

Dynamiques de l'occupation du sol des forêts classées et forêts sacrées de la Commune de Djougou au nord-ouest du Bénin de 2002 à 2022

I. Alassane¹, M. B. Agassounon², A. A. Wedjangnon¹, Y. Y. Akin¹ et C. A. I. N. Ouinsavi¹

¹MSc. ALASSANE Iliassou, Laboratoire d'Etudes et de Recherches Forestière (LERF), Département d'Aménagement et de Gestion des Ressources Naturelles (DAGR), Faculté d'Agronomie (FA), Université de Parakou (UP), 03 BP 123 Parakou, E-mail : tchaouna110@gmail.com, Tél : (+229)97487042, République du Bénin.

Dr. WEDJANGNON Adigla Appilinaire, LERF/DAGR/FA/UP, 03 BP 123 Parakou, E-mail : wedjangnon_app@yahoo.com, Tél : (+229)97364888, République du Bénin.

MSc. AKIN Yaï Yanik, LERF/DAGR/FA/UP, 03 BP 123 Parakou, E-mail : yanakinde22@gmail.com, Tél : (+229)66354393, République du Bénin. Laboratoire de Biomathématiques et d'Estimations Forestières (LABEF), Université d'Abomey Calavi, 04 BP : 1525 Abomey Calavi.

Pr. Dr. Ir. OUINSAVI Christine Ajokè I. N., LERF/DAGR/FA/UP, 03 BP 123 Parakou, E-mail : ouinsch@yahoo.fr, Tél : (+229)97256207, République du Bénin

²MSc. AGASSOUNON Mahougnon Bill, Laboratoire d'Ecologie, de Botanique et de Biologie Végétale (LEBPB/DAGR/FA/UP), 03 BP 123 Parakou, E-mail : billagassounon@gmail.com, Tél : (+229)96880196, République du Bénin.

*Auteur correspondant : MSc. ALASSANE Iliassou, E-mail : tchaouna110@gmail.com

Résumé

Les pratiques non durables développées par les producteurs et l'urbanisation sont devenues un problème environnemental majeur pour la conservation de la biodiversité des forêts classées et sacrées. Dans ce contexte, surveiller efficacement la végétation et pouvoir relever les défis liés à la conservation de la biodiversité est primordiale. L'objectif de l'étude était de comprendre la dynamique d'occupation des sols des forêts classées et sacrées pour la conservation des ressources forestières dans les villes et paysages adjacents. Ainsi, la dynamique de l'occupation du sol des forêts classées et forêts sacrées de la Commune de Djougou depuis 2002 à 2022 a été évaluée à partir des images satellitaires landsat ETM+ de 2002 et 2012 et OLI 2 de 2022. Les matrices de confusion pour la classification par la méthode du maximum de vraisemblance ont affiché pour la classification des images de 2002, 2012 et 2022 une précision globale de 98,81 % et un coefficient de Kappa de 0,99. Ces résultats ont indiqué des classifications acceptables avec exactitude. La distance séparant la forêt du centre-ville n'a influencé significativement ($p > 0,05$) ni la dynamique d'occupation du sol des forêts classées, ni des forêts sacrées. Par contre, le mode de gouvernance des forêts a été influencé significativement (Valeur de $F=13,61$; Prob=0,000 ; Déviance = 450,53 ; Prob=0,000). La déforestation a été apparente dans les forêts classées (59,27 % contre 12,35 % de la superficie totale) tandis que, les forêts sacrées ont été sujettes à la reconstitution naturelle (1,11 % de la superficie totale). La déforestation et la dégradation des formations forestières naturelles étaient plus importantes au cours de la période 2002–2012 dans les forêts sacrées et de 2012–2022 dans les forêts classées. Les changements observés dans les forêts classées résultent de l'exploitation intense des ressources par l'urbanisation et l'agriculture intensive, tandis que les forêts sacrées subissent une dégradation due à la coupe sélective du bois et au non-respect des interdictions. Une gestion durable efficace peut être obtenue en prenant en compte ces facteurs dans les programmes de gestion de ces formations naturelles.

Mots clés : Dynamique spatio-temporelle, déforestation, dégradation des forêts, Bénin

Land use dynamics of classified forests and sacred forests in the Commune of Djougou in Northwestern Benin from 2002 to 2022

Abstract

Unsustainable practices developed by producers and urbanization have become a major environmental problem for biodiversity conservation in classified and sacred forests. In this context, effective monitoring of vegetation and meeting the challenges of biodiversity conservation are paramount. The objective of the study was to understand the dynamics of land use in classified and sacred forests for the conservation of forest resources in adjacent cities and landscapes. Thus the dynamics of land use in classified and sacred forests of the Commune of Djougou from 2002 to 2022 was evaluated from Landsat TM satellite images of 2002, ETM+ of 2012 and OLI of 2022. The confusion matrices for classification by the maximum likelihood method showed for the classification of the 2002, 2012 and 2022 images with an overall accuracy of 98,81% and a Kappa coefficient of 0,99. These results indicated acceptable classifications with accuracy. The distance of the forest from the city centre did not significantly ($p > 0.05$) influence the land-use dynamics of either classified or sacred forests. However, forest governance influenced significantly (F -value = 13,61; Prob=0,000; Deviance = 450,53; Prob=0,000). Deforestation was apparent in classified forests (26,67% of the total area) while sacred forests were subject to degradation (28,57% of the total area). Deforestation and degradation of natural forest formations were more significant during the period 2002-2012 in sacred forests and 2012-2022 in

classified forests. The observed changes in classified forests are the result of intense exploitation of resources by urbanization and intensive agriculture, while sacred forests are undergoing degradation due to selective logging and non-compliance with prohibitions. Effective sustainable management can be achieved by taking these factors into account in management programmes for these natural formations.

Keywords: spatiotemporal dynamics, deforestation, forest degradation, Benin.

Introduction

Les forêts couvrent environ 31 % de la superficie planétaire et contribuent à conserver la biodiversité terrestre à plus de 80 % (FAO, 2018). Elles fournissent à la population riveraine de nombreux services écosystémiques essentiels à leur survie tels que, les services d'approvisionnement, culturels, de soutien et de régulation (FAO, 2018). Toutefois, de nos jours, le problème de destruction des forêts est un fait. Une réduction de leurs superficies est observée et corrélée à une dégradation du couvert forestier (Biaou *et al.*, 2019). Ainsi, depuis des décennies la lutte contre la destruction des écosystèmes forestiers a été au cœur des préoccupations et débats aussi bien au sein des chercheurs que des décideurs politiques (Akognongbe *et al.*, 2014). Plusieurs stratégies de conservation ont été très tôt développées pour lutter contre ce problème (Fastré *et al.*, 2020). Néanmoins, face à la pression croissante sur ces forêts, les stratégies de conservation se limitant autrefois à la protection de certains habitats et espèces particulières, ne permettent plus de freiner la destruction de la forêt ainsi que la réduction de sa biodiversité (Campos *et al.*, 2021). Le phénomène de la conversation est alors vue comme un concept holistique qui intègre à la fois les relations (dynamiques et bidirectionnelles) entre les humains et la nature (Campos *et al.*, 2021 ; Mace, 2014).

De cette situation générale, la situation est plus préoccupante dans les pays d'Afrique. En effet, si le taux de réduction des forêts est estimé à 1% dans le monde entier, en Afrique subsaharienne, le recul des forêts est beaucoup plus important avec un taux de 2,36% par an (FAO, 2020). Un fait qui contribue à la dégradation des ressources naturelles disponibles face à une population croissante (Wobeng *et al.*, 2020). Selon les Scénarios Shell, la population urbaine connaîtra une hausse de 2,7 milliards d'habitants supplémentaires dans le monde entier d'ici 2050 dont 29 % vivront en Afrique subsaharienne (Shell International BV, 2015). Pourtant, il est connu que l'accroissement de la population urbaine induit l'extension des surfaces artificialisées en périphérie des agglomérations urbaines. Ainsi, face à la forte croissance démographique dans les villes, comprendre la dynamique d'occupation et d'utilisation des terres a de grandes implications pour la conservation des ressources forestières aussi bien dans les villes que dans les paysages adjacents.

Les forêts urbaines et périurbaines ont été documentées comme procurant aux populations, de nombreux avantages sociaux, environnementaux et économiques précieux (Momangi *et al.*, 2023). Cependant, au Bénin, la destruction des forêts est un fait très remarquable. Les massifs forestiers disparaissent peu à peu pour laisser place à des plantations, des champs et des agglomérations (Avakoudjo *et al.*, 2014 ; Biaou *et al.*, 2022 ; Mama *et al.*, 2013). Surtout avec l'introduction de la culture du coton et l'urbanisation croissante dans les villes du Nord-Bénin, les grands massifs forestiers ont perdu chacun une importante partie de leur superficie. La dynamique du paysage évolue alors constamment sous l'effet des pratiques culturelles de plus en plus intenses dans le bassin cotonnier du Bénin (Kouta et Imorou, 2019). Dans cette partie du pays, les forêts classées subissent de très fortes pressions. Le paysage subit de nombreuses modifications sans être accompagnées d'une mesure de restauration (Akognongbe *et al.*, 2014). Ainsi, il urge de s'investir dans ce domaine afin de limiter la perte de la biodiversité. Dans cette optique, l'objectif de la présente étude a été d'analyser par télédétection les changements spatio-temporels et la vulnérabilité des unités d'occupation du sol des forêts classées et des forêts sacrées de la commune de Djougou au nord-ouest du Bénin, indispensable à la définition des mesures appropriées de leur conservation et protection.

Milieu d'étude

L'étude a été réalisée dans la Commune de Djougou (09°41'48" Nord et 1°39'23" Est), Chef-lieu du département de la Donga en République du Bénin (Figure 1). Avec une superficie de 3.966 km², la Commune de Djougou est située au Nord-Ouest du Bénin à environ 460 km de la capitale économique, Cotonou. Elle regorge en son sein, plusieurs forêts partagées entre les statuts « classée » et « sacrée » (Alassane *et al.*, 2021). Le climat dans cette zone est de type soudano-guinéen avec une saison sèche et une saison pluvieuse (Adomou, 2005). On y retrouve des sols de type ferrugineux, adaptés à plusieurs cultures vivrières en zone basses et aux arbres fruitiers et forestiers (Cournac et Seghieri, 2022). L'agriculture extensive constitue la principale activité des populations. Le paysage de la

commune de Djougou se compose de 70 % de formations forestières dont 37.182 ha de domaines protégés sous aménagés 20 % de cultures et 10 % d'habitations et de sols nus (Serpantié, 1996).

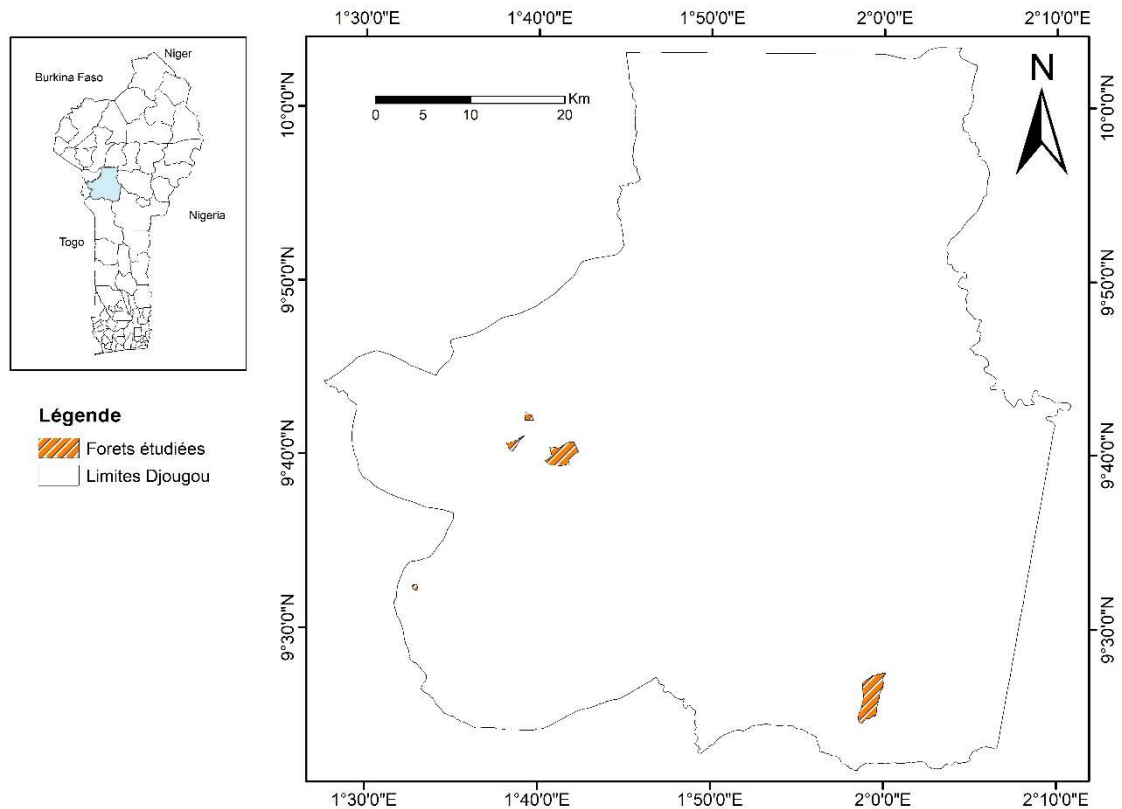


Figure 1. Localisation des forêts d'étude

Méthodologie

Données satellitaires et auxiliaires

Une série chronologique d'images satellitaires Landsat a été utilisées. Les images ortho-rectifiées et géo-référencées des années 2012, 2012 et 2022 ont été téléchargées sur le site <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Ces images ont été captées en saison sèche, dans le mois de décembre, où la couverture nuageuse était quasiment nulle et projetées dans le système UTM (Universal Transverse Mercator), Zone 31 Nord WGS-84 (World Geodesic System). Dans le tableau 1 sont décrites les propriétés des images satellitaires utilisées pour cette étude. En outre, des informations provenant de la mission de reconnaissance sur le terrain et de la validation des images classifiées ont également été prises en compte. De même, la distance à la ville principale la plus proche a été calculée pour chaque point à l'aide de l'outil Hubdistance, disponible dans Qgis.

Tableau 1. Récapitulatif des données utilisées

Satellites	Scènes	Date d'acquisition	Bandes	Résolution spatiale
LANDSAT 7 ETM+	192 - 53	Décembre 2002	Bleu (Blue)	30 m
			Vert (Green)	
		Décembre 2012	Rouge (Red)	
			Infrarouge proche (Near Infrared)	
LANDSAT 9 OLI 2	192 - 55	Décembre 2022	Bleu (Blue)	30 m
			Vert (Green)	
			Rouge (Red)	
			Infrarouge proche (Near Infrared)	

Méthodes de traitement des images satellitaires et de validation de l'interprétation

Prétraitement des images

Le prétraitement des images a consisté aux corrections radiométriques et atmosphériques des images (Bouhennache, 2018 ; Boulaassal *et al.*, 2020 ; Dupuy, 2021). Cela a permis de corriger les irrégularités du capteur, les bruits dus au capteur ou à l'atmosphère et la conversion des données afin qu'elles puissent représenter précisément le rayonnement réfléchi ou émis mesuré par le capteur. Ces différentes opérations ont été réalisées afin de détecter les changements dans la zone d'étude à partir de ces images de différentes époques. Ainsi, tous les objets noirs qui se trouvaient sur les images ont été soustraits, suivis de la calibration radiométrique des images.

Traitement des images

La méthode de classification supervisée avec un maximum de vraisemblance est celle utilisée (Balcik et Kuzucu, 2016 ; Biaou *et al.*, 2019). Dans chacune des Forêts choisies, plusieurs régions d'intérêt ont été délimitées, dont les coordonnées ont été enregistrées dans un GPS. Une classe d'occupation du sol a été affectée aux régions d'intérêt homogènes sur la base de leur signature spectrale (couleur, texture, structure, forme et localisation). Au total, 278 points d'entraînement ont été utilisés pour faire la classification. Chacune des classes d'occupation a été décrite suivant les observations du terrain, suivi d'une photographie numérique.

Amélioration, vectorisation et production cartographique des résultats de la classification

Après la validation de la classification, il a été procédé à l'amélioration du rendu cartographique des résultats. L'analyse majoritaire et minoritaire basée sur l'utilisation d'un filtre a été utilisée, suivi d'une homogénéisation des classes avec un filtre de taille 3x3 afin de rendre plus homogène la morphologie des différentes classes d'occupation du sol. Les résultats de la classification ont été ensuite exportés dans le format SHP pour leur intégration dans le Système d'Information Géographique (SIG). Le logiciel ArcGIS 10.6.1 a été utilisé pour l'habillage des images classées afin de réaliser un produit cartographique complet.

Evaluation de la précision et validation de la classification

Au total, 336 points de contrôle ont été visités sur le terrain. L'évaluation de la classification a consisté à déterminer de façon quantitative l'exactitude des classes d'occupation du sol définies. Elle a été basée sur le calcul de la matrice de confusion (Ahononga *et al.*, 2020 ; Biaou *et al.*, 2019 ; Gbedahi *et al.*, 2019) dont le rôle a été de comparer le résultat de la classification avec l'information de la réalité du terrain. La matrice de confusion a comporté plusieurs indicateurs de précision qu'ont été la précision globale, le coefficient Kappa, la précision pour l'utilisateur, l'erreur de commission, la précision pour le réalisateur et l'erreur d'omission. Le coefficient de Kappa utilisé pour évaluer la fiabilité ou l'accord inter-évaluateurs afin de valider la classification a été calculé à partir de la formule suivante (Bergeri et Michel, 2002) : $K = (a - b) / (1 - b)$; $a = (1/N) \sum_{i=1}^{Nc} x_{ii}$; $b = (1/N^2) \sum_{i=1}^{Nc} (x_{+i} \times x_{i+})$, avec : K = coefficient de Kappa, a = précision globale et b = précision prévue ; Nc = Nombre total de classes ; N = Nombre total d'observations ; x_{ii} = Nombre d'observations dans la colonne i et la ligne i correspondant à la diagonale de la matrice ; x_{i+} = Total des observations dans la colonne i (total à droite dans la matrice) ; x_{+i} = Total des observations dans la ligne i (total en bas de la matrice). L'interprétation de la force de l'accord en fonction de la valeur du coefficient de Kappa a été faite sur la base de l'échelle de classification adoptée par Altman en 1999 (Tableau 2).

Tableau 2. Interprétation du coefficient de Kappa

Valeur de K	< 0	0,01-0,20	0,21-0,40	0,41-0,60	0,61-0,80	0,81-1
Force de l'accord	Médiocre	Léger	Passable	Modéré	Substantiel	Presque parfait

Analyse de la dynamique de l'occupation du sol des forêts

Les superficies des différentes classes d'occupation du sol ont été exportées dans le tableur Excel et converties en pourcentage par rapport à la superficie totale occupée par chaque forêt. Pour une analyse statistique de la dynamique des classes d'occupation du sol, les valeurs brutes (les superficies des classes en hectare) générées ont été utilisées pour calculer le taux de stabilité, de régression ou de progression des classes d'une date à une autre à partir de la formule suivante (Ahononga *et al.*, 2021 ; Biaou *et al.*, 2019 ; Coulibaly *et al.*, 2016) : $Tv (\%) = [(S2 - S1)/S1] \times 100$, où : Tv = taux d'évolution

de la classe concernée ; S1 = superficie occupée par la classe à la date 1 ; S2 = superficie occupée par la classe à la date 2.

D'après cette formule, un taux d'évolution négatif signifiait que la classe d'occupation concernée a affiché une dynamique régressive de la date 1 à la date 2. Il était positif lorsque la classe d'occupation concernée affichait une dynamique progressive. Un taux d'évolution nul signifiait une stabilité de la classe d'occupation concernée de la date 1 à la date 2. Ensuite, le tableur Excel a été utilisé pour les différentes analyses statistiques. Egalement les évolutions suivantes ont été considérées comme :

- Déforestation brute = Conversion des Formations Forestières Naturelles (FFN) en Plantations et autres Formations Non Forestières (FNF) ;
- Dégradation = Diminution de densité des FFN ;
- Amélioration = Augmentation de densité des FFN ;
- Reconstitution naturelle = Conversion des Plantations et autres FNF en FFN ;
- Déforestation nette = Déforestation brute - Reconstitution naturelle.

De même, afin d'évaluer la relation entre la distance de la forêt au centre-ville et le statut de conservation, un modèle linéaire généralisé a été effectué.

Résultats

Cartographie de l'occupation du sol et validation de l'interprétation visuelle

Au total, neuf classes d'occupation du sol ont été identifiées après le traitement des images. Une certaine confusion dans la définition des classes a été notée, notamment au niveau des forêts claires savanes boisés, les savanes arborée et arbustive et les plantations et des galeries forestières. Toutefois, les résultats montraient de faibles erreurs de commission et d'omission. La discrimination des classes homogènes d'occupation du sol à partir d'images de 2022 a montré des précisions globales à 98,81 % (Tableau 3), indiquant des classifications acceptables avec exactitude. Sur cette base, l'interprétation visuelle des images a permis d'identifier les trois à cinq classes d'occupation du sol par forêt composées comme suit : Forêt dense ; Galerie forestière ; Forêt claire et savane boisée ; Savanes arborée et arbustive ; Culture et jachère plantation ; Agglomérations et sol dénudé.

Tableau 3. Matrice de confusion de l'image de 2022

Référence de terrain	Carte (OBIA)									Total	Vérités de Terrain (%)	Contamination
	FD	FG	FCSB	SASa	PT	CJ	PE	HA	SR			
FD	16	0	0	0	0	0	0	0	0	16	100	0 %
FG	0	32	0	0	0	0	0	0	0	32	100	0 %
FCSB	0	0	53	1	0	0	0	0	0	54	98,15	1,85 %
SASa	0	0	1	58	1	0	0	0	0	60	96,67	3,33 %
PT	0	0	0	0	31	0	0	0	0	31	100	0 %
CJ	0	0	0	1	0	72	0	0	0	73	98,63	1,37 %
PE	0	0	0	0	0	0	32	0	0	32	100	0 %
HA	0	0	0	0	0	0	0	26	0	26	100	0 %
SR									12	12	100	0 %
TOTAL	16	32	54	60	32	72	32	26	12	336		
Précision (%)	100	100	98,15	96,67	96,88	100	100	100	100			
Omission (%)	0	0	1,85	3,33	3,13	0	0	0	0			
Précision globale											98,81 %	
Indice Kappa											0,99	

HA = agglomération ; CP = culture et jachère ; FCSB = forêt claire et savane boisée ; FD = forêt dense ; GF = galerie forestière ; SASa = savane arborée et savane arbustive ; PE = plan d'eau ; SR = surface rocheuse ou cuirasse ; PT = plantation.

Dynamique de l'occupation du sol des forêts classées et forêts sacrées de Djougou de 2002 à 2022

Les cartes d'occupation du sol dans les forêts classées et les forêts sacrées de Djougou en 2002, 2012 et 2022 ont été illustrées par les figures 2 à 6. En 2002, les forêts classées étaient dominées par des savanes (arborées et arbustives), tandis que les forêts sacrées étaient dominées par des forêts denses et forêts claires. Cette tendance a été maintenue dans les forêts sacrées jusqu'en 2022, même s'il y a eu dégradation et déforestation par endroits. Par contre, dans les forêts classées, les espaces anthropisés (culture et plantation, agglomération et sol dénudé) ont dominé le paysage, sauf la forêt classée de Béléfoungou qui a connu une augmentation du couvert végétal.

La période de 2002–2012 a été marquée par une réduction des forêts claires et savanes boisées et une progression des savanes arborée et arbustive dans la forêt sacrée d'Adjandjangoun (Figure 2). Le contraire a été observé dans la période de 2012–2022. Dans la forêt sacrée de Yarakéou, les deux périodes ont été marquées par la régression des forêts denses et la progression des forêts claires et savanes (Figure 3). Dans les mêmes périodes, les savanes ont connu une forte réduction et les forêts claires ont connu une forte progression dans la forêt classée de Béléfoungou (Figure 4). Par contre, dans les autres forêts classées, les deux périodes ont été marquées par une régression des forêts denses et savanes et une progression des forêts claires et espaces anthropisés (culture et plantation, agglomération et sol dénudé) dans les forêts classées de Sérou (Figure 6) et Killir (Figure 5).

Tableau 4. Matrice de transition des forêts classées entre 2002 et 2022

Occupation du sol 2002	Occupation du sol 2022								Total 2002	Perte
	FD	FG	FCSB	SASa	PT	CJ	PE	HA		
FD	110,99	0,00	8,55	25,89	0,01	0,22	0,00	0,12	145,78	34,79
FG	0,00	56,68	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	56,84	0,15
FCSB	0,00	0,00	0,01	5,77	0,00	28,86	0,00	20,72	55,36	55,35
SASa	0,00	0,00	0,11	13,14	0,00	247,99	0,00	23,80	285,05	271,91
PT	0,00	0,00	0,00	0,00	1,79	0,00	0,00	0,00	1,79	0,00
CJ	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	73,23	0,05	36,70	110,08	36,86
PE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,80	0,00	2,80	0,00
HA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,18	19,18	0,00
Total 2022	110,99	56,68	8,67	44,92	1,80	350,45	2,84	100,52	676,87	
Gain	0,00	0,00	8,66	31,77	0,01	277,23	0,05	81,34		

HA = agglomération ; CJ = culture et jachère ; FCSB = forêt claire et savane boisée ; FD = forêt dense ; FG = galerie forestière ; SASa = savane arborée et savane arbustive ; PE = plan d'eau ; SR = surface rocheuse ou cuirasse ; PT = plantation.

Tableau 5. Matrice de transition des forêts sacrées entre 2002 et 2022

Occupation du sol 2002	Occupation du sol 2022								Total 2002	Perte
	FD	FG	FCSB	SASa	PT	CJ	HA	SR		
FD	0,000	0,000	0,000	13,074	0,000	0,031	0,021	0,000	13,126	13,126
FG	0,000	10,047	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	10,047	0,000
FCSB	0,000	0,000	113,747	7,341	0,000	0,000	0,000	0,000	121,088	7,341
SASa	0,000	0,000	0,059	531,088	8,021	111,070	0,000	0,000	650,237	119,149
PT	0,000	0,000	0,000	0,000	1,228	0,000	0,000	0,000	1,228	0,000
CJ	0,000	0,000	0,000	28,637	0,666	16,515	0,605	0,000	46,422	29,907
HA	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,246	0,000	3,246	0,000
SR	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	16,975	16,975	0,000
Total 2022	0,000	10,047	113,806	580,139	9,914	127,616	3,872	16,975	862,369	
Gain	0,000	0,000	0,059	49,051	8,686	111,101	0,626	0,000		

HA = agglomération ; CJ = culture et jachère ; FCSB = forêt claire et savane boisée ; FD = forêt dense ; FG = galerie forestière ; SASa = savane arborée et savane arbustive ; PE = plan d'eau ; SR = surface rocheuse ou cuirasse ; PT = plantation.

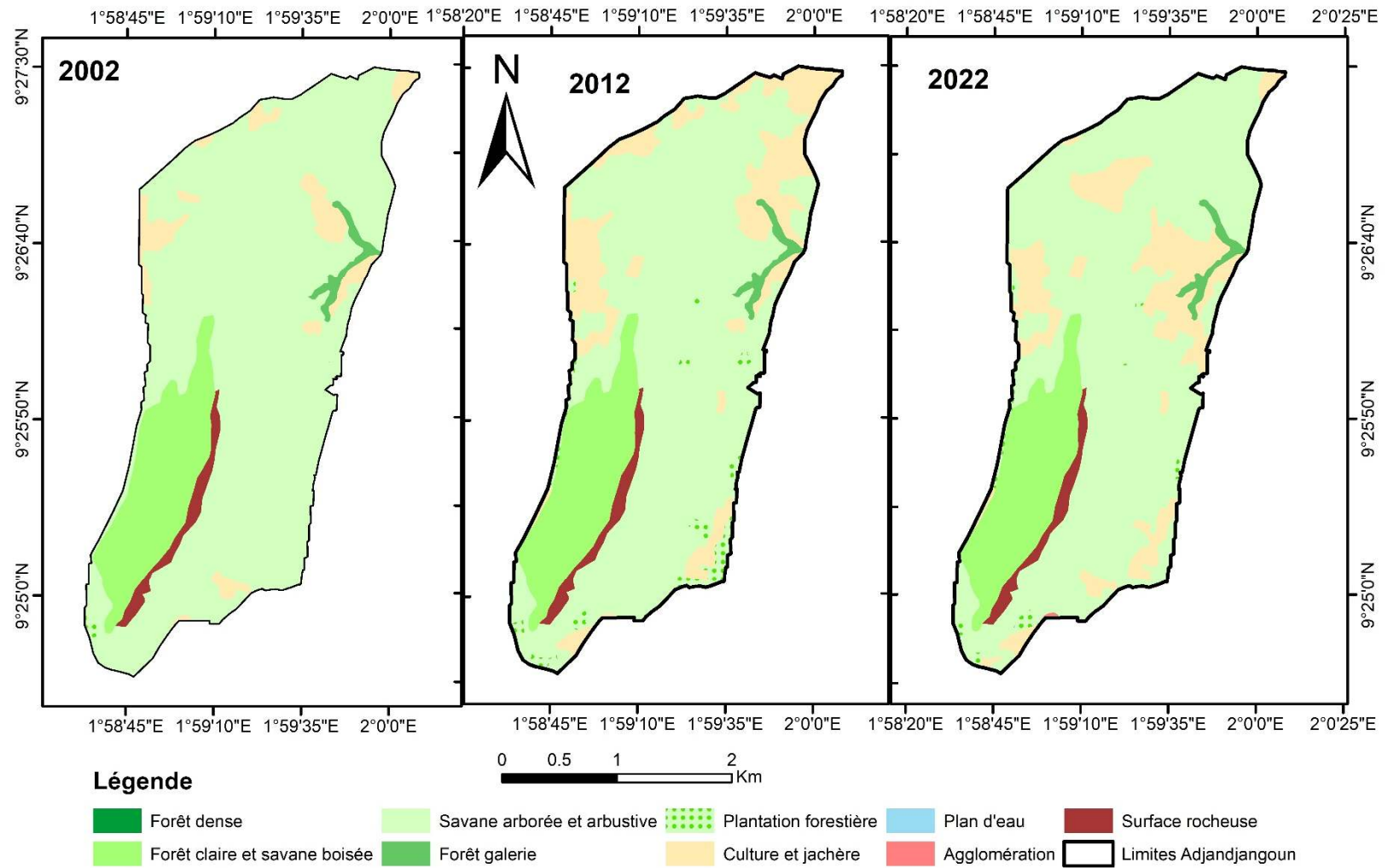


Figure 2. Etat de l'occupation du sol de la forêt sacrée d'Adjandjangoun en 2002, 2012 et 2022

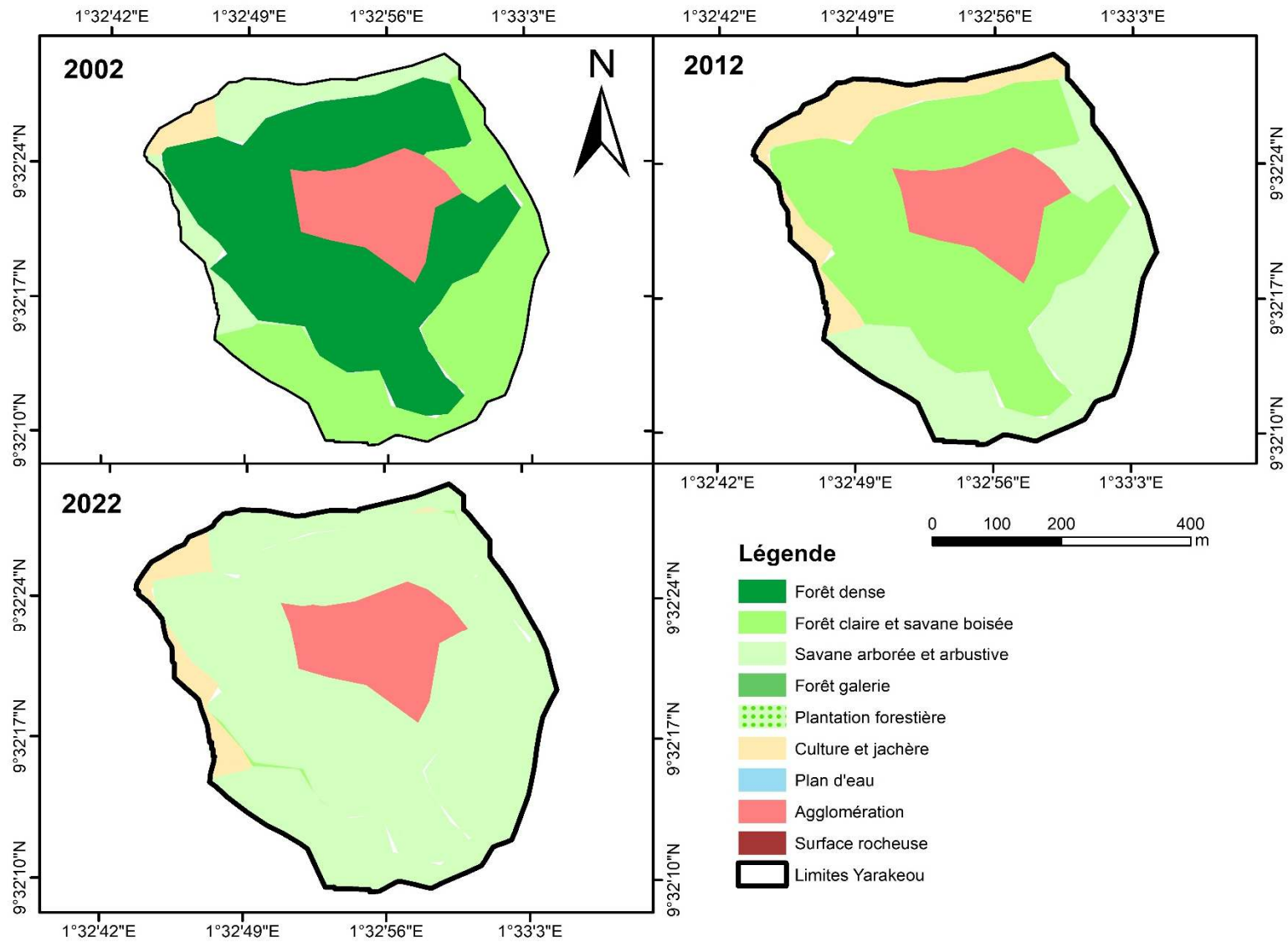


Figure 3. Etat de l'occupation du sol de la forêt sacrée de Yarakéou en 2002, 2012 et 2022

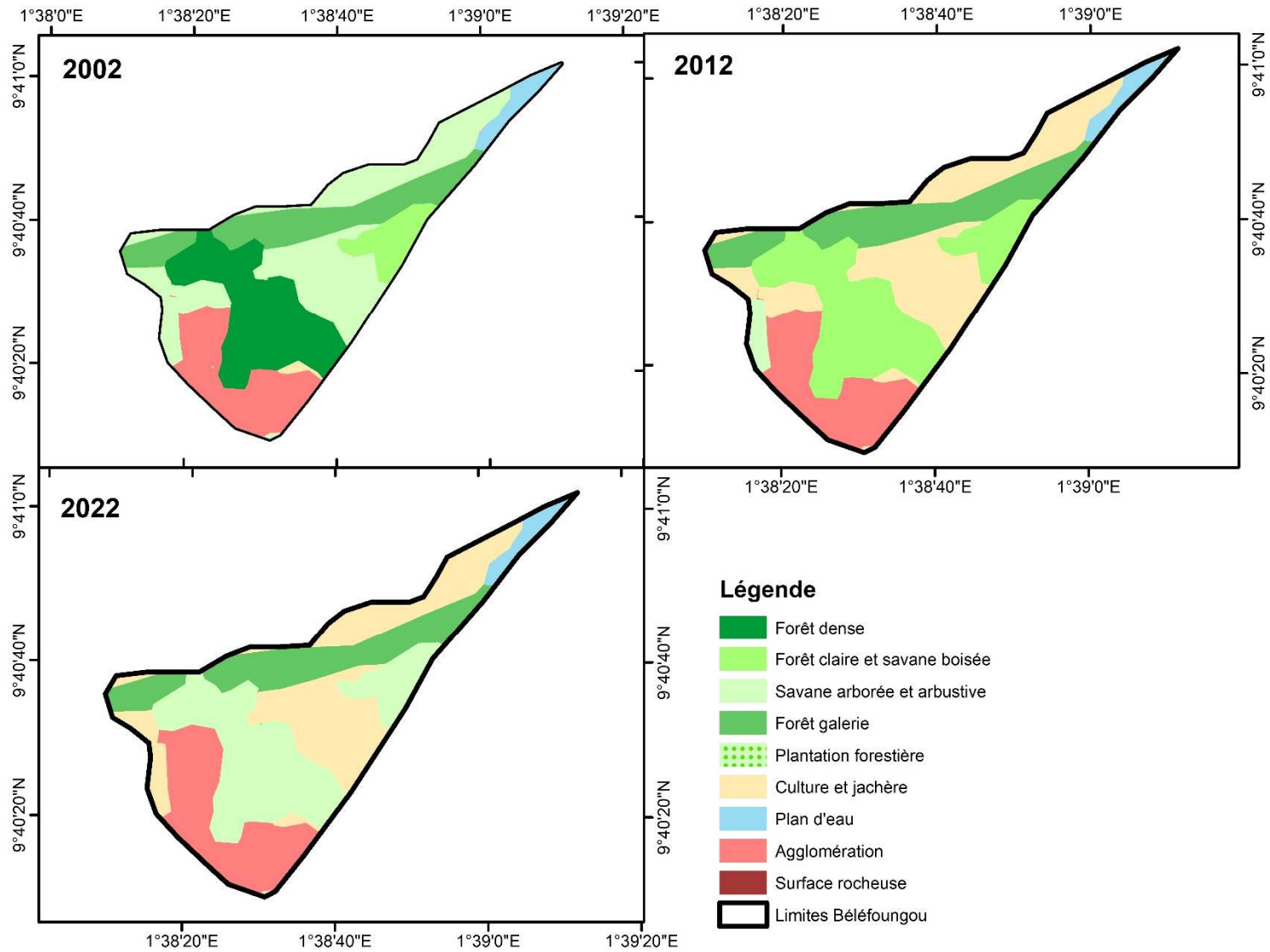


Figure 4. Etat de l'occupation du sol de la forêt classée de Béléfoungou en 2002, 2012 et 2022

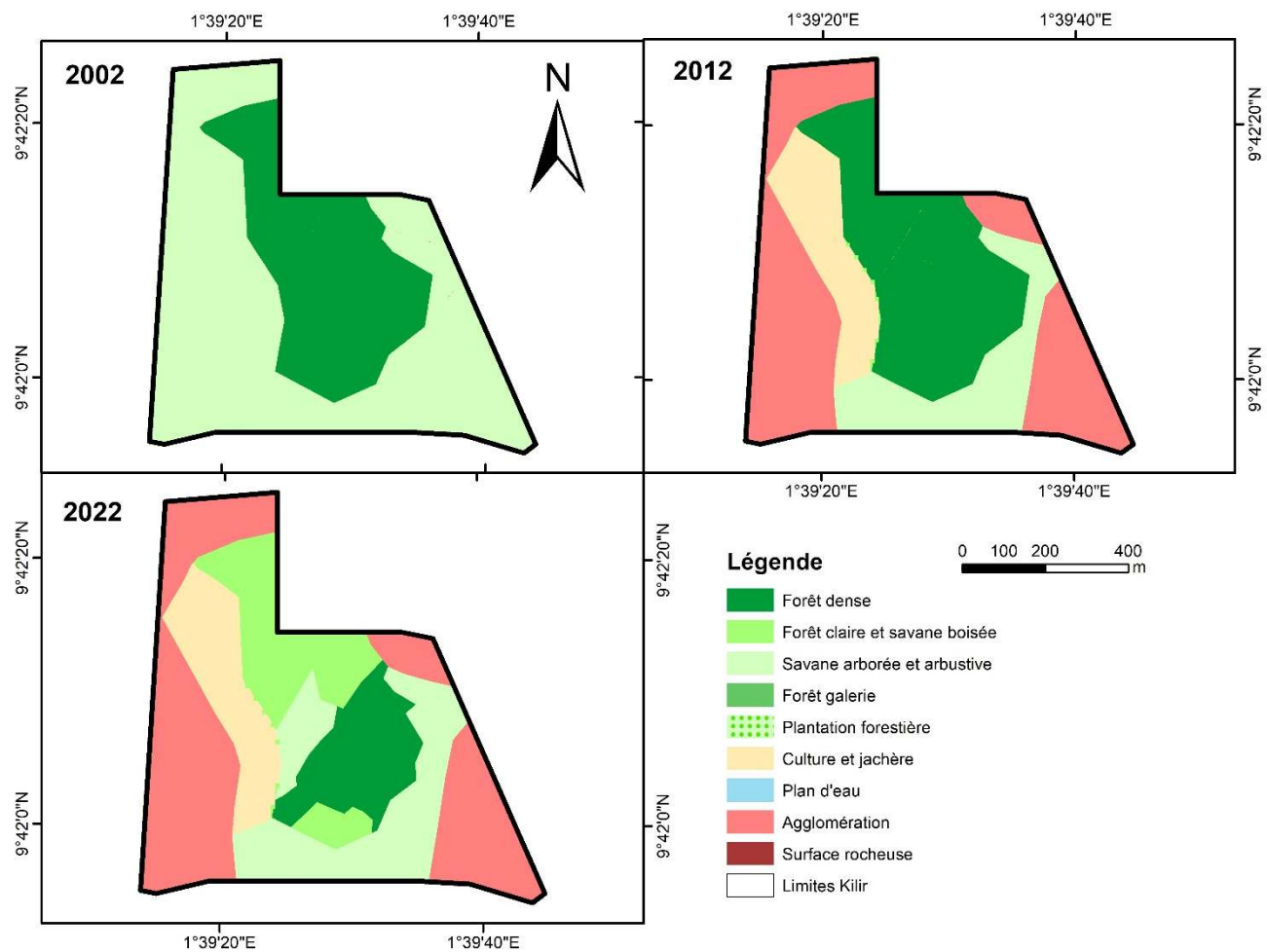


Figure 5. Etat de l'occupation du sol de la forêt classée de Killir en 2002, 2012 et 2022

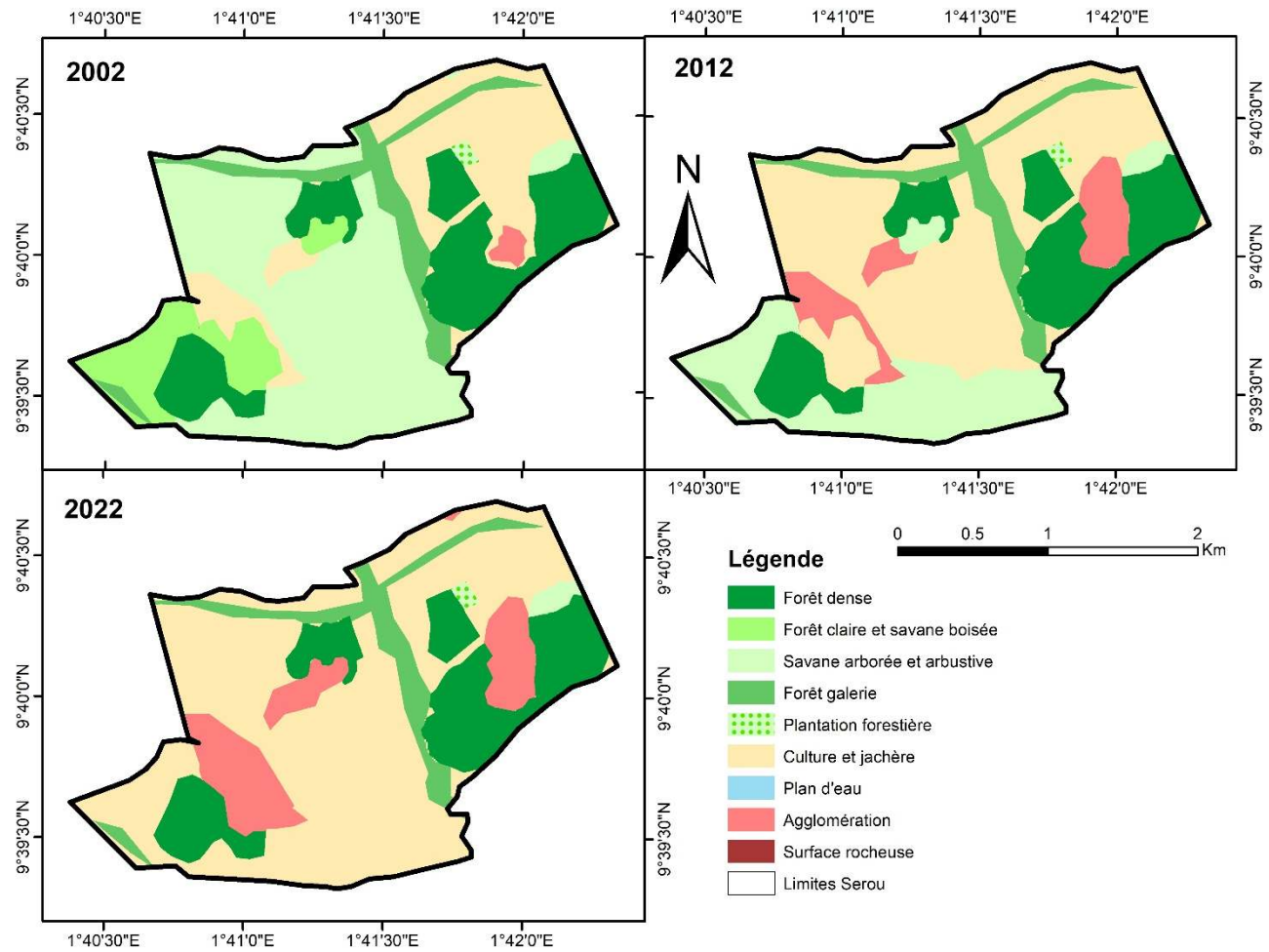


Figure 6.

Etat de l'occupation du sol de la forêt classée de Sérrou en 2002, 2012 et 2022

Taux d'évolution des classes d'occupation du sol des forêts classées et forêts sacrées de Djougou

Dans les tableaux 6 et 7 ont été présentés les taux d'évolution des classes d'occupation du sol dans les forêts classées et forêts sacrées de Djougou. Dans les forêts sacrées globalement de 2002 à 2022 a été notée une dynamique régressive des formations forestières naturelles (les forêts denses, les forêts galeries, les forêts claires et savanes arborée et arbustives). Cependant, la dynamique progressive des espaces anthropisés (champs et jachères, habitations) dans les forêts sacrées ont été moins importantes que celles des forêts classées. Ainsi, dans la forêt sacrée d'Adjandjangoun, les forêts claires et savanes boisées ont connu une dynamique régressive (-47,21 %) tandis que, les savanes arborée et arbustive et les espaces anthropisés (culture et plantation) ont connu une dynamique progressive (73,45 % et 425,19 % respectivement). Dans la forêt sacrée de Yarakéou, les forêts denses ont connu une dynamique régressive (-31,55 %) tandis que, les forêts claires et savanes boisées et les espaces anthropisés (agglomération et sol dénudé) ont connu une dynamique progressive (112,98 % et 258,33 % respectivement). Dans la forêt classée de Béléfoungou, la période 2002 – 2022 a été marquée par une importante dynamique régressive des savanes arborée et arbustive (-138,37 %) et une importante progression des forêts claires et savanes boisées (295,19 %). Les espaces anthropisés (sol dénudé) ont aussi progressé (571,84 %). Dans la forêt classée de Killir, bien que les forêts denses aient connu une légère dynamique progressive par endroits (38,57 %) de 2002–2012, la déforestation a été importante avec un accroissement de 325,55 % la superficie des espaces anthropisés (sol dénudé). Dans la forêt classée de Sérrou, les forêts denses et les savanes (arborée et arbustive) ont connu une dynamique régressive (-42,28 % et -155,82 %) tandis que, les forêts claires et savanes boisées (281,26 %), les espaces anthropisés (agglomération et sol dénudé avec 271,20 % ; culture et plantation avec 544,41 %) ont connu une dynamique progressive.

Tableau 6. Taux d'évolution des forêts classées

Classe	2002-2012	2012-2022
Forêt dense (FD)	-16,26	-9,08
Galerie forestière (FG)	-0,27	0,00
Forêt claire et savane boisée (FCSB)	-47,20	-70,33
Savane arborée et savane arbustive (SASa)	-60,49	-60,12
Plantation (PT)	0,54	0,00
Culture et jachère (CJ)	149,84	27,43
Plan d'eau (PE)	1,61	0,00
Agglomération et sol dénudé (HA)	299,48	31,22

Tableau 7. Taux d'évolution des forêts sacrées

Classe	2002-2012	2012-2022
Forêt dense (FD)	-100,00	0,00
Galerie forestière (FG)	0,00	-0,61
Forêt claire et savane boisée (FCSB)	4,73	-0,33
Savane arborée et savane arbustive (SASa)	-15,92	-66,06
Plantation (PT)	1815,36	-4,28
Culture et jachère (CJ)	190,90	18,34
Agglomération et sol dénudé (HA)	0,65	80,37
Surface rocheuse, Cuirasse (SR)	0,00	0,00

Effet du mode de gouvernance et de la distance entre forêt et ville et de l'Etat de conservation des formations forestières naturelles dans les forêts sacrées de Djougou

Les régressions linéaires généralisées ont indiqué que la distance entre la forêt et le centre-ville n'a pas influencé significativement la dynamique d'occupation du sol dans les forêts classées, ni dans les forêts sacrées. Par contre, le mode de gouvernance des forêts a significativement influencé (Valeur de F = 13,61 ; Prob = 0,000 ; Déviance = 450,53 ; Prob = 0,000) la dynamique d'occupation du sol dans les forêts classées et forêts sacrées de la commune de Djougou. Les histogrammes de la figure 7 ont illustré l'état de conservation des formations forestières naturelles dans les forêts sacrées de 2002–2012 puis de 2012–2022.

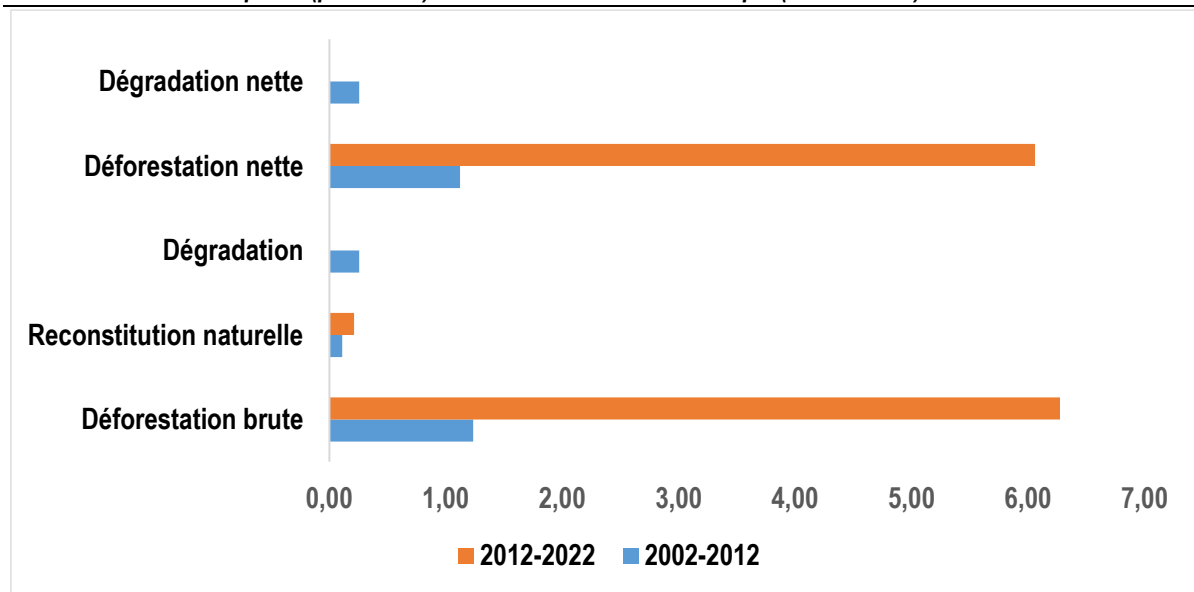


Figure 7. Etat de conservation des forêts sacrées de Djougou de 2002-2012 et 2012-2022

La dégradation des forêts sacrées était apparente dans les forêts denses, forêts claires savanes boisés et forêts galeries. Pendant la période 2002–2012, environ 28,60 % et 12,43 % respectivement de forêts claires et savanes boisées, et de forêts denses ont subi la dégradation. Ces changements équivalaient à un taux annuel de dégradation égal à 0,26 %. Dans cette même période (2002-2012), la déforestation était apparente dans les forêts denses et les savanes arborées et arbustives alors qu'elle a été quasi absente dans les forêts claires et savanes boisées. Les différentes conversions de formations naturelles vers des formations anthropogéniques s'exprimaient par un taux moyen annuel de déforestation égal à 1,12 %. La reconstitution des formations forestières naturelles dans les forêts sacrées au cours de la période 2002-2012 était très faible avec un taux moyen annuel de reconstitution égal à 0,11 %.

Pendant la période de 2012–2022, la déforestation et la dégradation des forêts sacrées ont été accentuées suivi d'une augmentation du taux de reconstitution. Le taux moyen annuel de déforestation était de 6,06 % et le taux moyen annuel de dégradation était de 0,94 %. Ce dynamisme de modifications des formations forestières naturelles dans les forêts sacrées au cours des deux périodes a révélé que la période 2002–2012 a été marquée par de faible dégradation et déforestation dans ces écosystèmes de forêts sacrées.

Etat de conservation des formations forestières naturelles dans les forêts classées de Djougou

Les histogrammes de la figure 8 ont illustré l'état de conservation des formations forestières naturelles dans les forêts classées de 2002–2012 et 2012–2022. Pendant la période 2002–2012, la déforestation des forêts classées était apparente dans les classes forêts denses, forêts denses dégradées, et savanes arborées et arbustive alors qu'elle était quasi absente dans les galeries forestières. A la fin de cette période, l'ensemble des formations forestières ont connu une régression. Cela équivalait à un taux moyen annuel de déforestation égal à 5,85 %. Ces taux de déforestation des formations forestières naturelles dans les forêts classées ont été largement supérieurs à ceux observés dans les forêts sacrées. Dans cette même période (2002-2012), la dégradation forestière était 1,5 % l'année. La reconstitution naturelle dans les forêts classées était nulle.

Pendant la période de 2012–2022, la déforestation et la dégradation dans les forêts classées ont accru dans les forêts claires et savanes boisées et dans les savanes arborées et arbustives, tandis qu'elles ont régressé dans les forêts denses. Au cours de cette période, la reconstitution forestière était restée nul alors que la déforestation s'était accentuée passant de 5,85 % à 9,43 % l'année. Ce dynamisme de modifications des formations forestières naturelles dans les forêts classées au cours des deux périodes a révélé que la période 2012–2022 a été celle étant marquée par de forte déforestation et dégradation.

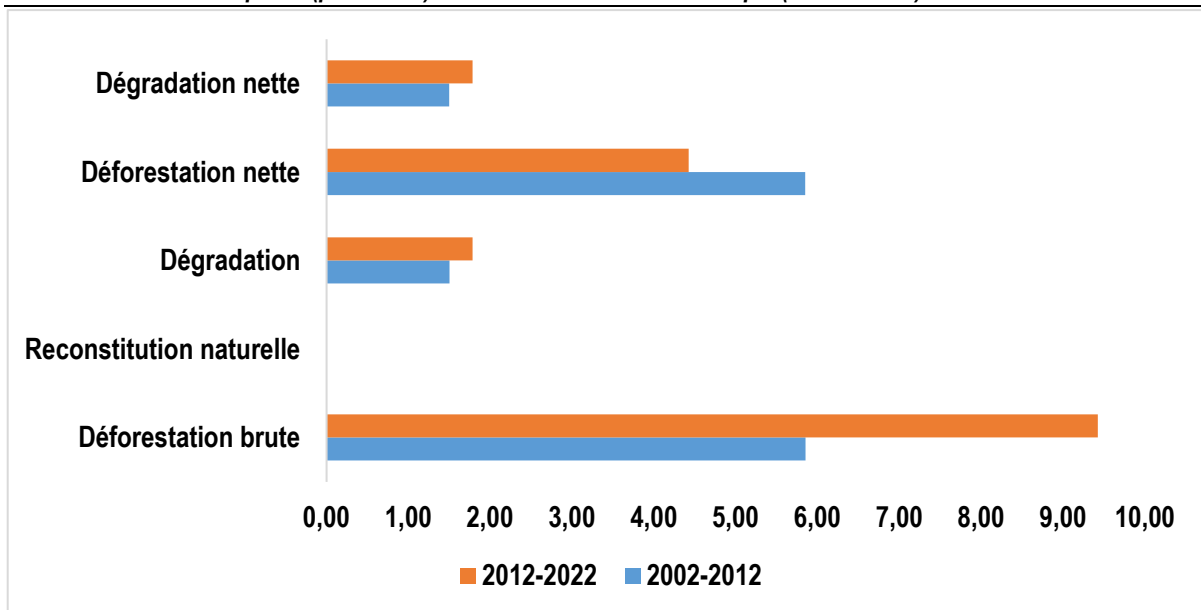


Figure 8. Etat de conservation des forêts classées de Djougou de 2002-2012 et 2012-2022

Discussion

Cette étude sur la dynamique de l'occupation du sol des forêts classées de la Commune de Djougou permet d'analyser l'évolution spatio-temporelle des différentes classes d'occupation du sol depuis 2002 jusqu'à 2022. L'étude révèle qu'en 2002, les forêts classées de la Commune de Djougou sont dominées par des savanes arborées et arbustives et les forêts sacrées sont dominées par des forêts denses, des forêts claires et savanes boisées. Le constat de la dégradation des formations forestières naturelles dans les forêts sacrées et les forêts classées est également préoccupant, surtout en ce qui concerne la forte déforestation observée dans les forêts classées entre 2012 et 2022. Cette situation montre l'urgence de mettre en place des stratégies efficaces pour la préservation et la gestion durable des forêts. En effet, les actions anthropiques dans le milieu conduisent à la régression du couvert végétal dans les forêts sacrées en dépit de leur sacralisation. Néanmoins, les modifications du paysage forestier dans le milieu n'influencent pas trop la dynamique forestière des forêts sacrées puisque les forêts denses, les forêts claires et savanes boisées restent les principales formations forestières naturelles qui dominent le paysage de ces écosystèmes. Par contre, les modifications du paysage forestier affectent négativement la dynamique forestière dans les forêts classées, traduit par la dominance des classes non forestières (culture et plantation, agglomération et sol dénudé) et la régression des formations forestières naturelles, notamment à Sérrou et à Killir. Les régressions forestières observées dans les forêts sacrées sont causées par l'intensification des actions anthropiques dans ces écosystèmes (Mama *et al.*, 2013) et le non-respect des interdictions de la sacralisation, conséquences des mutations socioculturelles (Adou Yao *et al.*, 2013). Jadis, la sacralisation des forêts était perçue comme l'interdiction de l'exploitation de toutes les ressources naturelles qui s'y trouvent mais, de nos jours, elle tend à se limiter aux individus d'arbres et lieux sacrés avec quelquefois leur environnement immédiat. Ce qui entraîne de plus en plus la savanisation et la déforestation dans les zones périphériques des forêts sacrées.

La déforestation dans la forêt classée de Sérrou est caractérisée par l'expansion des habitations et des champs en périphéries de la ville de Djougou, induite par l'accroissement de la population urbaine et la pratique de l'agriculture extensive ; un tel résultat qui a été également obtenu au Sud-Bénin (Djogbenou *et al.*, 2011). L'étude révèle aussi que les dynamiques d'occupation du sol dans les forêts classées et les forêts sacrées de la commune de Djougou ont été influencées par le mode de gouvernance des forêts, mais pas par la distance entre la forêt et le centre-ville. Une hypothèse corroborée par plusieurs autres études qui ont trouvé que l'augmentation de la densité de la population entraîne la réduction du couvert arboré en périphérie des villes (Jenerette *et al.*, 2007). Concernant la forêt classée de Killir, la destruction de cet écosystème situé en plein cœur de la ville est due au manque d'aménagement et à la croissance économique et démographique de la ville de Djougou (Nero, 2017). La progression de sol dénudé dans la forêt classée de Béléfoungou est due aux aménagements du réseau routier. Un fait dû également à la colonisation, l'orientation politique et la croissance démographique au Bénin (Djogbenou *et al.*, 2011). Les enquêtes révèlent également que les événements politiques marquants de l'histoire du Bénin, allant de la période coloniale (avant 1960) à l'ère démocratique (après 1990) en passant par

la période révolutionnaire (1972-1990), ont eu une influence sur la diminution des superficies des forêts sacrées (Djogbenou *et al.*, 2011).

L'un des objectifs de la création et la gestion des aires protégées à la périphérie des villes est de réduire les vulnérabilités socioéconomiques et environnementales et de générer des avantages aux populations locales. Ainsi, les forêts classées et les forêts sacrées dans la Commune de Djougou doivent permettre non seulement de conserver la diversité biologique mais aussi d'améliorer le revenu des ménages et de contribuer à la sécurité alimentaire. Malheureusement, les pressions foncières sur ces forêts se font de plus en plus intenses et compromettent sérieusement l'avenir de ces écosystèmes ainsi que les fonctions socioéconomiques et environnementales qu'elles sont censées jouer. Nero *et al.* (2018), ont souligné qu'il est de plus en plus évident que les systèmes basés sur les forêts et les arbres peuvent jouer un rôle important en complétant la production agricole pour la sécurité alimentaire. Les forêts des villes fournissent directement des fruits, des légumes, des graines, des huiles et des noix, qui fournissent des nutriments essentiels, notamment des vitamines et des minéraux aux populations (Nganje, 2014). Elles fournissent également des ressources végétales médicinales pour le maintien de la santé des populations locales, de l'ombre et améliore la qualité de l'aire dans les villes du Bénin. Toutefois, ces fonctions semblent être ignorées par les populations locales qui ne reconnaissent pas les conséquences à long terme de l'intensification des systèmes agricoles dans les écosystèmes forestiers urbains et périurbains. Selon ces populations, les stratégies agricoles seules peuvent parvenir à la sécurité alimentaire, ce qui entraîne des régimes alimentaires déséquilibrés, qui manquent de diversité nutritionnelle et renforcent l'exposition des groupes les plus vulnérables à l'insécurité alimentaire.

Dans une étude récente sur les forêts sacrées au sud du Bénin, les populations locales ont perçu la régression des forêts sacrées comme la conséquence de l'expansion des religions monothéistes, l'effritement des croyances ancestrales, les actions anthropiques et la croissance démographique (Alohou *et al.*, 2016). Dans la présente étude, l'effet combiné des actions anthropiques et la croissance démographique constitue la principale cause de dégradation et de déforestation dans les forêts sacrées et les forêts classées. Il ressort de ces résultats que les forêts classées et les forêts sacrées de Djougou sont confrontées à une dynamique de dégradation et de déforestation. Cette situation est préoccupante car ces forêts jouent un rôle important dans la régulation du climat, la conservation de la biodiversité et la sécurité alimentaire des populations locales. Le sujet de la préservation des forêts étant un enjeu majeur pour la planète, car les forêts jouent un rôle crucial dans la régulation du climat et dans la préservation de la biodiversité, il urge de prendre des mesures pour protéger ces écosystèmes et promouvoir des pratiques de gestion durable des ressources forestières.

Conclusion

L'étude permet d'évaluer la dynamique de l'occupation du sol dans les forêts classées et les forêts sacrées situées dans la ville de Djougou et dans les paysages adjacents. Les taux de déforestation des formations forestières naturelles dans les forêts classées sont largement supérieurs aux taux de déforestation dans les forêts sacrées. Les actions anthropiques telles que l'urbanisation et l'agriculture extensive, sont les principales causes de la déforestation dans les forêts classées situées dans la ville et ses périphéries. Les forêts sacrées se dégradent en dépit de leur statut à cause des coupes sélectives du bois et du non-respect des interdictions en raison des mutations socioculturelles. Les forêts denses, les forêts claires et savanes boisées sont les principales formations forestières naturelles qui dominent le paysage des forêts sacrées. Les forêts classées sont globalement dominées par des espaces anthropisés tels que les cultures et plantations, les agglomérations et les sols dénudés.

Références Bibliographiques

- Adomou, A.C., 2005: Vegetation patterns and environmental gradients in Benin: implications for biogeography and conservation, Wageningen University and Research.
- Adou Yao, C.Y., K.B. Kpangui, K.J. Kouao, L.M.D. Adou, B.T.A. Vroh, K.E. N'Guessan, 2013. Diversité floristique et valeur de la forêt sacrée Bokasso (Est de la Côte d'Ivoire) pour la conservation. *VertigO Rev. Électronique En Sci. L'environnement* 13.
- Ahononga, F.C., G.N. Gouwakinnou, S.S.H. Biaou, S. Biaou, 2021 : Vulnérabilité des terres des écosystèmes du domaine soudanien au Bénin de 1995 à 2015, *Bois Forests Trop.*, 346, 35–50. <https://doi.org/10.19182/bft2020.346.a36295>
- Ahononga, F.C., Gouwakinnou, G.N., Biaou, S.S.H., Biaou, S., 2020 : Vulnérabilité des terres des écosystèmes du domaine soudanien au Bénin de 1995 à 2015, *Bois For. Trop.*, 346, 35–50.
- Akognongbe, A., D. Abdoulaye, E.W. Vissin, M. Boko, 2014 : Dynamique de l'occupation du sol dans le bassin versant de l'Oueme à l'exutoire de Bétérou (Bénin), *Afr. Sci. Rev. Int. Sci. Technol*, 10.

- Alassane I., Y.Y. Akin, G.A.Y.G. Magnidé, T. Houetchegnon, C. A. I. N. Ouinsavi, 2021 : Perceptions locales de la fragmentation des forêts de Djougou : leçons pour une gestion durable, Bulletin de La Recherche Agronomique Du Bénin, 31 (2), 29–40.
- Alohou, E.C., C.I.N. Ouinsavi, N. Sokpon, 2016 : Facteurs déterminants de la fragmentation du bloc forêt classée-forêts sacrées au Sud-Bénin. J. Appl. Biosci., 101, 9618–9633. <https://doi.org/10.4314/jab.v101i1.5>.
- Avakoudjo, J., A. Mama, I. Toko, V. Kindomihou, 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, 2608–2625.
- Balcik, F.B., Kuzucu, A.K., 2016 : Determination of land cover/land use using spot 7 data with supervised classification methods. Int. Arch., 12.
- Bergeri I., Michel R. 2002 : Pour tout savoir ou presque sur le coefficient kappa, Med Trop, (62), 634–636 pp.
- Biaou, S., G.N. Gouwakinnou, H.S.S. Biaou, M.S. Tovihessi, B.K. Awessou, F.C. Ahononga, F.O. Houéto, 2022 : Identifying the land use and land cover change drivers: methods and case studies of two forest reserves in Northern Benin. Environ. Dev. Sustain., 24, 9885–9905. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01849-4>.
- Biaou, S., F. Houeto, G. Gouwakinnou, G., S.S.H. Biaou, B. Awessou, S. Tovihessi, R. Tete, 2019 : Dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol de la forêt classée de Ouénou-Bénou au Nord Bénin, in: Conférence OSFACO : Des images satellites pour la gestion durable des territoires en Afrique. Cotonou, Bénin, 1–21.
- Bouhennache, R., 2018 : Traitements des images satellitaires en vue d'une classification et/ou de détection des changements interimages. Thèse de Doctorat, Université Mohamed Seddik Ben Yahia – Jijel, Algérie, 150 p.
- Boulaassal, H., S. Anaki, O.A. Yazidi, M. Maatouk, M. Wahbi, 2020 : Cartographie des changements de l'occupation du sol entre 2002 et 2016 à partir des images Landsat. Cas de la région Tanger Tetouan Al-Hoceima (Maroc). Afr. J. Land Policy Geospatial Sci., 3, 14–31.
- Campos, P., B. Mesa, A. Álvarez, 2021: Uncovering the hidden numbers of nature in the standard accounts of society: Application to a case study of oak woodland dehesa and conifer forest farms in andalusia-spain., Forests 12. <https://doi.org/10.3390/f12050638>.
- Coulibaly, L., Kouassi, K.H., Soro, G.E., Savane, I., 2016 : Analyse du processus de savanisation du nord de la Côte d'Ivoire par télédétection : Cas du département de Ferkessedougou [Analysis of the savannization process by remote sensing method of northern Côte d'Ivoire: Case study of Ferkessedougou County]. Int. J. Innov. Appl. Stud, 17, 136.
- Cournac, L., Seghieri, J., 2019 : Impacts du karité sur les ressources du sol et la production d'une culture de maïs associée dans un parc agroforestier soudanien du Nord-Est du Bénin. En zone Tropicale, Éditions Quæ ;159p ISBN (Pdf) : 978-2-7592-3059-4.
- Djogbenou, C.P., R. Glèlè Kakaï, O. Arouna, B. Sinsin, 2011 : Analyse des perceptions locales des aménagements forestiers participatifs au Bénin, Vertigo 11.
- Dupuy, S., 2021 : Travaux Pratiques : Initiation à la télédétection avec Orfeo ToolBox et QGIS.
- FAO, 2020 : La situation des forêts du monde 2020 : forêts, biodiversité et activité humaine. Food Agric. Organ. FAO. 78p
- FAO, 2018 : La situation des forêts du monde. Les forêts au service du développement durable. Licence CC-NC-SA 3.0 IGO, 158. 158 p.
- Fastré, C., H.P. Possingham, D. Strubbe, E. Matthysen, 2020 : Identifying trade-offs between biodiversity conservation and ecosystem services delivery for land-use decisions. Sci. Rep, 10, <https://doi.org/10.1038/s41598-020-64668-z>.
- Gbedahi, O.L.C., S.S.H. Biaou, A. Mama, A., G.N. Gouwakinnou, N.S. Yorou, 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, 311–324.
- Jenerette, G.D., Harlan, S.L., Brazel, A., Jones, N., Larsen, L., Stefanov, W.L., 2007 : Regional relationships between surface temperature, vegetation, and human settlement in a rapidly urbanizing ecosystem. Landsc. Ecol, 22, 353–365.
- Kouta, S., Imorou, I.T., 2019 : Forest landscape dynamics in the cotton basin of North Benin. Int. J. For. Anim. Fish. Res, 3, 195–202. <https://doi.org/10.22161/ijfaf.3.61.1>.
- Mace, G.M., 2014: Whose conservation? Science, 345, 1558–1560.
- Mama, A., B. Sinsin, C. De Cannière, J. Bogaert, 2013 : Anthropisation et dynamique des paysages en zone soudanienne au nord du Bénin, Tropicicultura 31.
- Momangi, M.N., A.K. Batubenga, N.K. Kabemba, R.M. Mudiayi, S.P. Phambu, D.M. Mazimo, H.M. Elenga, 2023 : Perceptions des Résidents du Quartier Mitendi sur le Rôle des arbres dans l'Environnement Péri-urbain de Kinshasa, République Démocratique du Congo, Int. J. Innov. Appl. Stud., 38, 755–764.
- Nero, B.F., 2017: Urban green space dynamics and socio-environmental inequity: multi-resolution and spatiotemporal data analysis of Kumasi, Ghana. Int. J. Remote Sens, 38, 6993–7020. <https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1370152>.
- Nero, B.F., D. Callo-Concha, M. Denich, 2018: Structure, diversity, and carbon stocks of the tree community of Kumasi, Ghana. Forests 9, 519. <https://doi.org/10.3390/f9090519>.
- Nganje, M., 2014: Linking forests to food security in Africa: lessons and how to capture forest contributions to semi-urban and urban food security. Nat. Faune, 28, 12–16.

Wobeng, N.B.M., C.C. Banfield, C. Megueni, P.M Mapongmetsem, M.A. Dippold, 2020: Impact of legumes on soil microbial activity and C cycle functions in two contrasting Cameroonian agro-ecological zones. *Pedobiologia*, 81–82, <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2020.150662>.