiques et dendrométriques 2013 et 2020

Le logiciel SPSS 21.0 a permis de tester la différence entre les valeurs des paramètres floristiques et dendrométriques calculés de 2013 et ceux de 2020 afin de s’assurer de leur significativité.

Le test appliqué pour la présente recherche est : le test t d’échantillons appariés. Le test t d’échantillons appariés permet de comparer la moyenne de deux populations (2013 - 2020). L’hypothèse nulle (H<sub>0</sub>) est qu’il n’existe pas de différence significative au seuil α = 0,05 (P > 0,05). L’hypothèse alternative (H<sub>1</sub>) est qu’il existe de différence significative au seuil α = 0,05 (P < 0,05).

## 3 RÉSULTATS

Les résultats ont été organisés en deux parties, il s’agit de : analyse comparative de la dynamique du couvert forestier et analyse comparative des paramètres de diversités et dendrométriques de la végétation des différentes zones.

### 3.1 Dynamique du couvert forestier des zones entre 2009 et 2019

La dynamique du couvert forestier a été analysée à partir des cartes du couvert forestier des zones de 2009 et de 2019.

On dénombre respectivement 5 zones en 2009 et 2019. Le tableau 1 présente les transitions qui se sont opérées au sein de ces zones dans la FCAS entre 2009 et 2019.

**Tableau 1** : Matrice de transition du couvert forestier des zones entre 2009 et 2019

Zone 2009	Zone 2019					S <sub>2009</sub> (ha)
	ZP	ZPTF	ZAF	ZS	ZI	
ZP	1340,60	0	4507,00	4,23	10,39	5862,23
ZPTF	0	99185,92	110273,56	94,81	2,75	209557,04
ZAF	0	0	34384,85	10,61	224,00	34619,46
ZS	0	0	0	82,06	7,93	89,99
ZI	0	0	0	0	76,84	76,84
S <sub>2019</sub> (ha)	1340,60	99185,92	149165,42	191,71	321,91	250205,56

**Légende** : ZP : Zone de protection ; ZPTF : Zone de production forestière ; ZAF : Zone agroforestière ; ZS : Zone de service ; ZI : Zone improductive ; S<sub>2009</sub> : Superficie en 2009 ; S<sub>2019</sub> : Superficie en 2019

L’analyse du tableau I permet de comparer les différentes zones entre elles aux deux dates. C’est ainsi qu’entre 2009 et 2019, soit à 10 ans d’intervalle, l’occupation des terres se caractérise par une diminution des surfaces couvertes dans les zones de protection (4521,63 ha), les zones de production forestière (110371,12 ha). Cette diminution s’est faite au profit essentiellement des zones agro-forestières (78808,32

ha). Outre des zones agro-forestières qui ont connu une augmentation de leur superficie, il y a de même les zones de service (109,65 ha) et les zones improductives (245,07 ha). Il résulte de cette analyse une avancée du front des zones agro-forestières qui s’est traduite par un empiétement des champs cultivés sur les formations végétales naturelles. La progression des champs et jachères dans cette zone est liée à l’augmentation des emblavures de la production cotonnière. Ce qui engendre la déforestation du couvert végétal (figure 2).

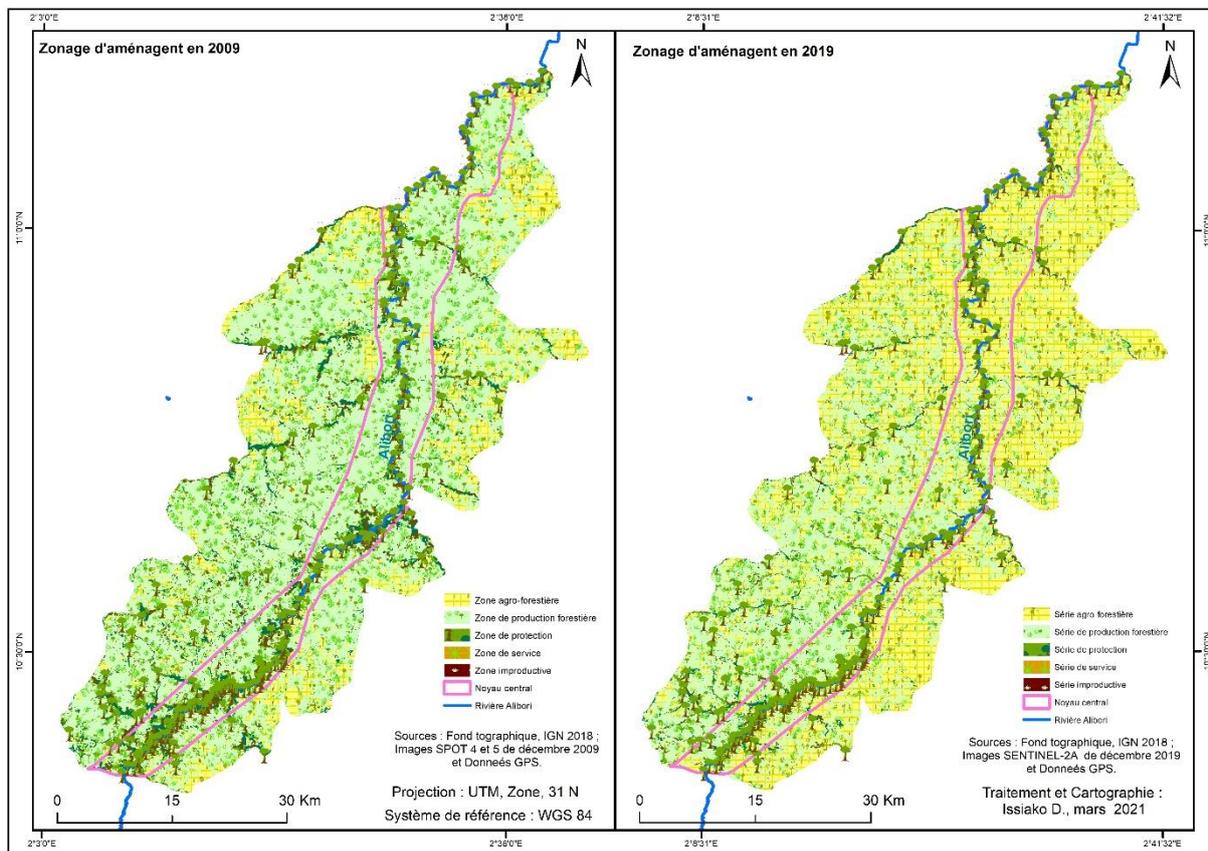


Figure 2 : Carte du couvert végétal des zones d’aménagement de 2009 – 2019

Le Tableau 2 présente le bilan des conversions pendant la période de 2009 à 2019.

Tableau 2 : Bilan des conversions pendant la période de 2009 à 2019

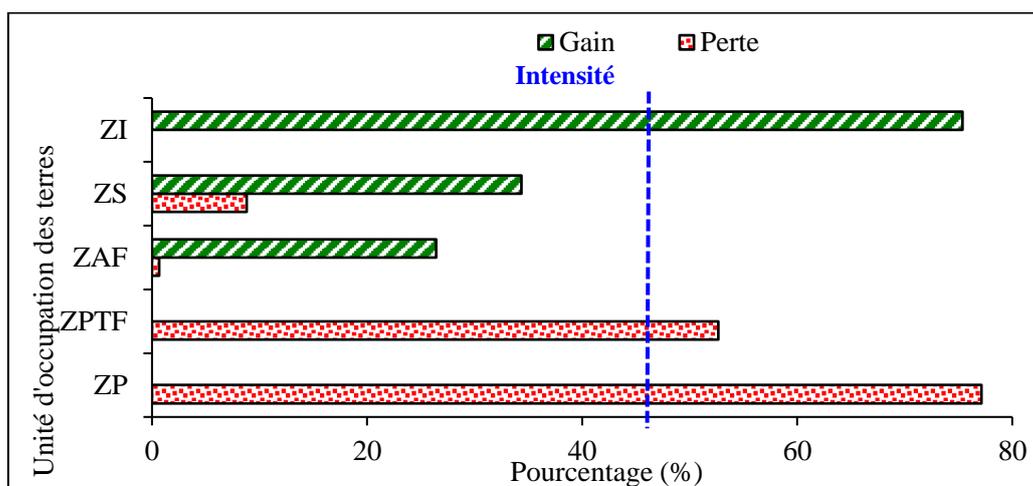
Zones	Sup (ha) 2009	P (%)	Sup (ha) 2019	P (%)	Bilan
ZP	5862,23	2,34	1340,60	0,54	-1,81
ZPTF	209557,04	83,75	99185,92	39,64	-44,11
ZAF	34619,46	13,84	149165,42	59,62	45,78
ZS	89,99	0,04	191,71	0,08	0,04
ZI	76,84	0,03	321,91	0,13	0,10
<b>Total</b>	<b>250205,56</b>	<b>100</b>	<b>250205,56</b>	<b>100</b>	

Il ressort du tableau II qu’entre 2009 et 2019, la superficie des zones de protection et les zones de production forestière ont régressé respectivement de - 1,91 % et de - 44,11 %. Cependant, les zones agro-forestières ont progressé de 44,78 %. Cette progression est liée à une installation anarchique des champs de coton à

l'intérieur de la forêt. Ce qui engendre la déforestation du couvert végétal. Les formations forestières se transforment progressivement en formations anthropiques (champs et jachères) (Zakari et al. 2019). L'évolution régressive du couvert forestier traduit par ailleurs une diminution du potentiel ligneux. En effet, pour Arouna et al. (2016) les espaces naturels, grâce à leurs impressionnantes aptitudes culturelles, constituent les principaux réceptacles de toutes pratiques culturelles.

### 3.2. Intensité et vitesse des changements à l'intérieur de chaque catégorie d'occupation des terres entre 2000 et 2015

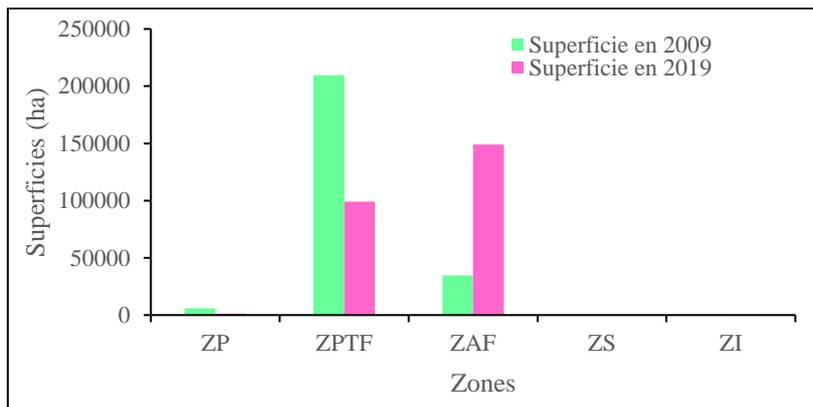
La figure 3 présente l'intensité et la vitesse des changements du couvert végétal à l'intérieur de chaque zone entre 2009 et 2019 dans la forêt classée de l'Alibori Supérieur.



Légende : ZP : Zone de protection ; ZPTF : Zone de production forestière ; ZAF : Zone agroforestière ; ZS : Zone de service ; ZI : Zone improductive

**Figure 3 :** Intensité et vitesse des changements à l'intérieur de chaque unité d'occupation des terres entre 2009 et 2019

Il ressort de l'analyse de la figure 3 que la ligne verticale en tirée de valeurs 47,60 % qui est la limite où les changements resteraient uniformes si les perturbations s'arrêtaient dans le secteur d'étude. A cet effet, avant cette ligne, les changements sont dits dormants ou lents. Par contre après la ligne, les changements sont qualifiés d'actifs ou rapides. Ainsi les pertes et les gains sont lents au niveau des zones agro-forestières et les services. Mais, au niveau des zones de protection, et les zones de production forestière, les pertes sont tous rapides. Par contre, les zones improductives ont connu de gains rapides d'où leur forte expansion. Cela s'explique à travers la pratique des techniques culturelles encore traditionnelles tels que le labour à la charrue, le défrichage total des arbustives. La croissance démographique, les besoins alimentaires et monétaires entraînent le manque de terres cultivables dans les terroirs villageois. Par conséquent, les terres forestières sont prises d'assaut par les populations riveraines à la recherche de nouvelles terres cultivables (Mama et al., 2021 et Aldwaik et Pontius, 2012). L'examen de la figure 4 montre que les zones forestières naturelles sont les plus abondantes en 2009 et les zones agro-forestières les plus abondantes en 2019.



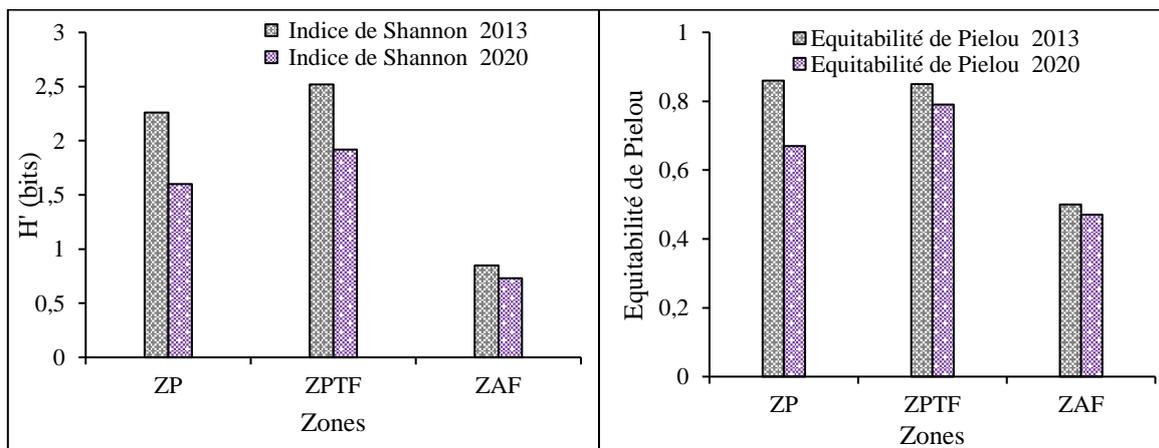
**Légende :** ZP : Zone de protection ; ZPTF : Zone de production forestière ; ZAF : Zone agroforestière ; ZS : Zone de service ; ZI : Zone improductive

**Figure 4 :** Evolution des zones

### 3.3 Variation des paramètres de diversités, écologiques et dendrométriques en fonction de la nature des zones

#### 3.3.1 Analyse comparative des paramètres de diversités, écologiques des zones de 2013 et 2019

La Figure 5 présente l'indice de diversité de Shannon et d'équitabilité de Pielou des formations végétales de 2013 et ceux obtenus en 2020 dans les zones d'aménagement forestier.



**(a)** Indice de Shannon des zones

**(b)** Equitabilité de Pielou

**Légende :** ZP : Zone de protection ; ZPTF : Zone de production forestière ; ZAF : Zone agroforestière ; ZS : Zone de service ; ZI : Zone improductive ; m : moyenne ;  $\sigma$  : écart-type ; N : Densité ; G : Surface terrière ; H' : Indice de diversité de Shannon ; E : Equitabilité de Pielou

**Figure 5 :** Indices de Shannon et d'équitabilité de Pielou des formations végétales des zones

L'examen de la Figure 5a révèle que la plus forte valeur de l'indice de diversité de Shannon est obtenue au niveau des zones de production forestière en 2013 (2,52 bits) ; par contre la plus faible valeur de ce paramètre est obtenue en 2020 dans les zones de protection (0,73 bits). Ce qui signifie que les formations végétales des zones de protection sont très dégradées et peu diversifiées.

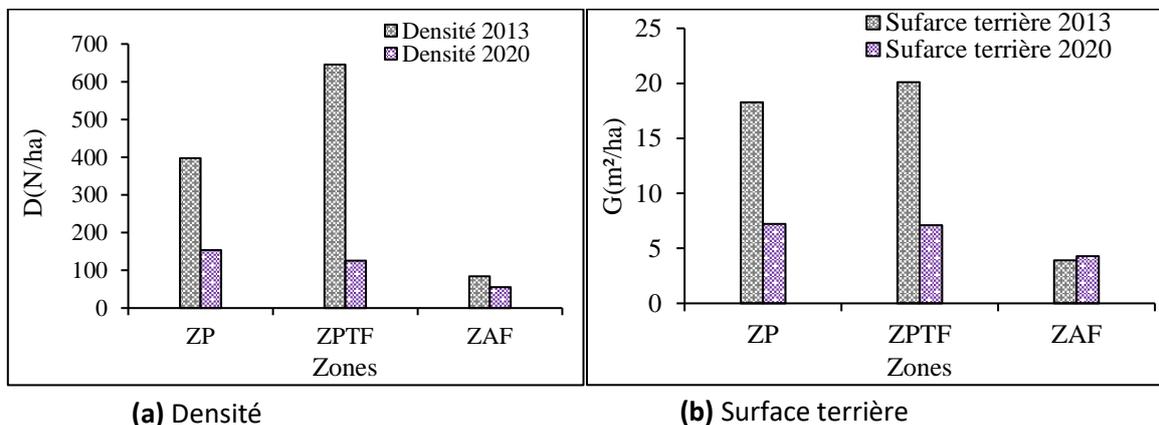
Par ailleurs, les résultats du test t d'échantillon apparié au seuil de 5 %, révèlent qu'il y a une différence significative entre l'indice de diversité de Shannon de 2013 et celui de 2020 des zones de protection ( $p =$

0,003) et des zones de production forestière ( $p = 0,0001$ ). Cette significativité montre que les formations végétales des zones ont été modifiées dans le temps et dans l'espace. Par contre, les résultats du même test montrent qu'il n'y a pas une différence significative entre les valeurs de l'indice de diversité de Shannon des zones agroforestières ( $p = 0,933$ ) entre 2013 et 2020. Ce qui signifie que, l'indice de diversité de Shannon des zones agroforestières entre ces deux dates sont quasi-similaires. La plupart des espèces en 2013 sont toujours présentes en 2020.

L'observation de la figure 5b montre que l'équitabilité de Pielou varie d'une formation à une autre et d'une année à une autre. Les résultats du test t d'échantillon apparié au seuil de 5 %, révèlent qu'il n'y a pas une différence non significative entre les valeurs de l'équitabilité de Pielou de 2013 et celles de 2020 et zones agroforestières ( $p = 0,285$ ). Ce qui signifie que, l'équitabilité de Pielou des zones agroforestières entre ces deux dates sont quasi-similaires. Par contre, les résultats du même test montrent qu'il y a une différence significative entre les valeurs de l'équitabilité de Pielou des zones de protection ( $p = 0,006$ ) et des zones de production forestière ( $p = 0,011$ ) entre 2013 et 2020. Ce qui montre que les formations végétales naturelles des zones de production ont été modifiées dans le temps et dans l'espace. L'indice d'équitabilité de Pielou des zones agroforestières entre les deux dates est inférieur à 0,6. Cela explique alors que les zones agroforestières sont peu diversifiées. Pour Diop (1999) un indice d'équitabilité inférieur à 60 % ( $< 0,6$ ) caractérise un environnement perturbé.

### 3.3.2 Analyse comparative des paramètres dendrométriques des zones de 2013 et 2020

La figure 6 présente la moyenne de la densité et de la surface terrière des formations végétales de 2013 et celle obtenue en 2020 dans les zones d'aménagement.



Légende : ZP : Zone de protection ; ZPTF : Zone de production forestière ; ZAF : Zone agroforestière ; ZS : Zone de service ; ZI : Zone improductive ; m : moyenne ;  $\sigma$  : écart-type ; N : Densité ; G : Surface terrière ; H' : Indice de diversité de Shannon ; E : Equitabilité de Piélou

**Figure 6 :** Densité et surface moyenne des arbres par formations végétales dans les zones d'aménagement. En examinant la figure 6a, il ressort que les plus faibles densités des ligneux de dbh = 10 cm sont obtenus dans les zones agroforestières en 2020 et les plus fortes densités dans les zones de production forestières en 2013. Les valeurs de densité dans toutes les zones de 2013 sont supérieures à celles de 2020. De même les résultats du test t d'échantillon apparié au seuil de 5 %, révèlent une différence significative entre la densité de 2013 et celle de 2020 des formations telles que les zones de protection et les zones de production

forestière. Cette significativité montre alors que l'exploitation forestière est pratiquée même dans les zones de protection de la FCAS malgré la mise en œuvre du plan d'aménagement qui a planifié dans l'espace et dans le temps cette exploitation forestière. Par contre, le test t d'échantillon apparié est non significatif entre la densité des zones agroforestières ( $p = 0,577$ ) entre 2013 et 2020. Ce qui signifie que, la densité de ces formations entre ces deux dates est quasi-similaire.

L'observation de la figure 6b montre que les valeurs de la surface terrière dans toutes les formations végétales des zones d'aménagement de 2009 sont supérieures à celles de 2020 sauf pour les zones agroforestières. Cela montre alors que l'exploitation forestière est plus pratiquée dans toutes les formations végétales des zones de protection et zones de production forestière de la FCAS. De même, les résultats du test t d'échantillon apparié au seuil de 5 %, révèlent une différence significative entre la surface terrière de 2013 et celle de 2020 des formations des zones de protection ( $p = 0,001$ ) et des zones de production forestière ( $p = 0,001$ ). Ce qui signifie que, les espèces ligneuses de grand diamètre se font rares dans les zones des productions. Par contre, le test t est non significatif entre la surface terrière des zones agroforestières entre 2013 et 2020. Cela montre que les zones agroforestières sont devenues hétérogènes en 2020. Seuls quelques ligneux d'intérêt socio-économique sont épargnés. Les espèces végétales les plus fréquentes sont : *Khaya senegalensis*, *Azalia africana*, *Parkia biglobosa*, *Vitellaria paradoxa*, *Sterculia setigera*. Cette baisse des valeurs de la densité et de la surface terrière des zones de protection, les zones de production forestière s'explique par la coupe des essences de valeurs à grand diamètre dues à l'exploitation forestière (Issifou et al., 2019). Finalement, l'État et les comités de gestion à la base restent impuissants devant cette exploitation forestière anarchique et se contentent du prélèvement des taxes.

#### 4. CONCLUSION

L'analyse diachronique du couvert végétal des zones d'aménagement telles que les zones de protection, les zones de production forestière et les zones agroforestières de 2009 à 2019 a révélé une régression des superficies des zones protection, et les zones de production forestière puis la progression des zones agroforestières. Les forêts naturelles ont régressé au profit des formations anthropiques.

Le test t d'échantillon apparié a permis de comparer les valeurs des paramètres de diversités et dendrométriques obtenues dans les différentes formations végétales des zones d'aménagement de 2013 et celles de 2020. Les résultats du test t d'échantillon appariés au seuil de 5 % ( $P < 0,05$ ), révèlent une différence significative des valeurs d'indice de Shannon, d'équitabilité de Piélou, de la densité et de la surface terrière pour l'ensemble des formations végétales des zones de protection, les zones de production forestière de 2013 et celles de 2020. Les tests statistiques de l'inventaire forestier et phytosociologique révèlent que le potentiel ligneux de la forêt, actuellement très faible, malgré l'existence d'une zone d'exploitation forestière. La mise en œuvre du zonage d'aménagement de 2009 à 2020 pour préserver la FCAS n'a pas donné les résultats concluants. La délimitation d'un zonage d'aménagement forestier devrait pas se faire essentiellement sur la base des cartes d'occupation des terres. Par conséquent, l'administration

forestière devrait plus s'intéresser à d'autres critères tels que les cours d'eau, la topographie, la densité de la population des communes riveraines.

L'évaluation multicritère des zones d'aménagement de la Forêt classée de l'Alibori Supérieur est la base de l'élaboration des stratégies appropriées de gestion et de conservation des essences de valeurs comme le karité (*vitellarie paradoxa*) et le néré (*parkia biglobosa*). Les matières premières provenant de ces espèces emblématiques combinées à la modernisation des techniques traditionnelles de transformations agroalimentaires peuvent contribuer à la fabrication et à la transformation des produits très bonne qualité qui répondent aux exigences des populations.

## 5. RÉFÉRENCES

- Akoegninou A., Van der burg W. J. & Van der Maesen I. J. G., 2006. Flore analytique du Bénin. Backhuys Publishers. *Wageningen*, 1064 P.
- Aldwaik S. Z. and Pontius Jr. R. G., 2012. Intensity analysis to unify measurements of size and stationarity of land changes by interval, category, and transition. *Landscape and Urban Planning*, **106**, 1031–114.
- Arouna O., 2002. L'exploitation des ressources biologiques et la dynamique de la forêt classée de l'Alibori supérieur au Bénin (secteur de l'arrondissement de Bagou). *Mémoire de maîtrise, DGAT, FLASH/UAC*, Bénin, 117 p.
- Arouna O., Eténé C. G. & Issiako D., 2016. Dynamique de l'occupation des terres et état de la flore et de la végétation dans le bassin supérieur de l'Alibori au Bénin. *Journal of Applied Biosciences*, **108**, 10531–10542.
- Avakoudjo J., Mama A., Toko I., Kindomihou V. et B. Sinsin, 2014. Dynamique de l'occupation du sol dans le Parc National du W et sa périphérie au nord-ouest du Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **8**(16), 2608–2625.
- Braun-Blanquet J., 1932. Plant sociology: The study of plant communities (Fac simile of the edition of 1932). Translated by Fuller G. D. and Conard H. S. New-York : Hafner Publishing Company, 439p.
- DGFRN (Direction Générale des Forêts et Ressources Naturelles), 2012. Plan d'Aménagement Participatif de la Forêt Classée de l'Alibori supérieur (PAP-FCAS) 2010 – 2019. 136p.
- Diop M. S., 1999. Diversité aviaire et comportement reproducteur des Petits Calaos à bec rouge (*Tockuserythrorhynchus*) et à bec noir (*Tockusnasutus*) dans les aires protégées de la Petite-Côte du Sénégal. Thèse de doctorat, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 187 p.
- Djogbenou C. P., Arouna O., Glèlè Kakai R. L. & Sinsin B. 2008. Critères et indicateurs de participation des populations locales à l'aménagement forestier au Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin*, **62**, 1–14.
- FAO, 2010. Evaluation des Ressources forestières mondiales, Rapport principal, 377 p.
- FAO et PNUE, 2020. La situation des forêts du monde 2020. Forêts, biodiversité et activité humaine. Rome. DOI: <https://doi.org/10.4060/ca8642fr>
- Gbedahi O. L. C., Biaou S. S. H., Mama A., Gouwakinnou G. N. et Yorou N. S., 2019. Dynamique du couvert végétal à Bassila au nord Bénin pendant et après la mise en œuvre d'un projet d'aménagement forestier. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **13**(11), 311–324. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v13i1.25>

- Houndagba C. J., Tente A. B. H. et Guedou R., 2003. Dynamique des forêts classées dans le cours moyen de l'Ouémé au Bénin : Kétou, Dogo et Ouémé-Boukou. *Collection Colloques et séminaires « Quelles aires protégées pour l'Afrique de l'Ouest ? Conservation de la biodiversité et développement »* Gouvernement du Bénin, Unesco, FAO, IRD de France et Banque mondiale., 2003.
- INSAE, 2015. RGPH4 « Que retenir des effectifs de population en 2013 » ? Cotonou, Direction des études démographiques, institut national de la statistique et de l'analyse économique (INSAE), Bénin, 35 p.
- Issiako D. et Arouna O., 2018. Dynamique de l'occupation des terres avant et après l'élaboration du plan d'aménagement participatif de la forêt classée de l'Alibori supérieur au Nord-Benin. *Actes de la conférence scientifique internationale OSFACO : Images satellitaires pour un meilleur aménagement des territoires et une gestion durable de la biodiversité.*
- Issiako D., 2015. «Dynamique de l'occupation du sol dans le bassin supérieur de la rivière Alibori (secteur Banikoara-Gogounou)». Mémoire de maîtrise, DGAT/FLASH/UAC, Bénin, 95 p.
- Issifou Moumouni Y., Toko Imorou I. et Moussa A. D., 2019. Caractérisation de la dégradation à travers la diversité floristique et la structure de la végétation dans le bassin moyen de la Sota au Nord-Bénin. *International Journals of Sciences and High Technologies*, **18**(1), 53–70.
- Konan K. E., Mafou K. C., Sylla D., Diomande G., Lida D. S., 2019. Modélisation prospective de la déforestation dans le Parc National du Mont Sangbé (Côte d'Ivoire), In Mertens, B. Orekan, V. Eds. 2019. *Actes de la Conférence : Des images satellites pour la gestion durable des territoires en Afrique*, 13-15 mars 2019, Cotonou, Bénin, 95–116.
- Mama A., Oumorou M., Sinsin B., De Canniere C. et Bogaert J., 2021. Anthropisation des paysages naturels des aires protégées au Bénin : cas de la Forêt Classée de l'Alibori Supérieur (FC-AS). *American Journal of Innovative Research and Applied Sciences*, **11**, 117–125.
- Ngom D., Faye O., Diaby N. et Akpo L. E., 2012. Le zonage ou la spatialisation des fonctions de la réserve de biosphère du Ferlo (Nord-Sénégal). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **6**(16), 5042–5055.
- Pielou E. C., 1966. Species diversity and pattern diversity in the study of ecological succession. *J. Theor. Biol.*, **10**, 370–383.
- Zakari S., Toko Imorou I., Arouna O., Djaouga M., Thomas O., 2019. Évaluation de la déforestation et de la dégradation des forêts dans les aires protégées et terroirs villageois du bassin cotonnier du Bénin., *Conférence OSFACO : Des images satellites pour la gestion durable des territoires en Afrique*, Mar 2019, Cotonou, Bénin. 23p. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02189556>.