

Dynamique spatiale et temporelle de l'occupation de sol de la forêt classée de Bandia au Sénégal entre 2000 et 2020

Spatial and temporal dynamics of land use in the Bandia classified forest in Senegal between 2000 and 2020

Diagne Amy^{1,7,8}, Kokou Kokouvi Bruno^{1,2,3}, Ndiaye Bineta^{7,8}, Diop Alioune Badara^{1,8}, Cissé Ousmane^{1,8}, Niang, Amsatou⁷, Fall Birahim⁸, Diouf Youssoupha^{7,8}, NIANG Ismaïla^{7,8}, FALL Awa^{7,8}, Sambieni Kouagou Raoul^{1,4}, Arcadius Akossou Yves Justin^{5,6}

¹Ecole Régionale Postuniversitaire d'Aménagement et de Gestion Intégrée des Forêts et Territoires tropicaux, Université de Kinshasa, Commune de Lemba, - B.P. 15.373 - Kinshasa, République Démocratique du Congo

²Laboratoire de Botanique et Écologie Végétale (LBEV), Département botanique, Faculté des sciences (FDS), Université de Lomé (UL), 01 BP 1515, Lomé 1, Togo

³African Centre of Excellence in Neglected and Underutilised Biodiversity (ACENUB), University of Mzuzu, P/BAG 201 LUWINGA, Mzuzu, Malawi

⁴Faculté d'Architecture, Université de Lubumbashi, Lubumbashi, République Démocratique du Congo

⁵Department of Natural Resources Management, Doctoral School of Agricultural and Water Sciences, University of Parakou, BP 123 Parakou, Benin

⁶Unit of Applied Statistics and Informatics (USIA), Laboratory of Studies and Research in Forestry (LERF), University of Parakou, BP 123 Parakou, Benin

⁷Direction des Eaux et Forêts, Chasses et de la Conservation des Sols (DEFCCS), Ministère de l'Environnement et de la Transition Ecologique (METE), Hann BP. 10455 Dakar, Sénégal

⁸Institut Supérieur de Formation Agricole et Rurale (ISFAR) Bambey, BP 54, Université Alioune DIOP de Bambey (UADB), Diourbel, Sénégal.

*Auteurs correspondants : diagneamy83@yahoo.fr ; kokoubruno7@gmail.com

ORCID des auteurs

Diagne Amy : <https://orcid.org/0009-0004-3530-3324>, Kokou Kokouvi Bruno : <https://orcid.org/0009-0006-0852-1232>; Ndiaye Bineta : <https://orcid.org/0009-0003-4331-4093> ; Diop Alioune Badara : <https://orcid.org/0009-0009-1547-8350>, Cissé Ousmane : <https://orcid.org/0009-0009-3942-9692>, Sambieni Kouagou Raoul : <https://orcid.org/0000-0001-5062-0791>, Arcadius Akossou Yves Justin : <https://orcid.org/0000-0001-5014-3841>

How to cite article : Diagne Amy, Kokou Kokouvi Bruno, Ndiaye Bineta, Diop Alioune Badara, Cissé Ousmane, Niang Amsatou, Fall Birahim, Diouf Youssoupha, Niang Ismaïla and Fall Awa, Sambieni Kouagou Raoul, Arcadius Akossou Yves Justin (2024). Dynamique spatiale et temporelle de l'occupation de sol de la forêt classée de Bandia au Sénégal entre 2000 et 2020. *Revue Ecosystèmes et Paysages*, 4(2) : 1-17, e-ISSN (Online) : 2790-3230
Doi: <https://doi.org/10.59384/recopays.tg4229>

Résumé

L'étude se concentre sur l'analyse de la dynamique d'occupation du sol de la forêt classée de Bandia entre 2000 et 2020, un écosystème vital qui fait face à une pression croissante liée à des activités humaines. L'objectif principal est de comprendre comment ces changements d'occupation du sol, notamment en raison de l'exploitation des ressources naturelles et de l'agriculture, influencent la santé et la pérennité de cette forêt. Ainsi, l'étude vise à (i) identifier les facteurs et impacts associés à ces changements d'occupation à travers une analyse cartographique, et (ii) explorer les solutions proposées par les acteurs locaux pour la préservation de cet espace naturel protégé. Les méthodes utilisées

Reçu : 30 septembre 2024
Accepté : 15 décembre 2024
Publié : 30 décembre 2024



Copyright: Published under a Creative Commons Attribution (CC-BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

incluent une analyse diachronique des images satellitaires Landsat (capteurs ETM+ pour les années 2000 et 2010, OLI pour 2020) ainsi que des missions de terrain et des enquêtes socio-économiques auprès de la population locale et des parties prenantes dans la gestion de la forêt. L'algorithme de classification K-means a été appliqué pour déterminer les différentes classes d'occupation du sol permettant de capturer les changements de couverture végétale avec précision. Les résultats révèlent une régression des formations végétales, passant de 96,01 % en 2000 à 85,96 % en 2020, avec une augmentation parallèle des zones anthropisées, telles que les carrières, les terres agricoles et les espaces bâtis. Cette transformation est en grande partie due à des activités comme l'extraction minière, le pâturage en forêt et l'exploitation forestière. La part des milieux anthropisés est ainsi passée de 3,99 % en 2000 à 14,04 % en 2020. Ces données soulignent l'importance d'adopter une gestion intégrée de la forêt, prenant en compte les pressions socio-économiques (pauvreté, exode rural, problèmes de santé) tout en garantissant la préservation de cet écosystème stratégique. Une telle approche permettrait de concilier les besoins de développement local et la sauvegarde de la forêt classée à long terme.

Mots clés : Dynamique, occupation, sol, forêts

Abstract

The aim of this study is to analyze the dynamics of land use in the Bandia classified forest from 2000 to 2020. Its objectives are, on the one hand, to identify the factors and impacts linked to changes in land use through a cartographic study and, on the other hand, to analyze the solutions proposed by stakeholders to safeguard this classified forest. In this context, a diachronic analysis of Landsat satellite images from the ETM+ sensor for the years 2000 and 2010, and from the OLI sensor for the year 2020, was carried out, along with field verification missions and socio-economic data collected from the local population and the various stakeholders involved in the management of this ecosystem. The K-means classification algorithm was used to classify land use. The results show that vegetation formations in 2020 occupied 85.96% of the forest, instead of 91.41% in 2010 and 96.01% in 2000. This regression was to the benefit of quarrying and mining areas, bare and built-up soils and agricultural fields, which continued to increase in size over the two diachronies of the study. These anthropized environments have seen their percentage of forest cover decline from 3.99% in 2000 to 8.59% in 2010, then to 14.04% in 2020. This decline in plant formations has been encouraged by mining, forest grazing and logging, among others. This information is very useful for integrated forest management, which takes into account the precarious living conditions of the population (poverty, rural exodus, outbreaks of lung disease, etc.) and the need to safeguard the forest.

Keywords : Dynamics, soils, forests, occupation.

1. Introduction

La forêt est un capital naturel et un patrimoine commun à léguer aux générations futures (Ngogo 2017). Elles procurent aux citoyens de nombreux biens et services dont le bois est le plus connu et prédomine, le gibier (chasse), le liège et les champignons, font aussi l'objet de transactions commerciales significatives (Biro, 2017). De nombreux biens et surtout services issus de la forêt ne sont pas cependant marchands, bien qu'ils aient pourtant une grande valeur (Biro, 2017).

Malgré leurs inestimables richesses, les pertes forestières étaient de 0,22% par an au niveau global. Cependant l'Afrique se distinguait par le taux de déboisement continental le plus important estimé à 0,78%. L'Afrique soudano-sahélienne occidentale (Mauritanie, Sénégal, Guinée Bissau, Mali, Burkina Faso, Niger et Tchad), pourtant caractérisée par des ressources forestières limitées, faisait légèrement mieux que le continent avec un recul annuel de 0,72% (FAO, 2001).

Au Sénégal, la disparition des formations forestières naturelles due aux défrichements agricoles, aux feux de brousse, à la

sécheresse et à la production de combustibles ligneux serait de l'ordre de 80.000 ha durant la période 1981-90, dont environ 30.000 ha pour la production de combustibles domestiques (charbon de bois et bois de chauffe). Durant la période 1991-99, le rythme de régression annuel se serait atténué pour se situer aux environs de 50.000 ha (FAO, 1999), avec cependant un niveau de pression inchangé pour la production de dendro-énergie.

Particulièrement dans la région de Thiès, la déforestation a entraîné la diminution de la fertilité et de la productivité des sols, la rétraction des zones de pâturage, la raréfaction des fruits sauvages et de certaines espèces de la flore (*Pterocarpus erinaceus* Poir, *Cordyla pinnata* (Lopr. Ex A. Rich.) Milne-Redhead, *Bombax costatum* Pellgr.et Vuill., *Khaya senegalensis* (Oesr) A. Juss et *Oxythenanthera abyssinica* A. Rich) et la disparition de certaines espèces de la faune : *Panthera leo* (lion), *Panthera pardus* (panthère), *Crocuta crocuta* (hyène), *Gazella subgutturosa* (gazelle) et *Canis aureus* (chacal) (Solly et al., 2018-a).

Pour protéger les peuplements forestiers, l'administration coloniale avait entamé au début du 20^{ème} siècle une politique de classement de zones boisées sur l'ensemble du territoire national. Cette initiative a permis aux forêts classées de jouer un rôle très important dans la conservation de la végétation, de la flore et de la faune même si un droit d'usage est accordé aux populations des villages riverains.

La forêt classée de Bandia, qui est l'objet de cette étude, ne sort pas de ce constat ; elle est agressée de toutes parts, alors qu'elle faisait l'objet d'un important projet mis en œuvre dans les années 1980 par leurs parents, de concert avec l'Etat. Elle constitue, pour les populations riveraines et au-delà, un élément central dans leur existence au vu des multiples services écosystémiques qu'elle leur fournit. Ces droits d'usage (collecte de produits forestiers non ligneux (PFNL), de bois de chauffage, zone de pâture...) sont d'autant plus importants, qu'ils contribuent en grande partie à l'amélioration des conditions de vie de la majorité de la population dont les revenus sont très modestes. En plus de ces usages classiques, d'autres activités nouvelles comme l'apiculture accordée aux populations locales des villages environnants tels que Bandia Mbambara, Bandia Sessène, et Sindia, regroupées en Groupement d'Intérêt Economique (GIE), constitue l'activité génératrice de revenus la plus importante (Brigade forestière de Sindia, 2019).

En effet, le contexte actuel du département de Mbour, marqué par son statut de ville touristique et l'essor des grands projets de l'État, engendre des contraintes majeures. Ces pressions rendent particulièrement complexe la gestion des forêts classées, notamment celle de Bandia. Ces contraintes sont liées, d'une part, à l'urbanisation galopante notée dans la zone, accentuant la pression sur la forêt classée, et d'autre part, à la prolifération des mines et carrières en phase d'exploitation nouvelle ou de prospection, qui altèrent à grande échelle le couvert végétal et amenuisent la productivité floristique des formations forestières du fait, entre autres, de la pollution (Brigade forestière de Sindia, 2019). La question principale est de savoir quels sont les principaux facteurs responsables des changements d'occupation du sol dans la forêt classée de Bandia entre 2000 et 2020, et quels sont leurs impacts sur la conservation de cet écosystème ? Avec une hypothèse qui souligne que les changements d'occupation du sol observés dans la forêt classée de Bandia sont principalement dus à l'expansion urbaine, à l'exploitation minière et à l'agriculture, et qu'ils ont entraîné une dégradation significative du couvert végétal, affectant ainsi la biodiversité et la productivité floristique de la forêt.

Par ailleurs l'on ne dispose pas de données quantitatives sur l'impact de l'anthropisation sur les écosystèmes forestiers pouvant servir de base pour une meilleure planification des actions de restauration. Dans cette optique, la télédétection est un des moyens efficaces d'identification, de caractérisation et de suivi des changements paysagers (Koffi N'dere et al. 2024; Folega et al. 2023). Cette approche par télédétection, largement recommandée par plusieurs auteurs (Franklin et Alii, 2002 ; Soro et Alii, 2014 ; Ngo Makak et al. 2018 ; Koffi N'dere et al. 2024) devient de plus en plus incontournable dans l'aménagement des écosystèmes (Mamane et al. 2018). La présente étude est une contribution à la restauration des écosystèmes dégradés de la forêt classée de Bandia. De façon spécifique, il s'est agi d'analyser la dynamique spatio-temporelle des écosystèmes et les changements d'affectation des sols à partir des images Landsat de 2000, 2010 et 2020.

2. Méthodes

2.1. Description du milieu d'étude

Située à une soixantaine de kilomètres de Dakar (capitale du Sénégal), le long de la Route Nationale n°1, la Forêt Classée de Bandia est à cheval sur les départements de Thiès et Mbour de la Région de Thiès (figure 4). Cette dernière est l'une des 14 régions administratives du Sénégal, et se situe à l'ouest du pays, en couronne autour de la presqu'île du Cap-Vert. La forêt de Bandia a été classée par arrêté N°2268 du 06 octobre 1933 du Gouverneur Général de l'AOF avec comme principal objectif la production de charbon d'une superficie d'environ 10000 ha (Brigade forestière de Sindia, 2019). La forêt de Bandia possède un climat désertique chaud et sec (BWh) selon la classification de Köppen-Geiger. Sur l'année, la température moyenne à Bandia est de 24.3°C. Les précipitations ont fortement baissé au cours des 40 dernières années, la moyenne varie entre 350 et 400 mm d'eau par an. Les vents soufflent généralement du Nord vers le Sud, avec des vitesses faibles se

situant autour de 5 m/s. La réduction de la pluviométrie, suite aux sécheresses cycliques, a une grande incidence sur le couvert végétal et sur la recharge de la nappe phréatique (Plan d'Action Forestier Régional 2004).

Le domaine forestier classé de Bandia constitue un refuge ; mais seulement à ce niveau la quiétude de la faune est parfois perturbée par le bruit occasionné par les différentes exploitations de carrière. Cette faune est représentée par l'avifaune et la faune à poils. L'avifaune concerne principalement les pélicans, les oies de Gambie, les dendrocygnes, la tourterelle de bois, les pigeons, les pintades, les aigrettes, les perroquets, les canards, les francolins, les calaos, etc. La faune à poils est composée essentiellement par des lièvres, des rats palmistes, des phacochères, des chacals, des civettes, des patas, des singes verts.

La Réserve de Bandia, seul lieu de la région où on rencontre une faune variée (Grande et Petite faune) demeure un bel exemple en matière de reconstitution du milieu et de réintroduction de la faune.

Les principaux types de sols rencontrés sont : sols hydromorphes, sols ferrugineux tropicaux hydromorphes, sols rouges colluviaux, sols très profonds (Plan d'Action Forestier Régional 2004).

La population totale de la région s'élève à environ 2 105 707 habitants ayant pour ethnie majoritaire les sérères.

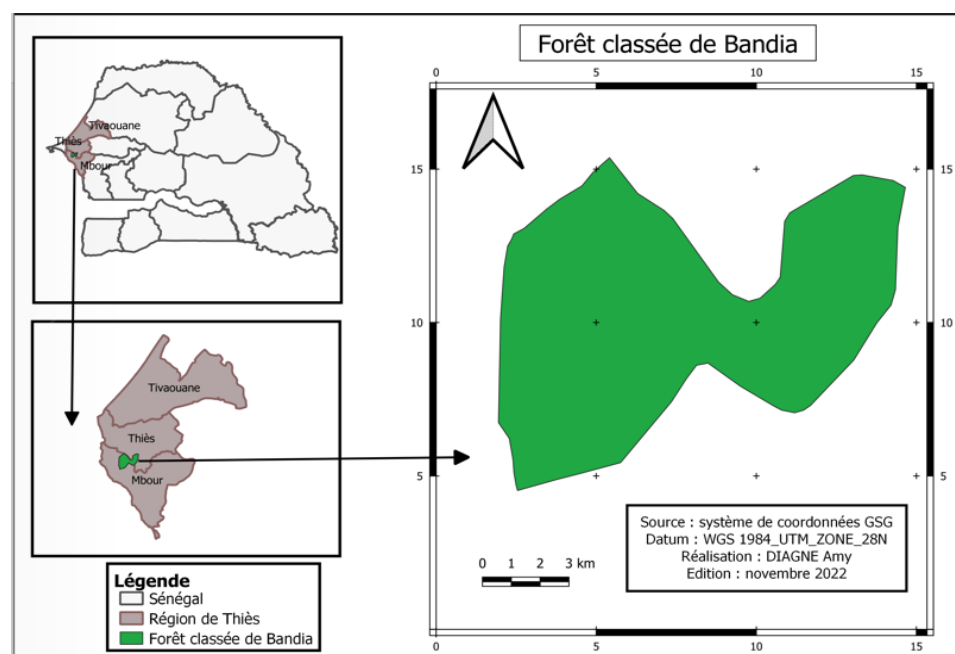


Figure 1. Carte de localisation de la zone d'étude

2.2. Collecte des données

L'analyse diachronique des changements d'occupation des sols a été réalisée à partir de deux scènes de l'imagerie Landsat. Les scènes sollicitées sont celles issues d'une part, du capteur ETM+ (Enhance Thematic Mapper) (path 250 et row 050 du 08/12/2000 pour l'une et 20/12/2010 pour la deuxième image), et d'autre part du capteur OLI (Operational Land Imager) (path 250 et row 050 du 20/10/2020 pour la troisième image). Ces images sont acquises à partir du centre des données Earth Resources Observation Systems (EROS) du site United States Geological Survey (USGS) de la NASA (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). En raison de la disponibilité des données Landsat, le choix des images s'est porté sur les années 2000, 2010 et 2020 avec une résolution de 30 m x 30 m afin de voir le changement par décennie. Les dates de prise de ces images correspondent à la période de saison sèche afin de maximiser les différences spectrales entre les éléments de la couverture végétale (Kokou et al. 2023).

2.3. Traitement des données

2.3.1 Analyse des images satellitaires

❖ Classification des images

Après la mission de terrain, la procédure à une classification supervisée des images a été réalisée. La classification a été

effectuée en utilisant le logiciel ENVI 5.3 en se basant sur 138 points de vérité-terrain. L'algorithme du maximum de vraisemblance a été employé pour la classification supervisée (Kokou et al. 2023 ; Koffi N'dere et al. 2024). Dans un premier temps, il a été nécessaire de déterminer des zones d'apprentissage ROI (Regions of Interest), puis de décrire les différentes classes en utilisant des points vérités-terrain et des images Google Earth (Kokou et al. 2023 ; Koffi N'dere et al. 2024). En se basant sur les zones d'entraînement spécifiées, le logiciel a étendu le traitement à toute la surface de la forêt.

La composition colorée d'une image est le résultat de la superposition des bandes dans les canaux Rouge, Vert et Bleu (RGB). Pour la présente étude, la composition colorée utilisée est celle dite infrarouge fausse couleur. Elle combine les bandes correspondant aux longueurs d'ondes du PIR, R et V respectivement dans les canaux R-G-B. Il s'agit des bandes 4-3-2 des images Landsat 7 ETM+ des années 2000 et de 2010, et des bandes 5-4-3 de l'image Landsat 8 OLI_TIRS de l'année 2020. Cette composition colorée s'appuie sur les propriétés de la végétation qui réfléchissent très fortement le rayonnement proche infrarouge (Girard et Girard, 2010). En appui, l'indice de végétation normalisée (NDVI) a permis davantage de caractériser les différents types de végétation par rapport à l'intensité de leur activité photosynthétique. La formule utilisée combine les bandes du proche infrarouge et du rouge (Rouse et al., 1974). Cet indice varie entre -1 et +1 ($-1 \leq \text{NDVI} \leq +1$). De manière générale, les valeurs inférieures à 0,1 donnent des informations sur les sols nus, l'eau, les zones de culture, les surfaces affectées par les feux et les surfaces très peu végétalisées, tandis que les valeurs supérieures à 0,1 renseignent sur la couverture végétale, c'est-à-dire les zones où l'activité chlorophyllienne est importante (Dessay, 2006 ; Djoufack-Manetsa, 2011). Plus la valeur est proche de 1, plus l'activité chlorophyllienne est importante et la végétation est dense. Les produits issus de ces opérations ont servi de base à la photo-interprétation destinée à identifier les différentes classes d'occupation des sols. Les techniques conventionnelles d'interprétation basées sur les caractéristiques de l'image, à savoir la couleur et la forme principalement, sont utilisées. Elles sont complétées par des informations tirées de la documentation sur l'occupation des sols existant à l'échelle nationale et à l'échelle de certaines forêts classées ou aménagées de la Région, et des premiers travaux d'observation, d'enquêtes réalisés sur le terrain et des coordonnées GPS prélevés. C'est ainsi que sept (07) classes d'occupation des sols ont été identifiées. Il s'agit de la : Savane arborée à arbustive c'est la zone occupée par les ligneux ; constituée d'arbustes, d'arbres et d'herbes ; Savane boisée : zone constituée de ligneux plus ou moins dense ; Savane arbustive dégradée : zone constituée d'arbustes, d'arbrisseaux éparpillés ; Sols nus et bâtis : c'est tout espace dont la surface est dépourvue de végétation. Elle est représentée par les localités, les infrastructures, les affleurements rocheux et les sols défrichés et les pistes ou routes ; Forêts de galerie : c'est les zones occupées par les points d'eau (mares, fleuves, marigots...) bordées d'essences forestières ; Zones agricoles : sont les zones occupées par les cultures et/ou les jachères et Zones de carrières et mines : sont des zones occupées l'exploitation minière.

Afin de renforcer la précision des images Landsat traitées, trois (3) méthodes de filtrage ont été utilisées : les "classes de Savanes" pour éliminer les pixels isolés, les "classes de Champ" pour homogénéiser les classes et l'analyse "majority/minority" pour lisser les classes. Les images rasters ont été converties en vecteurs après ces opérations (Kokou et al. 2023 ; Koffi N'dere et al. 2024). Les cartes ont été exportées dans le logiciel QGIS 3.16 afin d'être mises en page. Les informations des attributs des images classifiées ont été exportées sous forme de fichiers CSV pour évaluer les superficies des différentes unités d'occupation du sol (Kokou et al. 2023 ; Koffi N'dere et al. 2024).

❖ Précision de la classification

La vérification de la qualité des classifications s'est faite par calcul des matrices de confusions des images des différentes dates (Kokou et al. 2023 ; Koffi N'dere et al. 2024). Les classifications obtenues peuvent être considérées satisfaisantes au regard des valeurs des indices de précisions obtenus sur chacune des périodes étudiées (Mba et al. 2021).

2.3.2 Analyses des changements d'état de la végétation

❖ Matrice de transition

Les différentes formes de conversion subies par les formations végétales entre 2000 et 2020 ont été illustrées par les matrices de transition. Ces différentes classes de végétation ont été déterminées en croisant les cartes de végétation des différentes dates en utilisant la fonction intrinsèque du logiciel QGIS 3.16 (Koffi N'dere et al. 2024, Diop et al. 2024). Une formule simplifiée des processus REDD+ a été utilisée pour appliquer le rythme de convergence des formes d'utilisation des terres d'une année à l'autre. $RC = (T2 - T1) / n$, où RC est l'information sur les activités (ha/an). T2 représente la surface d'une unité d'occupation au moment T2, T1 représente la surface d'une unité d'occupation au moment T1, et n représente le nombre d'années entre T2 et T1. La variation de la superficie d'une forme d'utilisations de la terre entre deux dates (années) données

par $\Delta U = T2-T1$ permet d’apprécier le sens d’évolution entre les deux dates. Si $\Delta U = 0$, on conclut qu’il y a stabilité. Si $\Delta U < 0$, on conclut qu’il y a diminution de cette unité. Si $\Delta U > 0$, il y a extension de cette unité.

❖ Indices de composition

Indice de perturbation ou d’anthropisation = $\frac{\sum_{i=1}^n \text{sup relative des terres anthropisées}}{\sum_{i=1}^n \text{sup relative des terres naturelles}}$
(O’Neill et al., 1988) ;

❖ La stabilité d’une classe d’occupation du sol (Socc)

Elle est calculée grâce au rapport de la valeur stable de la classe sur la somme des autres valeurs de la même classe.

$$Socc = \frac{\text{Valeur stable de la classe}}{\sum \text{valeurs de la même classe}}$$

La stabilité du paysage (Sp) a également été obtenue en faisant le rapport de la somme des valeurs stables des classes d’occupation du sol (valeurs au niveau de la diagonale) sur la somme des autres valeurs de ces classes qui ont subi des transformations.

$$Sp = \frac{\sum \text{valeurs stables des classes}}{\sum \text{valeurs non stables des classes}}$$

❖ Composition du paysage (CPocc)

Le calcul de la composition du paysage est fait pour chaque année en utilisant la somme des valeurs de la classe pour l’année considérée.

$$CPocc = \sum \text{valeurs de la classe considérée pour l'année considérée}$$

❖ Quantification spatio-temporelle de la déforestation

La déforestation a été quantifiée par l’équation de Catalan (1991) présentée selon la formule suivante :

$$Td (\%) = (A1 - A2) / (A1 \times n) \times 100$$

A1= Superficie forestière de l’année initiale (ha) ;

A2= Superficie forestière de l’année finale de la période à analyser (ha) ;

n = le temps entre A1 et A2.

Les valeurs négatives obtenues de la formule de Catalan traduisent la reforestation alors que les valeurs positives marquent la déforestation. Pour distinguer les différentes valeurs des taux de déforestation, Catalan (1991) propose la qualification suivante (tableau 1) :

Tableau 1 : Qualifications des taux de déforestation

Taux annuels de déforestation en %	Qualifications
< 0,5	Basse

0,5 – 1,5	Moyenne
1,5 – 3	Haute
> 3	Plus haute

Source: Catalan (1991)

Les taux annuels de déforestation sont exprimés en pourcentage alors que les qualifications : basse, moyenne, haute et plus haute sont fixées en fonction des seuils.

❖ **Taux de changement (TC):**

Le taux de changement des superficies des classes d’occupation du sol entre les années 2000-2010 et 2010-2020 sont déterminés à travers l’équation proposée par la FAO (1996) ; $TC = \frac{(S_2 - S_1)}{S_1} * 100$.

3. Résultats

3.1. Précision de la classification

La précision globale obtenue dans la classification des images satellitaires est de 75,56% pour ETM+ de l’année 2000, 85,33% pour ETM+ de 2010 et 83,10% pour OLI 2020 (Tableau 2). L’indice de Kappa obtenu respectivement de ces images est de 70,57%, 82,13% et 80,19%. D’où la présente classification est acceptable, car ces valeurs varient d’un peu plus de 70% à plus de 80% d’après Landis et Koch, (1977).

Tableau 2 : Indice de Kappa et Précision globale

Années	2000	2010	2020
Précision globale (%)	75.56	85.33	83.1
Indice de kappa (%)	70.57	82.13	80.19

3.2.Occupation du sol de la forêt classée de Bandia

Les différentes occupations discriminées dans la forêt de Bandia sont inégalement réparties dans le temps. En 2000, la forêt était composée de six classes d’occupations avec une dominance des Savanes arborées à arbustives (59%), suivi des Savanes arbustives dégradées (17,77%) et Savanes boisées (17,46). En 2000 la forêt de Bandia était dominée par des Savanes arborées à arbustives (59%), suivi des Savanes arbustives dégradées (17,77%) et Savanes boisées (17,46). Les classes des sols nus et bâtis (3,22%), carrières et mines (0,77%) et la forêt-galerie (1,54%) sont peu représentées. En cette période la classe des zones agricoles était inexistante. En 2010, les classes les plus représentées sont les classes des Savanes arborées à arbustives (46,23%), suivi des Savanes arbustives dégradées (27,09%) et Savanes boisées (16,51). Ces classes sont suivies par les classes de sols nus et bâtis (6,30%), carrières et mines (2,29%) et la forêt-galerie (1,58%). Les zones agricoles restent toujours inexistantes.

En 2020, les classes les plus représentées sont les classes des Savanes arborées à arbustives (42,01%), suivi des Savanes arbustives dégradées (23,71%) et Savanes boisées (18,97). Ces classes sont suivies par les classes de sols nus et bâtis (7,27%), carrières et mines (4,75%) et les forêts galeries (1,27%). En 2020, il apparait une nouvelle classe d’occupation qui est celle des zones agricoles (2,02%).

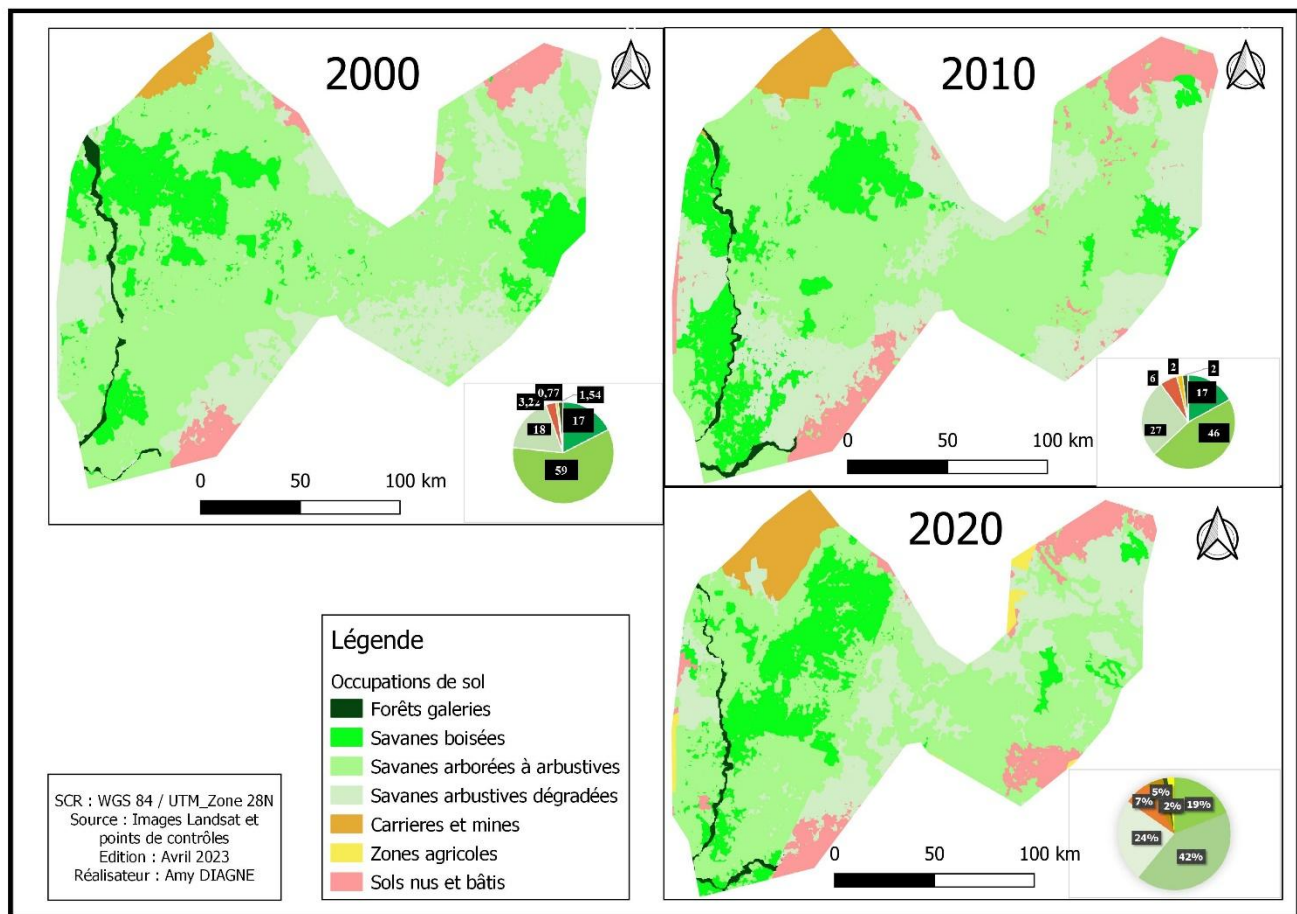


Figure 2 : Occupation du sol de la forêt de Bandia en 2000, 2010 et 2020

3.3. Dynamique d'occupation du sol de la forêt classée de Bandia

Le changement d'occupation du sol entre 2000 et 2010 révèle que les Savanes arborées à arbustives et les savanes boisées ont connu une régression de 17,7 % et 0,95 % respectivement en intervalle de 10 années. On note également l'expansion des classes de carrières et mines et forêt-galerie respectivement de 1,77% et 0,4%. Toutes ces modifications ont entraîné un taux de déforestation de 0,005%.

Entre 2010 et 2020, les savanes boisées, les sols nus et bâtis et les carrières et mines ont progressé. Par contre, les savanes boisées et les arbustives ont subi une régression. Les Sols nus et bâtis ont enregistré un taux d'expansion de 0,97%. Les Savanes arborées à arbustives ont enregistré un taux de régression de 3,78%. Les forêts galeries ont aussi enregistré respectivement des régressions de 0,31%. Ces divers changements ont entraîné un taux de déforestation de 0,006 %, soit une augmentation de 0,001 % par rapport à celui de la période 2000 et 2010.

L'analyse des matrices de transition ressort que la forêt classée de Bandia d'une manière générale a subi d'importantes modifications. En effet, entre 2000 et 2010, plus de 11,80 % des savanes arborées à arbustives ont été convertis en Savanes arbustives dégradées. Entre 2000 et 2013, 0,21 % de la superficie des forêts galeries a été transformé en sols nus et bâtis. En ce qui concerne les savanes boisées, 21,21 % sont transformés en savanes arborées à arbustives. La classe des zones agricoles (2,02 %) est apparue du fait de l'augmentation des activités anthropiques (Tableau 3).

Par ailleurs, les classes savanes arborées arbustives et savanes boisées ont connu des régressions au fil des années jusqu'à atteindre respectivement 42,01% en 2020 et 16,51% en 2010 au profit des classes sols nus et bâtis et carrières et mines passant respectivement d'une proportion d'occupation de 3,22 % et 0,77% en 2000 à 7,27 % et 4,75% en 2020. La classe des zones agricoles a été nouvellement obtenue en 2020 avec une proportion d'occupation de 2,02% de la superficie de la forêt.

Les classes d'occupation galerie forestière et savanes arbustives dégradées ont une dynamique marquée par deux phases. La première période 2000- 2010 est marquée par une augmentation de leur empreinte sur le paysage. Par contre, pour la seconde période 2010- 2020, elles enregistrent une réduction de cette empreinte. Contrairement à la classe savane boisée qui a connu une diminution durant la première période 2000- 2010 et une augmentation à la seconde période 2010 à 2020. Cette dynamique est illustrée par la figure 3, avec une augmentation progressive des zones de carrières et mines et des sols nus et bâtis au détriment des savanes boisées et arborées à arbustives entre 2000 et 2010

Tableau 3 : Matrice de transition de la FCB de 2000 à 2020

2010							
2000	Savanes arbo- rées à arbustives	Car- rières et mines	Savane boisée	Sol nu et bâtis	Sa- vanes arbus- tives dégra- dées	Forêt- galerie	Zone agri- cole
Savanes arborées à arbustives	41,53	0,49	4,80	0,58	11,84	-	-
Carrières et mines	-	0,43	-	0,27	0,06	0,01	-
Savane boisée	2,04	0,30	11,70	0,98	2,40	0,03	-
Sol nu et bâtis	-	0,15	-	3,02	0,05	-	-
Savanes arbus- tives dégradées	2,67	0,92	-	1,45	12,74	-	-
Forêt-galerie	-	-	-	-	-	1,54	-
Zone agricole	-	-	-	-	-	-	-
Total %	46,23	2,29	16,51	6,30	27,09	1,58	-
2 020							
2 010	Savanes arbo- rées à arbustives	Car- rières et mines	Savane boisée	Sol nu et bâtis	Sa- vanes arbus- tives dégra- dées	Forêt- galerie	Zone agri- cole
Savanes arborées à arbustives	35,57	0,76	4,54	0,37	4,44	-	0,55
Carrières et mines	-	1,39	-	0,90	-	-	-
Savane boisée	1,34	-	14,43	-	-	0,01	0,73
Sol nu et bâtis	-	1,62	-	4,16	-	-	0,52
Savanes arbus- tives dégradées	5,04	0,98	-	1,61	19,23	-	0,22
Forêt-galerie	0,07	-	-	0,21	0,04	1,26	-
Zone agricole	-	-	-	-	-	-	-
Total %	42,01	4,75	18,97	7,27	23,71	1,27	2,02

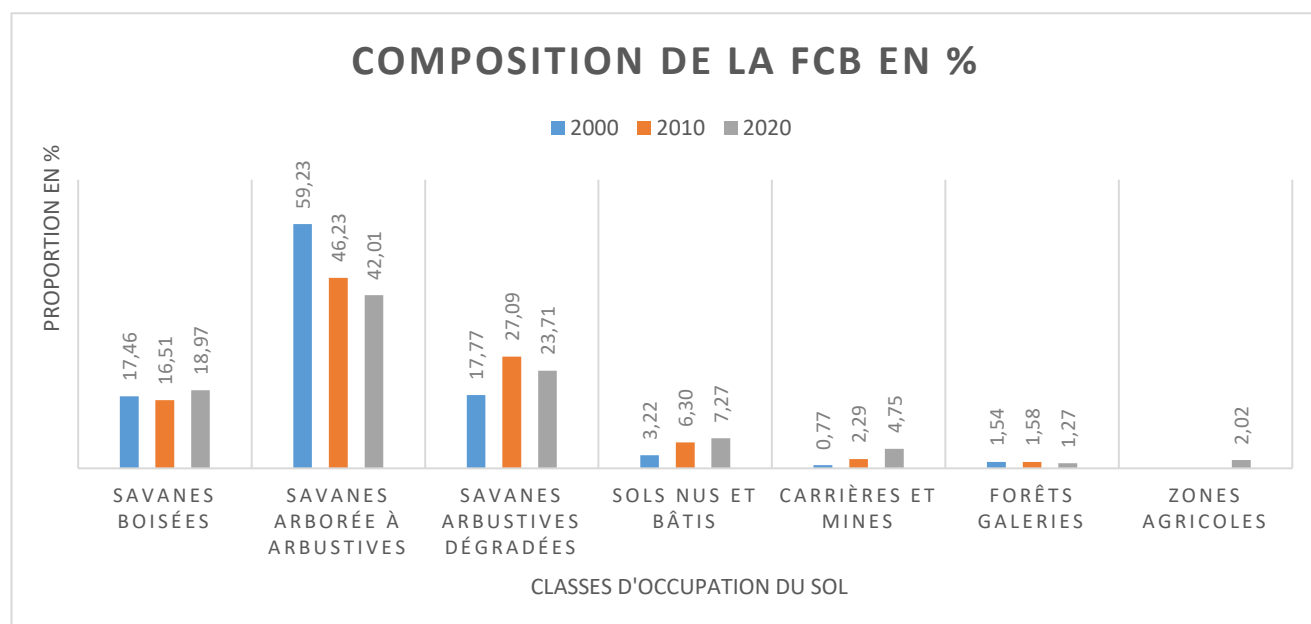


Figure 3 : Synthèse de la composition des classes d'occupation du sol de la FCB de 2000, 2010 et 2020

3.4.Calculs des indices du paysage

Les résultats présents dans le tableau 4 indiquent la stabilité du paysage et des classes d'occupation du sol. L'indice de stabilité du paysage est de 2,44 pour la période 2000 - 2010 ce qui est largement supérieur à 1. Donc il y'a beaucoup plus de surfaces stables que de surfaces qui ont connu des changements d'occupation du sol pendant cette période. En comparaison avec la période précédente, on remarque que l'indice de stabilité du paysage n'a pas beaucoup varié en se maintenant à 3.17 pour la période de 2010-2020. C'est-à-dire que le paysage demeure stable durant toutes les deux diachronies de l'étude. La diachronie (2000 - 2010) révèle que les classes de savanes arborées à arbustives, savanes boisées et galerie forestière demeurent stables (indice de stabilité >1), tandis que les classes, Sols nus et bâtis, carrières et mines et savanes arbustives dégradées restent instables (indice de stabilité <1) de la première période à la seconde période. Mais les savanes arbustives dégradées sont devenues plus stables à la seconde diachronie 2010-2020.

Tableau 4 : Indices de stabilités des classes d'occupation du sol et du paysage de la FCB de 2000 à 2020

	Classes d'occupation	2000-2010	2010-2020
Stabilité des classes d'occupation du sol	Savanes arborées à arbustives	1,85	2,08
	Carrières et mines	0,19	0,33
	Savanes boisées	1,11	2,18
	Sols nus et bâtis	0,87	0,79
	Savanes arbustives dégradées	0,66	1,56
	Zones agricoles	-	-
	Forêts galeries	38	3,76
Stabilité du paysage		2,44	3,17

Les taux de changement des superficies des classes d'occupation du sol entre les années 2000-2010 et 2010-2020 sont consignés dans le tableau 5. Les valeurs positives indiquent des progressions de la classe d'occupation du sol tandis que les valeurs négatives traduisent les pertes de végétation au niveau de ladite classe. La classe d'occupation savane arborée à arbustive a connu une perte de végétation durant toutes les deux périodes de l'étude. Par compte la classe savane boisée a connu une perte de sa végétation pour la première période et une progression pour la seconde période contrairement aux

savanes arbustives dégradées et à la galerie forestière qui ont connu une progression en première période et une régression en seconde période. Tandis que les carrières et mines et sols nus et bâtis ont connu une progression durant les deux diachronies.

Tableau 5 : Taux de changement du paysage de la forêt classée de Bandia

Périodes	Taux de changement					
	Savane boisée	Savanes arborées à arbustives	Savanes arbustives dégradées	Sols nus et bâtis	Carrières et mines	Forêts-galeries
2000-2010	-5,46	-21,95	52,39	95,6	197,37	2,63
2010-2020	14,92	-9,12	-12,46	15,27	107,52	-19,87

4. Discussion

L'approche cartographique de l'occupation des sols à travers les classifications d'images satellitaires Landsat ETM+, OLI TIRS couplée à une vérité terrain dont les précisions globales ont été hautement appréciables ($Kappa = 82.13 ; 80.19$) confirme l'importance de la connaissance du milieu et celui de l'acquisition des données auxiliaires pour l'amélioration de la qualité des traitements d'images. Les valeurs de ces deux indices prouvent que la classification des images Landsat est fiable et statistiquement acceptable (Koffi N'dere et al. 2024 ; Diop et al. 2024 ; Kokou et al. 2023 ; Folega et al. 2023).

Ces résultats sont confirmés par Koffi N'dere et al. (2024), qui ont travaillé dans la forêt classée d'Amou-Mono au Togo et ont trouvé des indices de kappa de 85 %. En effet, Khorram et al (1999) et Pham et al (2007) ont obtenu lors de leurs études de faibles valeurs d'exactitude des classifications respectivement de 61 % et 51 % à cause d'un manque de collecte des points de contrôle et de validation sur le terrain. La précision globale de cette étude pourrait donc aider à fixer un taux de référence de précision pour des études allant dans le même sens. Ces résultats concordent également avec ceux obtenus par Kokou et al. (2023) lors de la recherche sur la modélisation des occupations de sol de la forêt classée d'Amou-Mono au Togo. En effet, la précision de la classification devient faible du fait que les détails sont impossibles à observer lorsque les unités cartographiques sont plus petites qu'un pixel et difficiles à détecter (Barima et al., 2016).

Les différentes cartes d'occupation du sol réalisées mettent en évidence l'importance des formations naturelles qui tendent à se réduire. En outre, la conception de la matrice de transition entre les différentes catégories d'occupation du sol révèle une forte tendance à la régression des écosystèmes forestiers (Savanes boisées et forêt-galerie). On peut expliquer cette régression en partie par la transformation des taches de forêts galerie et savanes boisées en savanes arborées à arbustives et zones agricoles, voire bâtis sols nus. La dynamique de la dégradation du couvert végétal observée pourrait principalement être attribuée à une anthropisation et fragmentation des activités humaines observées. Pour le cas de cette forêt, le niveau d'anthropisation est très faible, inférieur à 0,05 selon Catalan 1991. Par contre ce taux est inférieur à celui obtenu dans la forêt classée d'Amou-Mono (1,34 %) entre 2000 et 2013 au Togo (Koffi N'dere et al. 2024). Ces résultats sont similaires aux travaux de Kokou et al. (2024) qui a remarqué une régression des formations forestières entre 1991 et 2021 avec des taux variant de 0,28 à 3,77 % dans la forêt classée d'Amou-Mono.

Les analyses de la dynamique de l'occupation du sol, la résolution spatiale ont permis de saisir de façon fine les interactions entre les activités humaines, le climat et la dynamique de l'occupation du sol. De nombreuses études se sont intéressées à la dynamique d'occupation du sol en Afrique en général (Dibi N'da et al. 2008 ; FAO, 2012 ; Mama et al. 2014 ; Koffi N'dere et al. 2024) et au Sénégal en particulier (Sambou, 2004 ; Tappan et al. 2004 ; Cabral et Costa, 2017 ; Solly et al. 2018-b). Parmi ces études, nombreuses sont celles qui ont révélé une régression du couvert végétal et une tendance à la progression des surfaces agricoles. La dynamique paysagère au niveau de la FCB est caractérisée par une progression des zones de carrières et mines et des sols nus et bâtis durant les deux diachronies de l'étude. En effet, durant ces périodes particulièrement entre les années 2002 et 2019, la région a enregistré un boom démographique respectivement 1 331 916 habitants à 2 105 707 habitants à la recherche d'un mieux-être suite aux enjeux socio-économiques (agriculture, élevage, pêche, tourisme, services, infrastructures...), dont regorgent la zone. Un autre atout est la présence de la plus grande station balnéaire au Sénégal à Saly Portudal, passant le site de 91 réceptifs en 2005 à 178 réceptifs en 2008 (Faye, 2011). La zone jouit d'une bonne rente de position grâce à la proximité de la capitale (70 Km). De plus, la présence de gisement, du chemin de fer et des facilités accordées par le Code des Investissements lui confèrent un statut avantageux dans le cadre de l'exploitation minière.

Cette augmentation de la superficie des carrières, des mines, des sols nus et bâtis et l'apparition d'une nouvelle classe des zones agricoles s'accompagnent d'une régression de la superficie des formations végétales au niveau de toute la zone d'étude au cours des deux dernières décennies. Cette dynamique est semblable à celle observée dans le département de Vélingara (Solly et al, 2020) à savoir une déforestation par savanisation ou par développement des surfaces agricoles. Cette régression du couvert végétal dans notre zone d'étude affecte non seulement la biodiversité floristique et faunique, mais aussi la population elle-même à travers une augmentation de la pollution favorisant l'apparition des maladies pulmonaires (Solly et al, 2020). Cela affecte également l'agriculture du fait de l'érosion des sols et l'élevage à travers la destruction du tapis herbacé, le tarissement précoce des mares, la disparition des zones de parcours, transformées en surfaces agricoles. Ce tarissement précoce des mares a entraîné une diminution de la surface occupée par la classe galerie-forestière en 2020.

Toutefois, les résultats ont indiqué une légère augmentation de la superficie des savanes boisées en 2020 et une diminution des savanes arbustives dégradées. Cette situation s'explique par l'existence de la collaboration du service des eaux et forêts avec l'ONG ACCESS et de l'association « maison des éleveurs » qui ont enchaîné des actions de reboisement et conservation intensive ces dernières années. Mais aussi l'existence de la réserve animalière de Bandia à travers un partenariat public privé avec l'Etat (DEFCCS) qui a érigé une barrière de protection. Ainsi, la régression des formations forestières naturelles changerait la couverture du paysage de la forêt classée de Bandia. Par ailleurs, les taux de reconstitutions, de stabilité obtenus dans diverses classes d'occupation du sol de la forêt de Bandia révèlent que cette forêt n'est pas trop perturbée par les actions anthropiques.

5. Conclusion

L'utilisation des données de télédétection a permis de cartographier et de quantifier l'ampleur de la dynamique de l'occupation des sols au niveau de la forêt classée de Bandia entre 2000 à 2020. La classification non supervisée a été appliquée sur ces images en utilisant des logiciels de télédétection. La matrice de transition a permis de percevoir le taux de changement des classes d'occupation du sol. De manière générale, les résultats cartographiques ont révélé une régression des formations végétales au profit des milieux anthropiques qui ne cessent de conquérir de nouveaux espaces naturels. Il s'agit des zones de carrières et mines, des sols nus et bâtis et des zones agricoles, une nouvelle classe qui a été créée au courant de la deuxième diachronie de notre étude. Sur une période de 20 ans, les formations forestières ont perdu 9,91km² de superficie soit 10,04% de la superficie totale de la FCB alors que les milieux anthropiques ont connu une hausse de leur superficie au nombre de cette même surface perdue des formations végétales soit 10,05 % de la superficie de la FCB. La forêt classée de Bandia joue un rôle important de réservoir phylogénétique, pour l'habitat, pour la faune sauvage et dans la protection des sols. Mais aussi un centre d'application et de recherche pour les institutions publiques. Pour les habitants, son rôle est surtout de fournir du bois de chauffe, de servir de zone de pâture, mais aussi d'obtenir des revenus issus de la vente des produits forestiers non ligneux. Dès lors sa conservation nécessitera la mise en place de stratégies de gestion durable, intégrée et participative des ressources naturelles avec l'implication de tous les acteurs, l'État (DEFCCS, DEEC...), les ONG, les acteurs économiques (industries extractives et agroalimentaires), les populations locales...

Remerciement

L'Union européenne (UE)/AGRINATURA a financé entièrement cette étude. Nous exprimons notre gratitude sincère envers l'École Régionale postuniversitaire d'Aménagement et de gestion Intégrées des Forêts et Territoires tropicaux (ERAIFT) pour l'organisation des cours ; au Pr Baudouin MICHEL, Directeur de l'ERAIFT ; au Pr Jean-Pierre MATE, Secrétaire Académique et à la Recherche pour toutes les ressources mises en œuvre pour la réalisation de cette étude. Nous remercions le Colonel Major Babacar DIONE, Directeur des Eaux et Forêts, Chasses et de la Conservation des Sols de nous avoir donné cette opportunité à faire cette étude, le Colonel Youssoupha DIOUF et le Capitaine Bineta NDIAYE chef secteur des Eaux et Forêts de Mbour pour la facilitation dans les démarches administratives lors de la collecte des données et l'encadrement Technique. Enfin, nous exprimons notre gratitude envers toutes les personnes qui ont lu cet article et contribué à son amélioration.

Contribution des auteurs

Rôle du contributeur	Noms des auteurs
Conceptualisation	Kokou Kokouvi Bruno
Gestion des données	Amy Diagne, Kokou Koukouvi Bruno
Analyse formelle	Amy Diagne, Kokou Koukouvi Bruno

Acquisition du financement	ERAIFT
Enquête et investigation	Amy Diagne
Méthodologie	Amy Diagne, Kokou Koukouvi Bruno, Bineta Ndiaye, Arcadius Akossou Yves Justin
Gestion de projet	ERAIFT
Ressources	ERAIFT
Logiciels	Amy Diagne, Bineta Ndiaye, Ousmane Cissé
Supervision	Bineta Ndiaye, Arcadius Akossou Yves Justin, Fall Birahim
Validation	Niang Amsatou, Fall Birahim, Sambieni Kouagou Raoul, Arcadius Akossou Yves Justin
Visualisation	Niang Amsatou, Fall Birahim, Sambieni Kouagou Raoul, Arcadius Akossou Yves Justin, Diouf Youssoupha, Niang Ismaïla
Écriture – Préparation	Amy Diagne, Kokou Koukouvi Bruno
Écriture – Révision	Ndiaye Bineta, Diop Alioune Badara, Cisse Ousmane, Niang Ismaïla, Fall Awa

Références

- Adjonou K., Bellefontaine K. R., Kokou K. 2009. Les forêts claires du Parc national OtiKéran au Nord-Togo : structure, dynamique et impacts des modifications climatiques récentes. *Sécheresse*, 20 (1) : 1-10 p.
- Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie du Sénégal. Septembre 2021. Situation Economique et Sociale de la Région de Thiès 2019, 187 p.
- Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie du Sénégal. 2015. Situation économique et sociale régionale 2013. Chapitre III : Ressources Forestières de la région de Thiès, 13 p.
- André D. 2013. " Rapport d'Analyse de la Gouvernance foncière au Sénégal".30 p. Andrieu, J., 2018. Analyse de la cinématique de la végétation en Côte d'Ivoire pendant les conflits à travers une métrique phénologique et la corrélation de Kendall de deux séries temporelles de NDVI, *Tropicultura*, 36 (2). 258-270 p.
- Ariori S.L. et Ozer P. 2005. Évolution des ressources forestières en Afrique de l'Ouest Soudano-sahélienne au cours des 50 dernières années. *Geo-Eco-Trop*, vol. 29, 61-68 p.
- Antony L., 2020. Agriculture urbaine et périurbaine à Cap-Haïtien : typologie, configuration spatiale et fonctions. Mémoire de master. Gembloux Agro-Bio Tech/ Université de Liège.
- Aubreville A. .1957. Accord de Yangambi sur la nomenclature des types africains de végétation. *Revue Bois et Forêts des Tropiques*, vol. 51, p. 23-27.
- Ba D., Dieng B., Ndao S., Mar I., Seck O., Sarr J., Diatta M., Mané F., Sarr M., Diop M., Fall M. 2019. Rapport sur l'état des lieux des zones classées relevant de la DEFCCS. 21 p.
- Bamba, I. 2010. Anthropisation et dynamique spatio-temporelle de paysages forestiers en République Démocratique du Congo. Thèse de doctorat, Faculté des Sciences, Université Libre de Bruxelles, 183 p.
- Banque mondiale. 2009. Environnement et citoyens en meilleure santé, nouvelles émissions de la Banque mondiale. En République démocratique du Congo, Planter des arbres pour un meilleur environnement et des citoyens en meilleure santé.
- Barima Y. S. S., Barbier N., Bamba I., Traoré D., Lejoly J. et Bogaert J. 2009. Dynamique paysagère en milieu de transition forêt-savane ivoirienne. *Bois et Forêts des Tropiques*, 299 (1).15-25 p.
- Bellande, A., 2009. Impact socioéconomique de la dégradation des terres en Haïti et interventions pour la réhabilitation du milieu cultivé. 74p. 51
- Bergeret, A. et Ribot, J. 1990. L'arbre nourricier en pays sahélien. Éditions de la Maison des Sciences de l'Homme, Paris, 237 p. Bertrand G. 1975. « Pour une histoire écologique de la France rurale », in G. DUBY et A. WALLON (eds), *Histoire de la France rurale*, Seuil, Paris, t. 1, pp. 33-113.
- Biaou S., Houeto F., Gouwakinnou G., Biaou H. S. S., Awessou B., Tovihessi S., Tete R. 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, 13-15 mars 2019, Cotonou, Bénin, 20 p. <https://hal.archivesouvertes.fr/hal-02189367>
- Biot Y. 2017. Les biens et services fournis par les forêts. 40 p.

- Bogaert J., Bamba I., Koffi K. J., Sibomana S., Djibu J-P. K., Champluvier D., Robbrecht E., De Cannière C. et Visser M. N. 2008. Fragmentation of Forest Landscapes in Central Africa : Causes, Consequences and Management. In : Laforzezza R., Chen J., Sanesi G. et Crow Th. R., eds. Patterns and Processes in Forest Landscapes, Springer Science + Business Media B.V., pp. 67-82.
- Bogaert, J., & Mahamane, A. 2005. Ecologie du paysage : cibler la configuration et l'échelle spatiale. Annales des Sciences Agronomiques du Bénin 7 : 39 – 68.
- Bonkounou E., Kishor N et Rosenbaum K. 2012. Qualité de la gouvernance dans le secteur forestier du Burkina Faso : Analyse préliminaire des atouts et des faiblesses. 128 p.
- Bonn F., Rochon G. 1992. Précis de télédétection – vol 1 : Principes et méthodes, Presses de l'Université du Québec, Canada. 485p.
- Brigade forestière de Sindia. 2019. Note technique sur la forêt classée de Bandia, 6 p.
- Burel F. et Baudry J. 1999. Écologie du paysage. Concepts, méthodes et applications. Paris, Tec & Doc. Cabral A.I.R. et Costa F.L. 2017. Land cover changes and landscape pattern dynamics in Senegal and Guinea Bissau borderland. Applied Geography, vol. 82, p. 115-128 DOI : 10.1016/j.apgeog.2017.03.010
- Catalàn A. 1991. El proceso de deforestación en Venezuela entre 1975-1988. MARN, Dirección General Sectorial de Investigación de Aguas, Suelos y Vegetación, Dirección de Vegetación, Caracas. CILSS. 2016. Les Paysages de l'Afrique de l'Ouest : Une Fenêtre sur un Monde en Pleine Évolution, U.S. Geological Survey EROS, 47914 252nd St, Garretson, SD 57030, États-Unis, 219 p.
- Code de l'environnement du Sénégal. 2001. La Loi n° 2001-01 du 12 avril 2001 52 Commissariat Général au Développement Durable (CGDD). 2019. Extrait du rapport de synthèse sur l'état de l'environnement en France. Edition 2019.
- Daolan Z, David O. W and Zhanqing H. 1998. Rates and patterns of landscape change between 1972 and 1988 in the Changbai Mountain area of China and North Korea.
- Davranche. A et Taibi. A N. 2015. Pour une géographie de la conservation. Les changements d'occupation et d'usage du sol, des processus multidimensionnels complexes qui affectent la biodiversité. 12 p.
- De Haulleville T., & Bogaert J. 2018. Fourteen years of anthropization dynamics in the Uapaca bojeri Baill. forest of Madagascar. Landscape and Ecological Engineering (2018) 14 : 135–146 <https://doi.org/10.1007/s11355-017-0340-z>.
- Desclee B., Duveiller G., Defourny P et Mayaux P. 2008. Déforestation in Central Africa : Estimates at regional, national and landscape levels by advanced processing of systematically distributed Landsat extracts. Remote Sensing of Environment, 112 (5), 1969 – 1981 p.
- Dessay N. 2006. Dynamique de la végétation et du climat : étude par télédétection de cinq biomes brésiliens, forêt ombrophile dense et ouverte, Cerrados, Caatinga et Campanha Gaúcha . Thèse de l'Université Paris X - Nanterre, 364 p.
- Diallo H., Bamba I., Barima S. S. Y., Visser M., Ballo A., Mama A., Vranken I., Maiga M., Bogaert J., 2010. 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). Sécheresse, 22 (8) : 97-107 p.
- Dibi N'da H., N'guessan E.K., Wajda M.E. et Affian K. 2008. Apport de la télédétection au suivi de la déforestation dans le Parc National de la Marahoué (Côte d'Ivoire). Revue Française de Photogrammétrie et Télédétection, vol. 8, n° 1. 17-34 p.
- Diop A., Sambou H., Diop C., Ntiranyibagira E., Dacosta H. et Sambou B. 2018. Dynamique d'occupation du sol des zones humides urbanisées de Dakar (Sénégal) de 1942 à 2014.
- Diop A. B., Samb C. O., Barry M., Ndour A. A., Cissé O., Mukenza M. M., Sambieni K. R., Mweru J. P. M., Diansambu M. I., Bogaert J. (2024b) Dynamique spatio-temporelle de la mangrove du Parc National du Delta du Saloum (PNDS), Sénégal. Revue Écosystèmes et Paysages (Togo), 4 (1) : 1-17. e-ISSN (Online) : 2790-3230 ; Doi: <https://doi.org/10.59384/recopays.tg4102>
- Duveiller G., Defourny P., Desclee B., et Mayaux P. 2007. Déforestation in Central Africa: Estimates at regional, national and landscape levels by advanced processing of systematically distributed Landsat extracts. Remote Sensing of Environment, 112 (5). 1969 – 1981 p.
- Environnement et Changement climatique Canada (ECCC). 2021. Indicateurs canadiens de durabilité de l'environnement : Changement d'affectation des terres. 13 p.
- Etoa, M.M.G. 2009. Mémoire pour l'obtention du master d'ingénierie en eau : étude de la dynamique spatio-temporelle d'occupation des terres de la commune de Madjoari, 72 p. 53
- FAO, 2016. Évaluation des ressources forestières mondiales 2015 : Comment les forêts de la planète changent-elles ? Deuxième édition. 54 p.

- FAO. 2015. Évaluation des ressources forestières mondiale 2015. Répertoire de données de FRA 2015. Édition. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, 244 p.
- FAO. 2012. Situation des forêts du monde 2012. Édit. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, 52 p.
- FAO, 2001. State of the world's forests 2001. FAO Forestry Paper No. 140, Rome, Italie
- FAO : Situation des forêts du monde - Rome, 1999.
- Faye V., Mbow C., et Thiam A. 2016. Évolution de l'occupation et de l'utilisation du sol entre 1973 et 2010 dans la zone agropastorale du lac de Guiers (Sénégal). 14 p.
- Faye M. M. 2011. Rapport final d'Étude d'Impact Environnemental et Social (EIES) autoroute Ndiass, Thiès, Mbour. 139 p.
- Folega F., Badjare, B., Tokpo, K.G., Kpérkouma, W., Batawila, K., Akpagana, K. (2023). Ecologie numérique par des mesures géospatiales et forestières du système national des aires protégées du Togo. *Revue d'Innovation et Dynamiques Territoriales*, (3).
- Folega F, Atakpama W, Pereki H, Diwediga B, Novotny IP, Dray A, Garcia C, Wala K, Batawila K, Akpagana K. (2023) Geo-Based Assessment of Vegetation Health Related to Agroecological Practices in the Southeast of Togo. *Applied Sciences*. 2023; 13(16):9106. <https://doi.org/10.3390/app13169106>
- Foley J.A., De Fries R., Asner G.P., Barford C., Bonan G., Carpenter S.R., Chapin F.S., FORMAN. R.T.T. et GODRON. M. 1986. Landscape ecology, Wiley et Sons, New York. Gao J. and D. Skillcorn. 1998. Capability of SPOT XS data in producing detailed land-cover maps at the urban - rural periphery. *International Journal of Remote Sensing*, 19: 2877-2891.
- Geist, H. J. et Lambin.E. F. 2001.What Drives Tropical Deforestation? A Meta-Analysis of Proximate and Underlying Causes of Deforestation Based on Subnational Case Study Evidence. Louvain-la-Neuve (Belgium) : LUCC International Project Office, LUCC Report Series no. 4 Girard, M.C. and Girard, C.M. 1999. Traitement des données de télédétection. Dunod, Paris, 529 p.
- Godard V. 2005. Typologie des paysages forestiers du sud du massif de Fontainebleau après la tempête de décembre 1999. Évaluation des dégâts forestiers à l'aide d'un semis de points et d'imagerie satellitale optique. *Revue Internationale de Géomatique*, 15 (3) : 281-302.
- Goetz S.J., Bunn A.G., Fiske G.J., & Houghton R.A. 2005. Satellite-observed photosynthetic trends across boreal North America associated with climate and fire disturbance. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102, 13521.
- Golley F. B. 1987. L'écologie profonde du point de vue de la science environnementale. *L'écologie profonde du point de vue de la science environnementale*. 45-55 p.
- Haeckel E. 1866. *Générale Morphologie der Organismen*, Berlin, Reimer, 1 - 8 p.
- Hamel O., Dieng C., Niang A., Diop A. B., Kaire M. et Tamba A. Juillet 2011. La couverture des besoins énergétiques ménagers du Sénégal par les naturelles aménagées : Rêve ou réalité ? [Impacts sur les politiques nationales et opportunités liées aux Mécanismes « carbone »], 26 p.
- Halley, J.M., Hartley, S., et Kallimanis, A.S. 2004. Uses and abuses of fractal methodology in ecology. *Ecol Lett* 7 : 254-27. 54
- Hotyat. M et Liège. F. 2003. Approche dynamique des couverts forestiers : de la diachronie à l'analyse multisources. 165-176 p.
- Houet T., Hubert-Moy L., Corgne S., Marchand J. P. 2008. Approche systémique du fonctionnement d'un territoire agricole bocager Dans *L'Espace géographique* 2008/3 (Tome 37), pages 270 à 286 Mis en ligne sur Cairn.info le 22/09/2008 <https://doi.org/10.3917/eg.373.0270>
- Karsenty A. et Pirard R. 2007. Forêts tropicales : la question du bien public mondial et la quête d'instruments économiques multilatéraux pour un régime international. *Revue Forestière Française*, vol. 59, n° 5, 535-547. DOI : 10.4267/2042/15006.
- King. D. et Burrill. A. 1993. Apports réciproques des SIG et de la télédétection pour l'élaboration d'un système d'informations sur les sols d'Europe. 16 p.
- Koffi N'dere A., Kokou K. B., Atakpama W., Kombate B., Egbelou H., Kanda M., Sambieni K. R., Batawila K., 2024. Empreinte anthropique sur la dynamique des écosystèmes de la forêt classée d'Amou-Mono au Togo. *Revue Nature et Technologie*, 16(1): 51-62.

- Kokou K. B., Atakpama W., Kombate B., Egbelou H., Koffi N'Déré A., Elangilangi M. J., Ganyo K. K., Sambieni K. R., Bogaert J., Batawila K., 2023. Dynamique et modélisation du stock de carbone de la Forêt Classée d'Amou-Mono au Togo. *Revue Ecosystèmes et Paysages*, 3(2): 15.
- Lambin E.F. et Geist H.J. (2003). « Regional differences in tropical deforestation ». *Environment*, 45 (6). 22-36 p.
- Landis J. R. et Koch G. G. 1977. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33 (1). 159-174 p.
- Le Berre M. 1984. « Pour une modélisation systémique de la différenciation spatiale ». *Géopoint 84 : Systèmes et localisations*. Avignon : Groupe Dupont, 83-89.
- LEFEUVRE, J.C. et BARNAUD, G. 1988. « L'Écologie du paysage : mythe ou réalité ? », *Bull. Écol.*, 19, 493-522 p.
- Lumbuenamo R.S. 2021. Syllabus fondement de la télédétection /ERAIFT 2021. 193 p.
- Mama A., Bamba I., Sinsin B., Bogaert J., et De Carnière, C. 2014. Déforestation, savanisation et développement agricole des paysages de savanes-forêts dans la zone soudano-guinéenne du Bénin. *Bois et Forêts des tropiques*, 2014, N°322.
- Mama A., Sinsin B., De Carnière C. et Bogaert J. 2013. Anthropisation et dynamique des paysages en zone soudanienne au nord du Bénin. *Tropicultura*, 31 (1). 78-88 p.
- Marchand J. P. 1996. « Les contraintes naturelles et l'organisation de l'espace ». *Géopoint 96 : Espace et nature dans la géographie aujourd'hui*, Avignon : Groupe Dupont, 9-15.
- Marty P., Lepart J et Caplat P. 2006. Géographie et écologie des paysages : quelles relations ? 355-367 p.
- Mather A.S. et Needle, C.L., 2000. The relationships of population and forest trends. *The Geographical Journal*, 166: 2–13 p.
- Meda D. 2014. Chapitre : Transmettre aux générations futures un patrimoine intègre : où l'on s'interroge sur les règles et sur le contenu de notre legs aux générations futures 139 à 150 p.
- Mikwa Ngamba J. F. 2009- 2010. Mémoire de fin d'études Evaluation par télédétection des effets de la déforestation et de la dégradation des forêts à Kisangani (Cas de la Région forestière de Masako) 63 p.
- Mokadem I. et Nonguierma A. 1989. Généralités sur la télédétection et les SIG.
- Ndao, C B. 2021. Article sur Greenpeace. Les forêts au Sénégal : une espèce en voie de disparition avancée 18 August 2021.
- Ndjekouneyom S. 2007. Les impacts du maraichage sur la végétation ligneuse dans la région des Niayes centrales (Mboro-Diogo) au Sénégal (Mémoire de Fin d'Etude approfondies).
- N'guessan E., Dibi N'dah H., Bellan M.-F., Blasco F., 2006. Pression anthropique sur une réserve forestière en Côte d'Ivoire : Apport de la télédétection. 307-323 p.
- Ngono, F.A. (2017) La forêt, un patrimoine commun de l'humanité? Réflexion sur les conflits de représentations de la forêt à l'aune de sa patrimonialisation. *éthique Publique*, 19, 2999. <https://doi.org/10.4000/ethiquepublique.2999>
- O'Neill, R. V., Krummel, J. R., Gardner, R. H., Sugihara, G., Jackson, B., DeAngelis, D. L., Milne, B. T., Turner, M. G., Zygmunt, B., Christensen, S. W., Dale, V. H., Graham, R. L. 1988. Indices of landscape pattern. *Landscape Ecology*. 3 :153–16.
- Petit, S. 1999. Dessine-moi une forêt : éléments de réflexion sur les fondements et implications écologiques et sociales de la définition d'une forêt. In Alexandre, D.Y., Lescure, J.P., BiedCharreton, M. et Fotsing, J.M. : Contribution à l'état des connaissances sur les arbres hors forêt (TOF), IRD-FAO, Orléans, France, 61-68 p.
- Plan d'Action Forestier du Sénégal (PAFS). 1993. Volume III. Fiche de projets. Dakar, Sénégal, ministère du Développement rural et de l'Hydraulique.
- PNUE. 2002. L'avenir de l'environnement en Afrique, le passé, le présent et les perspectives d'avenir. Édit. United Nations Environment Programme, Earthscan (Royaume-Uni), 422 p.
- Poisson. J. 2009. Impact de la gestion participative sur l'efficacité de conservation dans les parcs nationaux des pays sous-développés. Faculté des Sciences Université de Sherbrooke, Québec, Canada. 121 p.
- République de Madagascar. 2007. Stratégie Nationale sur la Restauration des Paysages Forestiers et des Infrastructures Vertes à Madagascar (SNRPF).
- République du Sénégal. 2018. Loi n° 2018-25 du 12 novembre 2018 portant Code forestier du Sénégal. 26 p.
- Richards J. A. 1993. Remote sensing digital image analysis. An introduction (2nd ed.). Berlin : Springer-Verlag. 340 p.
- Richard. JF. 1975. Paysages, écosystèmes, environnement : une approche géographique, *L'Espace géographique*, volume 4, numéro 2, 81-92 p. 56
- Salomon, W., Useni Sikuzani, Y., Sambieni, K. R., Kouakou, A. T. M., Barima, Y. S. S., Théodat, J. M., & Bogaert, J., 2022. Land Cover Dynamics along the Urban–Rural Gradient of the Port-au-Prince Agglomeration (Republic of Haiti) from 1986 to 2021. *Land*, 11(3), 355.
- Sambou B. 2004. Évolution de l'état, de la dynamique et des tendances évolutives de la flore et de la végétation ligneuses dans les domaines soudanien et sub-guinéen au Sénégal. Thèse de doctorat d'État, Université Cheikh Anta Diop, Dakar (Sénégal), 237 p.

- Scouvar M., Lambin E.F. 2006. Approche systémique des causes de la déforestation en Amazonie Brésilienne : syndromes, synergies et rétroactions 2006/3 Tome 35, 241 -254.
- Solly, B., Dièye, E.H.B., Mballo, I., Sy, O., Sane, T. et Thior, M. 2020. Dynamique spatiotemporelle des paysages forestiers dans le Sud du Sénégal : cas du département de Vélingara. *Physio-Géo* [En ligne], Volume 15 | 2020, 41-67., mis en ligne le 02 janvier 2020. <https://doi.org/10.4000/physio-geo.10634>.
- Solly B., Dièye E.H.B. et Sy O. 2018-a. Impacts de la déforestation sur les activités agrosylvo-pastorale et la biodiversité dans le département de Médina Yoro Foulah (Haute - Casamance, Sénégal). Actes du colloque International Ressources en Eau, Environnement et Changement Climatique, 22-24 octobre 2018, Hammamet (Tunisie), volume II, 166-172.
- Soumanou A. A. 2013. Thème de mémoire : Analyse systémique de la mise en œuvre du plan d'aménagement participatif de la Forêt Classée de Tchaourou-Toui-Kilibo (FC-TTK) au Bénin pour l'obtention du Diplôme d'Etudes Supérieures Spécialisées (DESS) en « Aménagement et gestion intégrés des forêts et territoires tropicaux » à l'ERAIFT, 81 p.
- Stancioff A., Staljanssens M. et Tappan G. 1986. Cartographie et télédétection des ressources de la République du Sénégal. Étude de la géologie, de l'hydrogéologie, des sols, de la végétation et des potentiels d'utilisation des sols. Édit. République du Sénégal / Agence des USA pour le développement, projet de cartographie et de télédétection SDSU-RSI-86-01, XVII. + 653 p.
- Tappan G.G., Sall M., Wood E.C. et Cushing M. 2004. Ecoregions and land cover trends in Senegal. *Journal of Arid Environments*, vol. 59, n° 3, p. 427-462. DOI : 10.1016/j.jaridenv.2004.03.018
- Thalès de Haulleville., & Jan Bogaert. 2018. Fourteen years of anthropization dynamics in the Uapaca bojeri Baill. forest of Madagascar. *Landscape and Ecological Engineering* (2018) 14:135–146 <https://doi.org/10.1007/s11355-017-0340-z>.
- Troll, C. 1939. Luftbildplan und ökologische Bodenforschung. *Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin*, 241-298.
- Useni Sikuzani Y., André M., Mahy G., Cabala Kaleba S., Malaisse F., Munyemba Kankumbi F., et Bogaert J. 2017. Interprétation paysagère du processus d'urbanisation à Lubumbashi (RDCongo) : dynamique de la structure spatiale et suivi des indicateurs écologiques entre 2002 et 2008. In, André M. (eds), *Landscape ecological consequences of the (sub) urbanization process in an African city : Lubumbashi (Democratic Republic of Congo)* (2017). Thèse doctora, Université de Liège, Liège (Belgique).
- Vancutsem C., Lubamba J.-P.K., Blaes X., Pekel J.-F., de Wasseige C. & Defourny P. 2009. The Land Cover Map of the Democratic Republic of Congo, presses universitaires de Louvain ISBN2-87463-019-5, UCL-Geomatics, Louvain-la-Neuve.
- Vitousek, P. M., Mooney, H. A., Lubchenco, J. et Melillo, J. M. 1997. "Human domination of Earth's ecosystems." *Science* 277(5325) : 494-499 p.
- White F. 1986. La végétation de l'Afrique : mémoire accompagnant la carte de la végétation. Édit. ORSTOM-UNESCO, collection "Recherches sur les ressources naturelles", n° 20, traduit par P. BAMPS, Paris, 384 p.