

CARTOGRAPHIE DE LA DYNAMIQUE SPATIO-TEMPORELLE DE L'OCCUPATION DES TERRES DANS LE CORRIDOR DES FORETS CLASSEES DES TROIS RIVIERES, SOTA ET GOUNGOUN AU NORD-EST DU BENIN

Issiaka SARE WARA KASSIM¹, Joseph OLOUKOI², Ismaïla TOKO IMOROU¹

¹Laboratoire de Cartographie, de Télédétection et des SIG, Ecole Doctorale Pluridisciplinaire Espaces, Cultures et Développement (EDP-ECD), Université d'Abomey-Calavi, issiwarka@gmail.com, ismael_toko@yahoo.fr

²African Regional Institute for Geospatial Information Science and Technology (AFRIGIST) Obafemi Awolowo University Campus, P.M.B. 5545, Ile-Ife, NIGERIA, oloukoi@afrigist.org

RESUME

L'anthropisation des écosystèmes forestiers est devenue un problème environnemental majeur, affectant la biodiversité mondiale. Pour répondre à cette problématique, il est essentiel de suivre l'évolution de l'utilisation des terres. Au Bénin, en particulier dans le corridor des forêts classées des Trois Rivières, Sota et Goungoun, les pressions anthropiques sont fortes, se manifestant par une surexploitation des ressources naturelles. Afin de cartographier la dynamique spatio-temporelle de l'occupation des terres dans cette zone d'étude, une approche méthodologique a été mise en place, combinant la cartographie diachronique, des enquêtes socioéconomiques, ainsi que des inventaires phytosociologiques et forestiers. Deux principales catégories de données ont été utilisées : les images satellitaires Landsat ETM+ de 2003 et OLI-TIRS de 2013 et de 2023, accompagnées des données GPS et du fond topographique de l'IGN de 2018. Les résultats montrent que les champs et les jachères ont connu la plus grande expansion, avec une augmentation annuelle moyenne de 1,30 % et une vitesse d'extension de 50 274,19 ha par an. Concernant les formations végétales naturelles, seules les savanes arborées et arbustives ont connu la plus importante régression, avec une diminution de -15,73 % et une vitesse de régression de -5 840,48 ha/an. De plus, les plans d'eau ont enregistré une diminution de -1,92 %, et les forêts claires ainsi que les savanes boisées ont également régressé, avec une baisse de -0,89 % et une vitesse de régression estimée à -44 591,23 ha/an. L'analyse de la déforestation indique que le taux annuel de déforestation nette est de 1,22 % (soit 5380,03 ha/an) entre 2003 et 2013 et de 0,31 % (soit 1194,75 ha/an) entre 2013 et 2023. En termes de perspectives, cette étude pourra être approfondie par l'utilisation des images de haute résolution pour la cartographie de l'occupation des terres à une échelle plus grande.

Mots clés : Occupation des terres ; Images satellitaires ; Corridor ; forêts classées ; Bénin

ABSTRACT

Forest ecosystems human transformation has become a major environmental problem, affecting global biodiversity. To address this, it is necessary to monitor changes in land use. In Benin, particularly in the corridor of the Trois Rivières, Sota and Goungoun classified forests, anthropic pressures are strong, manifested in the overexploitation of natural resources. A methodological approach was implemented to map the spatio-temporal dynamics of land use in this study area, combining diachronic mapping, socio-economic surveys, and

phytosociological and forest inventories. Two main categories of data were used: Landsat satellite images ETM+ of 2003 and OLI-TIRS of 2013 and 2023, accompanied by GPS data and the IGN topographic base from 2018. The results show that fields and fallow land underwent the greatest expansion, with an average annual increase of 1.30% and an expansion rate of 50,274.19 ha per year. In terms of natural plant formations, only tree and shrub savannahs experienced the greatest regression, with a decrease of -15.73% and a rate of regression of -5,840.48 ha/year. In addition, water bodies recorded a -1.92% decrease, and open forests and wooded savannahs also regressed, with a -0.89% drop and an estimated regression rate of -44,591.23 ha/year. Analysis of deforestation shows that the annual rate of net deforestation is 1.22% (or 5380.03 ha/year) between 2003 and 2013, and 0.31% (or 1194.75 ha/year) between 2013 and 2023. In terms of prospects, this study could be extended by using high-resolution images to map land use on a larger scale.

Keywords: Land use; Satellite images; Corridor; Classified forests; Benin

1. INTRODUCTION

Les corridors écologiques sont indispensables entre deux zones naturelles afin de permettre aux espèces animales de transiter de l'une à l'autre, sans trop de risques, et ainsi pouvoir notamment échanger leurs gènes entre population nouvelle (IRD-CNES, 2009 ; Dadu, 2009). Les écosystèmes forestiers jouent un rôle indispensable dans le maintien de l'équilibre global de la planète. En effet, pour le bien être des peuples à travers la fourniture des services écosystémiques essentiels d'approvisionnement et culturels, les forêts recouvrent près de 31% de la surface de la planète (FAO, 2018). Cependant, le constat de la disparition du couvert forestier est un fait. En effet, le couvert forestier terrestre est passé de 31,6% en 1990 à 30,6% en 2015 (FAO, 2018). Cette régression du couvert forestier se manifeste par les conversions de la couverture végétale et les modifications dans les formes d'utilisation des terres (Minta *et al.*, 2018 ; Zoungana *et al.*, 2018 ; Camacho et Pérez-Barachona, 2015). Ces conversions notamment le changement des domaines forestiers et/ou boisés en terres agricoles, sont généralement associées à des

effets négatifs sur le climat, les réserves de carbone terrestres, la perte de la biodiversité (Sibanda *et al.*, 2016 ; Dube et Mutanga, 2015 ; Muriuki *et al.*, 2011).

Le Bénin est considéré comme une zone d'accueil des transhumants en Afrique de l'Ouest. Mais cette conception est faussée par le front agricole qui tend à réduire les zones pastorales au profit de la culture de coton (Issiaka *et al.*, 2016 ; Tamou, 2002). Plusieurs travaux de recherche sont effectués dans le bassin versant de la Sota (Ayéna, 2020 ; Zakari, 2015 ; Koumassi, 2014) mais n'ont pas mis assez d'accent sur la cartographie du corridor écologique des forêts classées dans ce bassin.

La présente étude vise à cartographier l'occupation des terres et sa dynamique dans le corridor écologique des forêts classées des trois rivières, Sota et Goungoun au Nord-est du Bénin.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Présentation du corridor des forêts classées des Trois rivières, Sota et Goungoun (FCTSG)

Situé au nord-est du Bénin le long de la rivière Sota, le corridor des forêts classées

des Trois rivières, Sota et Goungoun se trouve dans les Communes de Malanville, Kandi, Ségbana et Gogounou (Département de l'Alibori), Bembèrkè et de Kalalé (Département du Borgou). Il couvre une superficie de 488 225,54 ha. Géographiquement, Il s'étend entre 10°18' et 11°40' de latitude nord et entre 2°47' et 3°35' de longitude est. Le climat est de type soudanien avec une température moyenne de 28°C. Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 833 mm (ASECNA, 2015). Il règne dans ce secteur un régime pluviométrique unimodal avec

une saison pluvieuse de mai à octobre et une saison sèche de novembre à avril. Les sols rencontrés sont essentiellement des sols ferrugineux tropicaux. La végétation est composée de galeries forestières, de forêts claires et savanes boisées, des savanes arborées, arbustives et des mosaïques de champs et de jachères. Les principales activités économiques menées dans les Communes limitrophes sont l'agriculture, l'élevage et la pêche. La figure 1 présente la localisation géographique du corridor des forêts classées des Trois rivières, Sota et Goungoun.

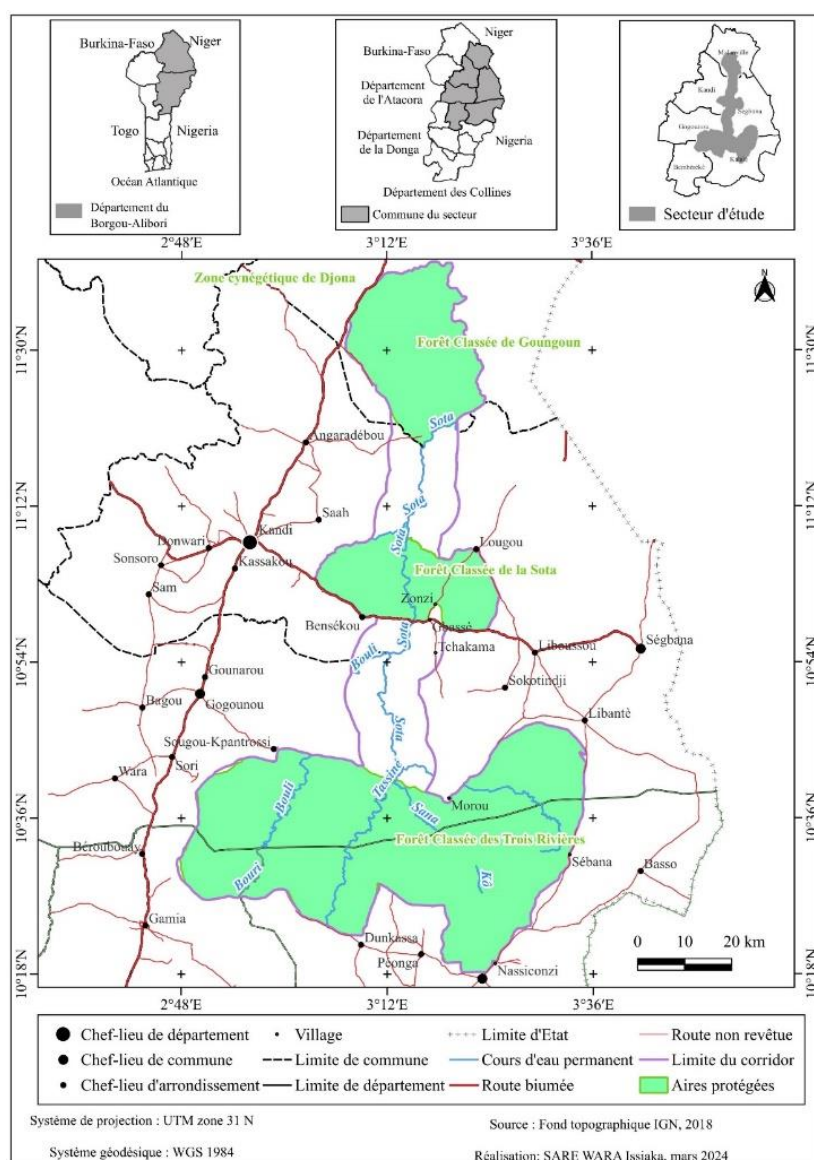


Figure 1 : Localisation géographique du secteur de recherche

2.2. Données utilisées

Deux catégories de données sont utilisées.

- ✓ La première catégorie de données est constituée des images satellitaires Landsat ETM+ de septembre 2003 ; OLI-TIRS de septembre 2013 et 2023, scène P192 R053, téléchargées sur le site earthexplorer.usgs.gov au format GEOTIFF. Il s'agit des images ayant déjà subi des corrections géométriques.
- ✓ La seconde catégorie de données dites complémentaires est constituée de :
 - ✓ Données GPS (points de contrôles terrain) ;
 - ✓ Fond topographique de l'IGN de 2018 en format shp.

Ces données ont permis de réaliser les cartes thématiques du corridor des FCTSG.

2.2.1 Méthode de traitement

La technique de télédétection par imagerie satellitaire a permis de mettre en exergue les biens et services écosystémiques des forêts en étude. La méthode d'interprétation des images par objet est effectuée à l'aide du logiciel Envi. La classification est basée sur la nomenclature du projet d'Observation Spatiale des Forêts d'Afrique Centrale et de l'Ouest (OSFACO). Les données issues de la classification sont ensuite exportées vers le logiciel QGIS 2.18 pour la réalisation des différentes cartes.

✓ Composition colorée

La composition colorée a permis de produire des images en couleurs en tenant compte de la signature spectrale des objets. Elle a servi avant tout à distinguer les différents objets présents dans les images et ainsi faciliter l'interprétation des images. La

composition fausse couleur a été utilisée avec les bandes 5, 4,3 pour Landsat OLI-TIRS de 2013 et 2023 et les bandes 4, 3,2 pour Landsat ETM+ de 2003.

✓ Sélection d'échantillons représentatifs

Pour chaque type d'occupation des terres, on a identifié sur l'image, des zones représentatives appelées aires d'entraînement. Les aires d'entraînement ont été délimitées loin des zones de transition afin d'éviter d'inclure des pixels mixtes, c'est-à-dire des pixels qui pourraient être classés dans deux classes distinctes. La taille de l'aire d'entraînement doit être supérieure à l'erreur de localisation et inférieure à l'objet à détecter (Kioko et Okello, 2010), et est estimée de la façon suivante :

$$A = P(1 + 2L)$$

avec A la superficie de l'aire d'entraînement ; P la dimension du pixel en mètre ; et L la précision de la localisation en mètre.

✓ Classification par la technique du maximum de vraisemblance

Les trois images retenues ont été soumises à la méthode de classification supervisée. Cette dernière a permis de regrouper automatiquement des objets semblables à des objets de référence identifiés sur le terrain. Tous les pixels de l'image sont classés suivant la technique du maximum de vraisemblance. Cet algorithme de classification calcule une fonction de probabilité multidimensionnelle qui détermine la probabilité de chaque pixel d'appartenir à l'une des catégories correspondant aux signatures spectrales (Toko, 2014).

✓ **Exportation des données rasters vers un Système d'Information Géographique**

Après la classification, chaque image interprétée a été exportée vers un Système d'Information Géographique. Il s'est agi de convertir le fichier du format raster en format vecteur. Cela a été fait avec le logiciel ArcGIS 10.8. Dans ce système d'information géographique, les superficies des différentes unités d'occupation des terres qui ont subi de transformation ont été calculées à partir du croisement des cartes obtenues après interprétation des images de 2003, de 2013 et de 2023 à l'aide de la fonction *Intersect* de la boîte à outils Arctoolbox. Ce qui a permis d'établir les matrices de transition des deux périodes.

✓ **Matrice de transition**

Cette matrice ne contient aucune information sur la distribution spatiale des changements, ni sur les processus et causes ayant conduit aux changements mais informe sur la proportion d'affectation d'un type *i* d'utilisation des terres à un état *j* réalisés pendant la période concernée. Elle est constituée de X lignes et de Y colonnes. Le nombre de lignes de la matrice indique le nombre de formations végétales et autres 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 donc des lignes vers les colonnes. Les superficies de ces différentes unités ont été calculées à partir du croisement des cartes deux de dates à l'aide de la fonction *Intersect* du logiciel ArcGIS 10.8.

✓ **Taux moyen annuel d'expansion spatiale**

Le taux moyen annuel d'expansion spatiale exprime la proportion de chaque unité de végétation naturelle qui change annuellement (Oloukoï *et al.*, 2006 ; Arouna, 2012 ; Toko, 2014). Ce taux annuel (T_a) est calculé à partir de la formule suivante :

$$T_a = \frac{\ln(S_2) - \ln(S_1)}{(t_2 - t_1) \times \ln(e)} \times 100$$

Avec S_1 la superficie d'une unité de végétation à la date t_1 , S_2 la superficie de la même unité de végétation à la date t_2 et ($t_2 - t_1$) la différence d'années entre t_1 et t_2 .

✓ **Taux de conversion**

Le taux de conversion d'une classe d'unité d'occupation des terres correspond au degré de transformation subie par cette classe en se convertissant vers d'autres classes (Kouta, 2020 ; Toko, 2014 ; Arouna, 2012). Il s'agit de la quantité de changements observés dans l'occupation des terres d'une unité donnée entre 2003 et 2013, ainsi qu'entre 2013 et 2023. Cela permet d'évaluer le degré de conversion de cette unité en d'autres types d'occupation des terres. Ce calcul est réalisé à partir de la matrice de transition en appliquant la formule suivante :

$$T_c = \frac{S_{it} - S_{is}}{S_{it}} \times 100$$

S_{it} : Superficie de l'unité d'occupation *i* à la date initiale *t* ; S_{is} : Superficie de la même unité demeurée stable à la date t_1 .

✓ **Analyse des intensités et vitesses des changements entre 2003 et 2023**

Deux programmes d'analyses ("PontiusMatrix22" et "Intensity Analysis02.xlms") de Aldwaik et Pontius (2012), 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. Le premier programme s'est basé sur les matrices de transition de 2003-2013 et 2013-2023 pour générer des graphiques montrant lesdites intensités.

✓ **Taux de déforestation**

Le taux global de déforestation (TgDef) est calculé par la formule de Issifou, 2020 ; Tchatchou *et al.* (2015) ; De Wasseige *et al.* (2008). Le taux annuel de déforestation a été obtenu en divisant le taux de déforestation par le nombre d'années d'étude.

$$Tg(Def) = \frac{Def \times 100}{S1}$$

Def(b ; n) est la déforestation brute (b) ou nette (n) et S1 représente la superficie des terres forestières naturelles de l'année t1.

✓ **Taux de dégradation**

Le taux global de dégradation (TgDg) est calculé par la formule suivante :

$$Tg(Dg) = \frac{Dg \times 100}{S1}$$

Dg(b ;n) est la dégradation brute (b) ou nette (n) et S1 représente la superficie des terres forestières naturelles de l'année t1.

✓ **Taux de reconstitution naturelle**

La reconstitution est la transition d'une terre cultivée ou autres terres en terres forestières. Le taux global de reconstitution

Le second programme grâce à la matrice de transition a aussi permis de générer des statistiques pour les changements selon les intervalles de temps, entre chaque catégorie d'occupation des terres et les autres unités d'occupation des terres. Il en est de même pour les pertes et gains survenus lors des transitions entre unités.

naturelle (TgRn) est obtenu par la formule suivante :

$$Tg(Rn) = \frac{Rn \times 100}{S1}$$

Rn est la reconstitution naturelle totale enregistrée dans la période et S1 représente la superficie des terres forestières naturelles de l'année t1.

✓ **Taux d'amélioration**

L'amélioration est la conversion d'une terre forestière ouverte à une terre forestière plus fermée ou dense. Son taux global est :

$$Tg(Am) = \frac{Am \times 100}{S1}$$

Am est l'amélioration totale enregistré dans la période et S1 représente la superficie des terres forestières naturelles de l'année t1.

Le taux annuel a été déterminé en divisant le taux global par le nombre d'années d'étude.

3. RESULTATS ET ANALYSE

La figure 2 présente les cartes d'occupation des terres de 2003 et de 2013 du Corridor des FCTSG au nord-est du Bénin.

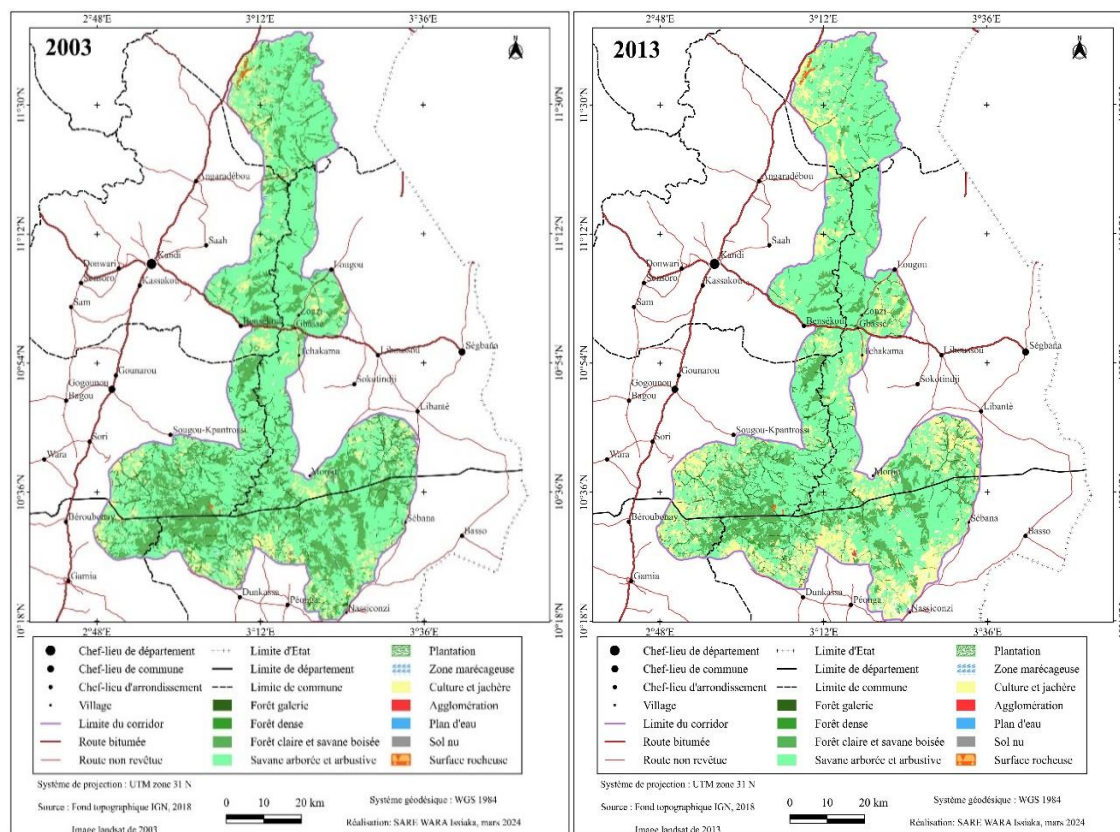


Figure 2. Occupation des terres entre 2003 et 2013

Il ressort de l'analyse de la figure 2 qu'en 2003, la physionomie du corridor des FCTSG est largement dominée par les savanes arborées et arbustives suivies des forêts claires et savanes boisées. Les îlots de forêts denses sont remarquables au cœur des principales aires protégées, dans les secteurs moins anthropisés et près des galeries forestières qui s'observent le long des affluents de la rivière Sota. A l'intérieur des terroirs villageois, les mosaïques de champs et jachères constituent la plus importante unité d'occupation des terres.

Par contre, en 2013 les savanes arborées et arbustives et les mosaïques de champs et jachères constituent les plus abondantes unités d'occupation des terres et s'observent jusqu'à l'intérieur des aires protégées. Les savanes arborées et arbustives sont devenues les principales formations végétales naturelles dans le corridor des FCTSG.

Le tableau 1 présente la matrice de transition des unités d'occupation entre 2003 et 2013.

Tableau 1 : Matrice de transition des unités d'occupation entre 2003 et 2013

Unités 2003	Unités 2013											TOTAL 2003	Perte
	FGFR	FD	FCSB	SASa	PLAN	FSM	CJ	HA	SED	PE	SR		
FGFR	22 368,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2 326,50	0,00	0,00	0,00	0,00	24 694,82	2 327
FD	0,00	460,45	496,80	375,63	0,00	0,00	96,94	0,00	0,00	0,00	0,00	1 429,83	969
FCSB	0,00	0,00	60 125,46	34 073,52	181,76	0,00	13 862,06	72,70	0,00	0,00	0,00	108 315,50	48 190
SASa	0,00	0,00	3 102,00	256 496,53	811,85	0,00	46 796,56	60,59	84,82	0,00	0,00	307 352,35	47 754
PLAN	0,00	0,00	0,00	0,00	957,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	957,26	0
FSM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	363,52	72,70	0,00	0,00	0,00	0,00	436,22	73
CJ	0,00	0,00	0,00	10 566,18	2 229,56	0,00	30 777,64	96,94	0,00	0,00	0,00	43 670,33	12 893
HA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	205,99	0,00	0,00	0,00	205,99	0
SED	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,12	0,00	581,62	0,00	0,00	593,74	12
PE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	84,82	0,00	84,82	0
SR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	484,69	484,69	0
TOTAL 2013	22 368,32	460,45	63 724,27	301 511,87	4 180,43	363,52	93 944,52	436,22	666,45	84,82	484,69	488 225,54	
Gain	0	0	3 599	54 015	3 223	0	63 167	230	85	0	0		

FD: Forêt dense sèche, FGFR: Forêt galerie et formation rupicole, FCSB: Forêt claire et savane boisée, SASa: Savane arborée et arbustive, FSM: Forêt et savane marécageuse, PLAN: Plantations (forestière, fruitière), CJ: Culture et jachère, HA: Agglomération, SR: Surface rocheuse, SED: Sol érodé et dénudé.

Sources : Landsat ETM+ de 2003 et OLI-TIRS de 2013

Il ressort du tableau 1 que toutes les unités d'occupation des terres ont subi des transitions, à l'exception des surfaces rocheuses, des plans d'eau, des forêts denses sèches et des sols érodés dénudés. Le bilan des changements entre les deux périodes montre que les forêts galeries et formations rupicoles ont perdu 2327 ha, principalement au profit des cultures et jachères. En revanche, les forêts denses sèches ont enregistré une perte de 969 ha, dont 497 ha ont été convertis en forêts claires et savanes boisées, 376 ha en savanes arborées et arbustives, et 97 ha en cultures et jachères.

Les forêts claires et savanes boisées ont perdu environ 48 190 ha, dont 34 074 ha ont été transformés en savanes arborées et arbustives, 182 ha en plantations, 13 862 ha en cultures et jachères, et 73 ha en agglomérations. Enfin, les savanes arborées et arbustives ont subi une perte de 47 754 ha, dont environ 46 796 ha ont été convertis en cultures et jachères.

La figure 3 présente les cartes d'occupation des terres de 2013 et de 2023 du corridor des FCTSG

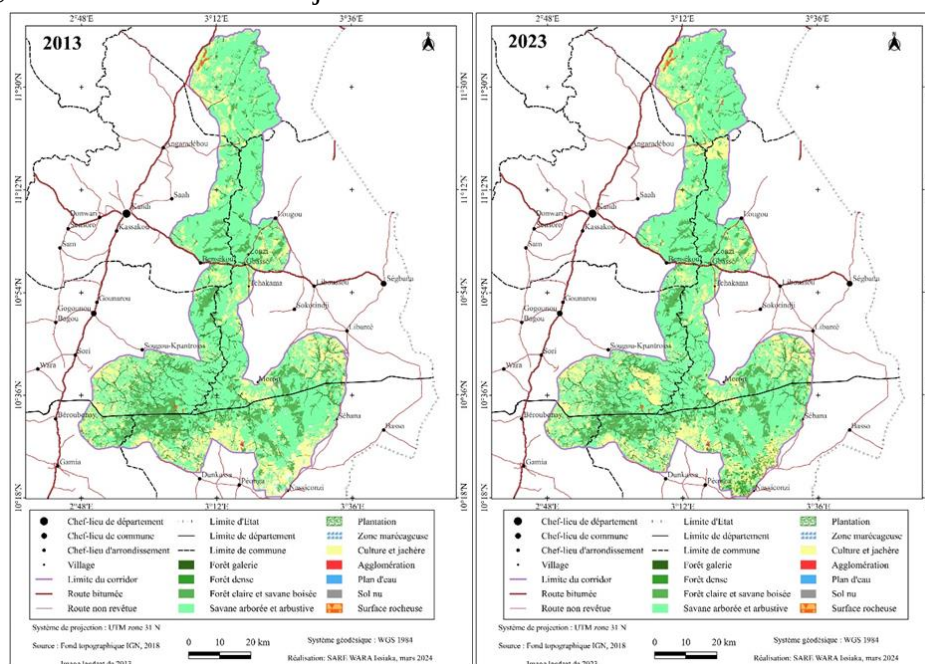


Figure 3. Occupation des terres entre 2013 et 2023

L'examen de la figure 3 montre que les mosaïques de champs et jachères constituent la plus abondante des unités d'occupation des terres et s'observe jusqu'à l'intérieur des aires protégées. Elle est suivie des savanes arborées et arbustives qui sont devenues les principales formations végétales naturelles du corridor des FCTSG. Les forêts claires et savanes boisées sont réduites en des îlots et concentrées dans les forêts classées de la Sota et des Trois Rivières et dans les terroirs villageois de Guéné, Libantè, Sokotindji et Bensékou. On y rencontre les forêts denses sèches qui sont réduites à des fragments. Les galeries forestières s'observent par

endroits le long des affluents de la rivière Sota, mais elles sont quasi- inexistantes le long de la Sota. Les sols dénudés par contre, ont connu une grande expansion et se rencontrent désormais dans les terroirs villageois du corridor des FCTSG.

3.1- Analyse quantitative des changements d'occupation des terres entre 2013 et 2023

3.1.1- Bilan des changements d'occupation des terres

Le tableau 2 présente la matrice de transition des unités d'occupation entre 2013 et 2023.

Tableau 2. Matrice de transition des unités d'occupation entre 2013 et 2023

Unités 2013	Unités 2023											TOTAL 2013	Perte
	FGFR	FD	FCSB	SASa	PLAN	FSM	CJ	HA	SED	PE	SR		
FGFR	22 162,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	205,99	0,00	0,00	0,00	0,00	22 368,32	206
FD	0,00	460,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	460,45	0
FCSB	0,00	0,00	59 640,77	3 635,15	0,00	0,00	418,11	30,23	0,00	0,00	0,00	63 724,27	4 083
SASa	0,00	0,00	0,00	290 218,65	0,00	0,00	11 293,21	0,00	0,00	0,00	0,00	301 511,87	11 293
PLAN	0,00	0,00	0,00	0,00	4 180,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4 180,43	0
FSM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	363,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	363,52	0
CJ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	93 883,93	60,59	0,00	0,00	0,00	93 944,52	61
HA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	436,22	0,00	0,00	0,00	436,22	0
SED	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	666,45	0,00	0,00	666,45	0
PE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	84,82	0,00	84,82	0
SR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	484,69	484,69	0
TOTAL 2023	22 162,33	460,45	59 640,77	293 853,81	4 180,43	363,52	105 801,25	527,03	666,45	84,82	484,69	488 225,54	
Gain	0	0	0	3 635	0	0	11 917	91	0	0	0		

FD: Forêt dense sèche, FGFR: Forêt galerie et formation rupicole, FCSB: Forêt claire et savane boisée, SASa: Savane arborée et arbustive, FSM: Forêt et savane marécageuse, PLAN: Plantations (forestière, fruitière), CJ: Culture et jachère, Plan d'eau, HA: Agglomération, SR: Surface rocheuse, SED: Sol érodé et dénudé.

Sources : Images Landsat OLI-TIRS de 2013 et de 2023

L'analyse du tableau 2 révèle que toutes les unités ont connu des transitions à l'exception des surfaces rocheuses, des plans d'eau, des forêts denses sèches, et des sols érodés dénudés. Le bilan des changements par unité d'occupation des terres entre les deux dates indique que les forêts galeries et formations rupicoles ont perdu 206 ha au profit des cultures et jachères. Par contre, les forêts claires et savanes boisées ont connu environ 4083 ha de perte au profit des savanes arborées et arbustives (3635 ha), des cultures et jachères (418 ha) et des agglomérations (30

ha). Une perte d'environ 11293 ha est enregistrée au niveau des savanes arborées et arbustives au profit des cultures et jachères.

➤ Taux moyen annuel d'expansion spatiale et vitesse d'évolution des unités d'occupation des terres dans le secteur d'étude

Les variations des taux moyen annuel d'expansion spatiale et leur vitesse d'évolution (extension ou régression) sont consignées dans les tableaux 3 et 4.

Tableau 3 : Taux moyen annuel d'expansion spatiale et vitesse d'évolution des unités d'occupation des terres de 2003 à 2013

Unités d'occupation	Superficie en 2003 (ha)	Superficie en 2013 (ha)	T (%)	Δs (ha/an)
FGFR	24 694,82	22 368,32	-0,99	-2 326,50
			-	
FD	1 429,83	460,45	11,33	-969,38
FCSB	108 315,50	63 724,27	-5,30	-44 591,23
			-	
SASa	307 352,35	301 511,87	15,73	-5 840,48
PLAN	957,26	4 180,43	14,74	3 223,17
FSM	436,22	363,52	-1,82	-72,70
CJ	43 670,33	93 944,52	7,66	50 274,19
HA	205,99	436,22	7,50	230,23
SED	593,74	666,45	1,16	72,71
PE	84,82	84,82	0,00	0,00
SR	484,69	484,69	0,00	0,00

Légende : T (ha) : taux moyen annuel d'expansion spatiale ; Δs (ha/an) : vitesse d'évolution

De l'analyse du tableau 3, il ressort qu'au niveau des formations anthropiques, les plantations ont connu la plus forte expansion avec une valeur moyenne annuelle de 14,74 % et une vitesse de progression estimée à 3 223,17 ha/an. Elles sont suivies des champs et jachères, avec une valeur moyenne annuelle de 7,66 % et une progression de 50 274,19 ha/an.

A l'opposé des progressions, on note au niveau des savanes arborées et arbustives la

plus importante régression (-15,73 %) avec une évolution de -5 840,48 ha/an. Les forêts denses sèches enregistrent une évolution de -11,33 % avec une vitesse de régression estimée à -969,38 ha/an. Les forêts claires et savanes boisées ont connu un taux d'expansion spatiale respectivement de -5,30 % et une vitesse de régression estimée à -44 591,23 ha/an. Les forêts galeries ont régressé de -0,99 % avec une vitesse de -2 326,50 ha/an. Les plans d'eau et surfaces rocheuses sont restés stables.

Tableau 4: Taux moyen annuel d'expansion spatiale et vitesse d'évolution des unités d'occupation des terres de 2013 à 2023

Unités d'occupation	Superficie en 2013 (ha)	Superficie en 2023 (ha)	T (%)	Δs (ha/an)
FGFR	22 368,32	22 162,33	-0,09	-205,99
FD	460,45	460,45	0,00	0,00
FCSB	63 724,27	59 640,77	-0,66	-4 083,50
			-	
SASa	301 511,87	293 853,81	16,20	-7 658,06
Plan	4 180,43	4 180,43	0,00	0,00
FSM	363,52	363,52	0,00	0,00
CJ	93 944,52	105 801,25	1,19	11 856,73
HA	436,22	527,03	1,89	90,81
SED	666,45	666,45	0,00	0,00
PE	84,82	84,82	0,00	0,00
SR	484,69	484,69	0,00	0,00

Légende : T (ha) : taux moyen annuel d'expansion spatiale ; Δs (ha/an) : vitesse d'évolution

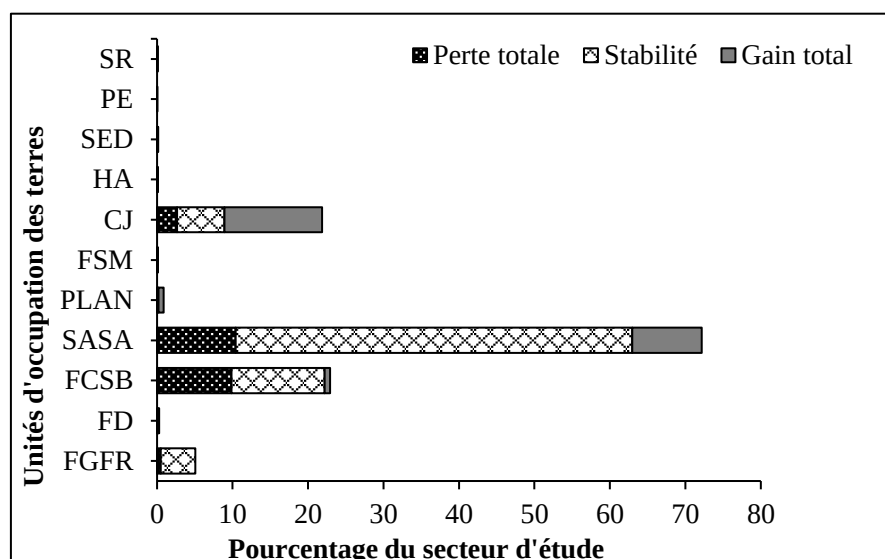
De l'examen du tableau 4, il ressort qu'au niveau des formations anthropiques, les agglomérations ont connu la plus forte expansion avec une expansion moyenne annuelle de 1,89 % et une vitesse d'extension de 90,81 ha/an. Quant aux champs et jachères, l'expansion moyenne annuelle est de 1,19 % et une vitesse d'extension de 11 856,73 ha/an.

A l'opposé des progressions, on note au niveau des savanes arborées et arbustives la plus importante régression (-16,20 %) avec une vitesse d'évolution de -7 658,06 ha/an.

Les forêts claires et savanes boisées ont régressé aussi avec -0,66 % et une vitesse de régression estimée à -4 083,50 ha/an.

➤ Intensité des changements par catégorie d'occupation des terres entre 2003 et 2013

La figure 4 présente l'intensité des changements entre les différentes catégories d'occupation des terres et à l'intérieur de chacune d'elles dans le secteur d'étude entre 2003 et 2013



Légende : FD : Forêt dense ; FGFR : Forêt Galerie et Formation Ripicole ; FCSB : Forêt claire et savane boisée ; FSM : Forêt et savane marécageuse ; SASa : Savane arborée et arbustive ; CJ : Champs et jachères ; PE : Plan d'eau ; CJP : Culture et jachère sous palmier ; HA : Agglomération ; PLAN : Plantation ; SED : Sol érodé et dénudé

Figure 4 : Intensité des changements opérés globalement entre catégories et à l'intérieur de chaque catégorie entre 2003 et 2013

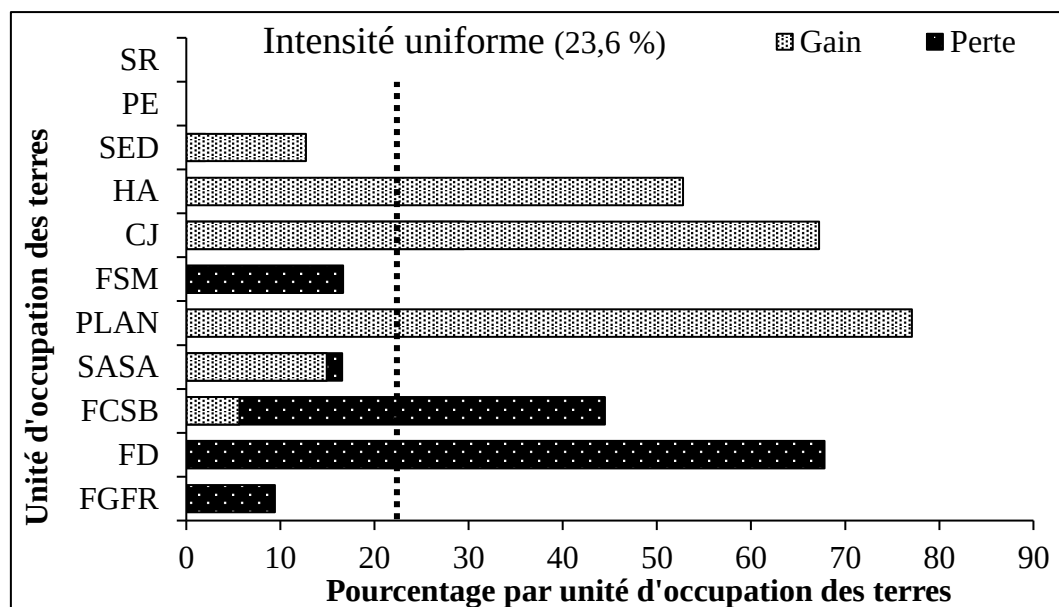
L'analyse de la figure 4 montre que des catégories très dynamiques ont été distinguées en termes de changements totaux. En effet, les savanes arborées et arbustives sont les catégories d'occupation qui ont connu plus de perte (10,41 %), suivies des forêts claires et savanes boisées

avec 9,87 %. Les champs et jachères ont enregistré le plus grand pourcentage de gain avec 12,94 % suivies des savanes arborées et arbustives avec 9,22 %. Par ailleurs, les plantations, les habitations et les sols érodés dénudés ont connu aussi de gain mais à des proportions très faibles. Lors des changements d'état entre les différentes catégories d'occupation des terres, les savanes arborées et arbustives sont les

catégories qui ont connu plus de stabilité avec 52,54 % des superficies du corridor des FCTSG.

➤ **Intensité et vitesse des changements à l'intérieur de chaque catégorie d'occupation des terres entre 2003 et 2013**

La figure 5 illustre une synthèse de changements notamment d'intensité et de vitesses pour mieux apprécier les changements enregistrés au sein des formations forestières et des autres unités d'occupation des terres sur une durée de 10 ans.



Légende : FD : Forêt dense ; FGFR : Forêt Galerie et Formation Ripicole ; FCSB : Forêt claire et savane boisée ; FSM : Forêt et savane marécageuse ; SASa : Savane arborée et arbustive ; CJ : Champs et jachères ; PE : Plan d'eau ; CJP : Culture et jachère sous palmier ; HA : Agglomération ; PLAN : Plantation ; SED : Sol érodé et dénudé

Figure 5 : Intensités et vitesses des changements par catégorie d'occupation des terres dans le secteur d'étude entre 2003 et 2013

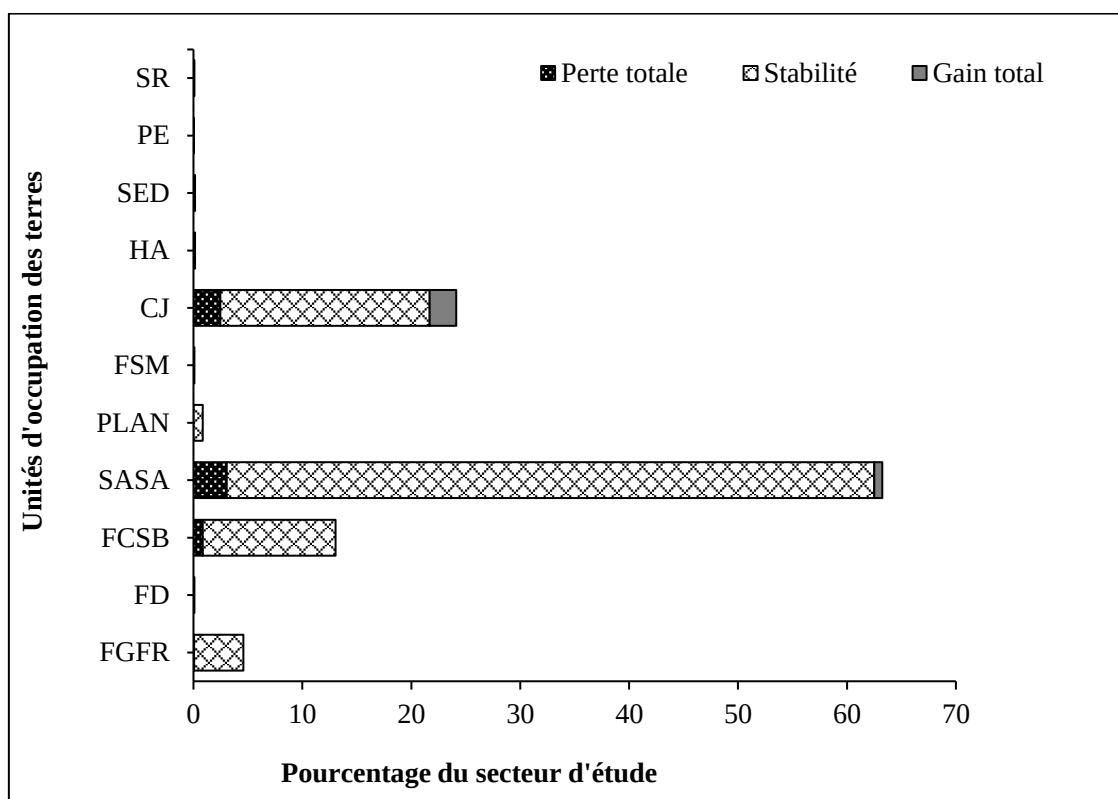
L'observation de la figure 5 montre que toutes les formations forestières et quelques unités d'occupation des terres non forestières ont connu des gains et des pertes. La ligne verticale en tirets noir est la zone où les changements restent uniformes si les perturbations s'arrêtent dans le corridor des FCTSG. A gauche de cette ligne, les changements sont dits dormants ou lents, tandis qu'à sa droite, les changements sont qualifiés d'actifs ou de rapides. En effet, les gains opérés au niveau des plantations (77,10 %), des champs et jachères (67,24

%) et des habitations (52,78) sont rapides tandis qu'au niveau des savanes arborées et arbustives (14,93 %), des sols érodés dénudés (12,73 %) et des forêts claires et savanes boisées (5,65 %), ils sont lents. En ce qui concerne les pertes, elles sont rapides au niveau des forêts denses (67,80 %) et des forêts claires et savanes boisées (44,50 %). Par ailleurs, les forêts et savanes marécageuse (16,67 %), les forêts galeries et formations ripicoles (5,17 %) et les savanes arborées et arbustives (1,62 %), ont connu de lentes pertes.

➤ **Intensité des changements par catégorie d'occupation des terres entre 2013 et 2023**

L'examen de la figure 6 montre que globalement les changements entre les catégories d'occupation des terres se sont

opérés dans le secteur d'étude de façon différentielle sur le plan spatial.



Légende : FD : Forêt dense ; FGFR : Forêt Galerie et Formation Ripicole ; FCSB : Forêt claire et savane boisée ; FSM : Forêt et savane marécageuse ; SASa : Savane arborée et arbustive ; CJ : Champs et jachères ; PE : Plan d'eau ; CJP : Culture et jachère sous palmier ; HA : Agglomération ; PLAN : Plantation ; SED : Sol érodé et dénudé

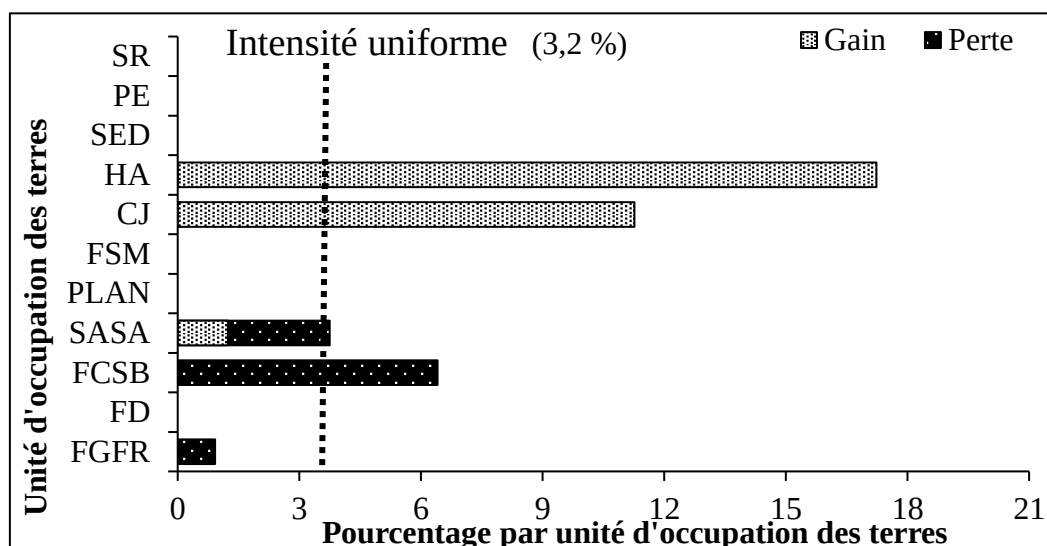
Figure 6 : Intensité de changement par catégorie d'occupation des terres entre 2013 et 2023

En effet, les savanes arborées et arbustives sont les catégories d'occupation qui ont connu plus de perte (3,06 %). Les champs et jachères ont enregistré le plus grand pourcentage de gain avec 2,44 % suivis des savanes arborées et arbustives avec 0,74 %. Par ailleurs, les plantations, les habitations et les sols érodés dénudés ont connu aussi de gain mais à des proportions très faibles. Lors des changements d'état entre les différentes catégories d'occupation des

terres, les savanes arborées et arbustives sont les catégories qui ont connu plus de stabilité avec 59,44 % des superficies du corridor des FCTSG.

➤ Intensité et vitesse des changements à l'intérieur de chaque catégorie d'occupation des terres entre 2013 et 2023

La figure 7 présente l'intensité et vitesse des changements à l'intérieur de chaque catégorie d'occupation des terres entre 2013 et 2023.



Légende : FD : Forêt dense ; FGFR : Forêt Galerie et Formation Ripicole ; FCSB : Forêt claire et savane boisée ; FSM : Forêt et savane marécageuse ; SASa : Savane arborée et arbustive ; CJ : Champs et jachères ; PE : Plan d'eau ; CJP : Culture et jachère sous palmier ; HA : Agglomération ; PLAN : Plantation ; SED : Sol érodé et dénudé

Figure 7 : Intensité et vitesse des changements à l'intérieur de chaque catégorie d'occupation des terres entre 2013 et 2023

L'observation de la figure 7 montre que toutes les formations forestières et quelques unités d'occupation des terres non forestières ont connu des gains et des pertes. La ligne verticale en tirets noir est la zone où les changements restent uniformes si les perturbations s'arrêtent dans le Corridor des Forêts Classées des Trois rivières-Sota-Goungoun (CFCTSG). A gauche de cette ligne, les changements sont dits dormants ou lents, tandis qu'à sa droite, les changements sont qualifiés d'actifs ou rapides. En effet, les gains opérés au niveau

des agglomérations (17,23 %) et des champs et jachères (11,26 %) sont rapides tandis qu'au niveau des savanes arborées et arbustives (1,24 %), ils sont lents. En ce qui concerne les pertes, elles sont rapides au niveau des forêts claires et savanes boisées (6,41 %) ainsi qu'au niveau des savanes arborées et arbustives (3,74 %). Par ailleurs, les forêts galeries et formations ripicoles (0,92 %) ont connu de lentes pertes.

➤ **Tendance de la déforestation et de la dégradation forestière**

La figure 8 illustre les taux annuels de déforestation, de dégradation, de reconstitution et d'amélioration quantifiés entre 2003 et 2013.

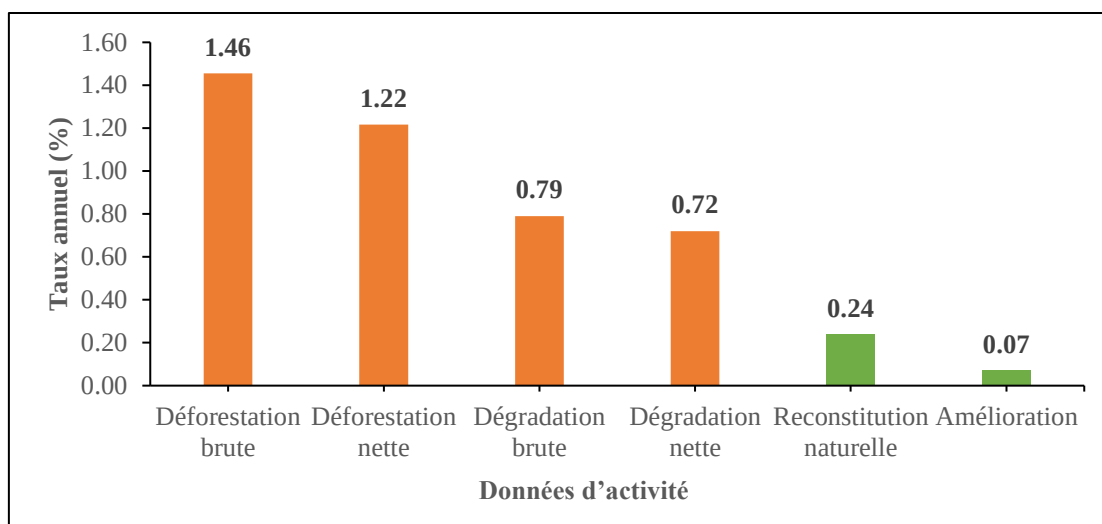


Figure 8 : Taux de déforestation et de dégradation du CFCTSG entre 2003 et 2013

L'examen de la figure 8 révèle que le taux annuel de déforestation nette est de 1,22 % (soit 5380,03 ha/an), tandis que celui de la dégradation nette est de 0,72 % (soit 3184,40 ha/an). En revanche, la reconstitution naturelle s'effectue à un taux de 0,24 % (soit 1056,62 ha/an), et les

améliorations sont estimées à 0,07 % (soit 310,2 ha/an).

La figure 9 illustre les taux annuels de déforestation, de dégradation, de reconstitution et d'amélioration quantifiés entre 2013 et 2023.

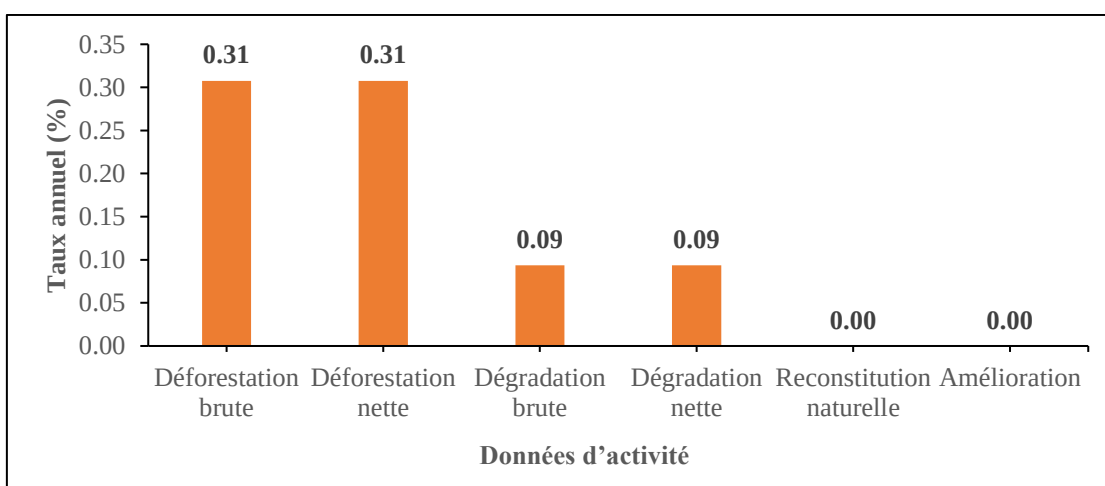


Figure 9 : Taux de déforestation et de dégradation du CFCTSG entre 2013 et 2023

L'analyse de la figure 9 montre que le taux annuel de déforestation nette de 2013 à 2023 est de 0,31 % (soit 1194,75 ha/an), alors que celui de la dégradation nette est de 0,09 % (soit 363,52 ha/an). Par contre, la

reconstitution naturelle et les améliorations sont inexistantes.

4. DISCUSSION

La présente étude a permis de montrer l'importance de la Télédétection dans la compréhension des changements spatio-temporels de l'occupation des terres dans le Corridor des forêts classées des Trois rivières-Sota-Goungoun à partir des images satellitaires Landsat de 2003, 2013 et 2023, toutes de 30 m résolution spatiale. Dans cette recherche, des cartes d'occupation des terres ont été réalisées pour les années 2003, 2013 et 2023. Les superficies de chaque unité d'occupation des terres ont été extraites. Le rôle de l'imagerie satellitaire reste indispensable dans le processus de caractérisation et d'aménagement régional des écosystèmes (Zakari, 2015). Dans le corridor des forêts classées des Trois Rivières Sota et Goungoun, les résultats de la dynamique de l'occupation des terres sont similaires à ceux de Mama (2002), Oloukoï (2012) concernant la régression des formations végétales naturelles au profit des formations anthropisées au centre du Bénin.

Les forêts galeries et formations rupicoles ont régressé en 10 ans de 9,42 % entre 2003 et 2013 et de 0,92 % entre 2013 et 2023. Les forêts claires et savanes boisées ont régressé 44,49 % entre 2003 et 2023. Quant aux savanes arborées et arbustives, la conversion est de 15,54 % entre 2003 et 2013. Cependant, les champs et jachères, ont connu la plus forte expansion avec une

expansion 67,24 % entre 2013 et 2023. Ces résultats corroborent ceux de Kouta (2020) ; Issifou (2020) ; Zakari (2015) ; Avakoudjo *et al.* (2014) ; Mama *et al.* (2013) et Arouna (2002), qui indiquent un changement d'utilisation des terres forestières notamment les forêts galeries et les formations ripicoles, forêts denses sèches,

savanes arborées et arbustives, les forêts claires et les savanes boisées vers les terres anthropiques (champs, jachères, plantations et habitations) dans la zone soudanienne.

Les défrichements incontrôlés dus aux besoins croissants de superficies cultivables sous l'effet de la pression démographique, les mauvaises pratiques culturales (extension perpétuelle des surfaces cultivées, disparition de la jachère, feux de végétation abusifs, absence d'apport fertilisant, monoculture, etc.), les prélèvements non contrôlés de bois de feu et de bois d'œuvre avec disparition des essences de valeur et la transhumance sont les principales causes qui expliquent la dégradation observée. Cette même observation est faite par Tankoana *et al.* (2016) ; Zakari (2015) ; Mama *et al.* (2013) ; Bogaert *et al.* (2011) ; Diallo *et al.* (2011) ; Ozer *et al.* (2010) ; Sawadogo (2009) ; Tabopda (2009) et Faye *et al.* (2008), selon laquelle les formations végétales naturelles font place aux autres types de formations de nature anthropique.

5. CONCLUSION

La présente recherche a permis de cartographier la dynamique spatio-temporelle de l'occupation des terres dans le corridor des Forêts Classées des Trois Rivières, Sota et Goungoun (FCTSG) au nord-est du Bénin. L'état d'occupation du sol du secteur d'étude est établi sur des bases scientifiques fondées sur le traitement des images satellitaires (Trois images Landsat des années 2003, 2013 et de 2023) couplées aux données d'investigation de terrain et d'autres sources d'informations géographiques. L'analyse de la dynamique

de changements intervenus au niveau des unités d'occupations du sol du corridor des FCTSG a fait ressortir les différents processus d'évolution au sein du paysage pendant la période 2003 - 2023. Ces changements concernent surtout la régression des formations naturelles telles

que les formations forestières fermées et les savanes sur terre ferme alors que les occupations de sol à faible couverture végétale (les mosaïques de cultures/jachères et les agglomérations) ont connu une augmentation progressive de leur superficie.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Arouna, O. (2012). Cartographie et modélisation prédictive des changements spatio-temporels de la végétation dans la Commune de Djidja au Bénin : implications pour l'aménagement du territoire, Thèse de Doctorat Unique Université d'Abomey-Calavi (Bénin).
- Ayéna A. (2020). Changements environnementaux et sensibilité du bassin-versant de la sota à l'érosion hydrique, Thèse de doctorat de l'Université d'Abomey-Calavi (Bénin).
- Avakoudjo, J., Mama, A., Toko, 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), 2608-2625.
- Camacho, C., & Pérez-Barahona, A. (2015). Land use change and the environment: a spatial dynamics approach, *J. Econ. Dyn. Cont*, 52, 96-118.
- de Wasseige, C. (2008). La question des zones tampons autour du Parc National des Virunga, *Revue des questions scientifiques*, 179(1), 99-110.
- Diallo, H., Bamba, I., Barima, Y. S. S., Visser, M., Ballo, A., Mama, A., ... & Bogaert, J. (2011). Effets combinés du climat et des pressions anthropiques sur la dynamique évolutive de la végétation d'une zone protégée du Mali (Réserve de Fina, Boucle du Baoulé), *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 22(2), 97-107.
- Dube, T., & Mutanga, O. (2015). Investigating the robustness of the new Landsat-8 Operational Land Imager derived texture metrics in estimating plantation forest aboveground biomass in resource constrained areas, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote sensing*, 108, 12-32.
- Fao, F.A.O.S.T.A.T. (2018). Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, URL: <http://faostat.fao.org>, 403-403.
- Faye, I. B. N., Gourmelon, F., & Diaw, A. T. (2008). Évolution du trait de côte à Nouakchott (Mauritanie) de 1954 à 2005 par photo-interprétation, *Norois*, 208, 11-27.

- Issiaka, N. T., Arouna, O., & Imorou, I. T. (2016). Cartographie de la dynamique spatio-temporelle des parcours Naturels des troupeaux transhumants dans les Communes de Banikoara et de Karimama au Bénin (Afrique de l'ouest), *European Scientific Journal*, 12(32), 251-268.
- 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. Université d'Abomey-Calavi.
- Koumassi, H. (2014). Risques hydroclimatiques et vulnérabilités des écosystèmes dans le bassin versant de la Sota à l'exutoire de Coubéri, Thèse de Doctorat, Université d'Abomey Calavi).
- Kouta S., 2020. Modélisation de la dynamique de l'occupation des terres et résilience de la flore dans le bassin cotonnier du nord-Bénin, Thèse de doctorat de l'Université d'Abomey-Calavi (Bénin).
- Mama, A., Sinsin, B., De Cannière, C., & Bogaert, J. (2013). Anthropisation et dynamique des paysages en zone soudanienne au nord du Bénin, *Tropicultura*, 31(1).
- Mama, V. J. (2002). *An integrated approach for land-use/cover change analysis in a central region of Benin Republic*, PhD Thesis, Geography, University of Lagos, Lagos).
- Minta, M., Kibret, K., Thorne, P., Nigussie, T., & Nigatu, L. (2018). Land use and land cover dynamics in Dendi-Jeldu hilly-mountainous areas in the central Ethiopian highlands, *Geoderma*, 314, 27-36.
- Muriuki, G., Seabrook, L., McAlpine, C., Jacobson, C., Price, B., & Baxter, G. (2011). Land cover change under unplanned human settlements: A study of the Chyulu Hills squatters, Kenya, *Landscape and Urban Planning*, 99(2), 154-165.
- Oloukoi, J. (2012). Utilité de la télédétection et des systèmes d'information géographique dans l'étude de la dynamique spatiale de l'occupation des terres au centre du Bénin. Thèse de doctorat Unique, Université d'Abomey-Calavi, Bénin, 304p.
- Ouedraogo, I., Tigabu, M., Savadogo, P., Compaoré, H., Oden, P. C., & Ouadba, J. M. (2010). Land cover change and its relation with population dynamics in Burkina Faso, West Africa, *Land Degradation & Development*, 21(5), 453-462.
- Ozer, P., Hountondji, Y. C., Niang, A. J., Karimoune, S., Laminou Manzo, O., & Salmon, M. (2010). Désertification au Sahel : historique et perspectives, *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, 54.
- Sibanda, N., McKenna, A., Richmond, A., Ricke, S. C., Callaway, T., Stratakis, A. C., ... & Corcionivoschi, N. (2018). A

- review of the effect of management practices on *Campylobacter* prevalence in poultry farms, *Frontiers in microbiology*, 9, 2002.
- Tabopda, G. W. (2009). Les aires protégées de l'Extrême-Nord Cameroun entre politiques de conservation et pratiques locales 1, *L'Information géographique*, 73(4), 062-068.
- Tamou C. (2002). Etat des lieux spatialisé et quantitatif de la transhumance dans la zone périphérique d'influence du Parc National du W (Bénin), *Mémoire d'ingénieur agronome*, Université d'Abomey-Calavi (Bénin).
- Tchatchou, B., Sonwa, D. J., Ifo, S., & Tiani, A. M. (2015). Déforestation et dégradation des forêts dans le Bassin du Congo : État des lieux, causes actuelles et perspectives, 120, CIFOR.
- Toko Mouhamadou, I. (2014). Facteurs déterminants de la fragmentation des écosystèmes forestiers : cas des îlots de forêts denses sèches de la forêt classée des Monts Kouffé et de sa périphérie au Bénin, Thèse de Doctorat, Université d'Abomey-Calavi, Bénin.
- Zakari, S. (2015). Vulnérabilités des parcours naturels aux changements climatiques dans le bassin de la Sota à l'exutoire de Couberi (Bénin), Thèse de Doctorat, Université d'Abomey-Calavi.
- Zoungrana, B. J., Conrad, C., Thiel, M., Amekudzi, L. K., & Da, E. D. (2018). MODIS NDVI trends and fractional land cover change for improved assessments of vegetation degradation in Burkina Faso, West Africa, *Journal of Arid Environments*, 153, 66-75.