Revue Africaine d'Environnement et d'Agriculture
http://www.rafea-congo.com
2025 ; 8(4), 159-171
ISSN (Print) : 2708-7743 **eISSN** : 2708-5422 **Dépôt légal** : JL 3.01807-57259

Analyse des évolutions du couvert végétal dans l'aire protégée de Bafing-Falémé par télédétection spatiale : cas de la forêt classée de Kabéla dans la Sous-Préfecture de Salambandé (République de Guinée)

Diallo Kadiatou*[1], Diallo Alpha Laho[2], Soumaoro Gbadieu Prosper[3] Sow Mamadou[1], Diallo Alpha Issaga Pallé[2]

(1)Université Gamal Abdel Nasser de Conakry (UGANC). Faculté des Sciences. Département de Biologie. Laboratoire de Botanique. BP 1147 Conakry (République de Guinée). E-mail : diakadiatou81@gmail.com
(2)Centre d'Étude et de Recherche en Environnement (CERE-UGANC). Laboratoire de géomatique. BP 3817 Conakry (République de Guinée)
(3)Institut de recherche Environnementale de Bossou (IREB). Département de Primatologie. Laboratoire de Primatologie. BP 20 Lola (République de Guinée)

Reçu le 24 novembre 2025, **accepté** le 25 décembre 2025, **publié en ligne** le 27 décembre 2025
DOI : https://dx.doi.org/10.4314/rafea.v8i4.14

RESUME

Description du sujet. Les dynamiques d'occupation des sols ont des répercussions directes sur la disponibilité des ressources naturelles. La forêt de Kabéla, située dans la zone écologique Nord-Ouest de la Guinée, constitue un bassin versant favorable à l'agriculture, notamment à la culture des céréales pluviales, ainsi qu'à l'élevage. Cependant, ces dernières années, elle a subi d'importantes variations climatiques, entraînant des perturbations pluviométriques et une réduction des précipitations.
Objectif. Cette recherche a pour objectif d'analyser l'évolution spatio-temporelle de l'occupation des sols dans la forêt de Kabéla entre 1984 et 2024, afin de proposer des mesures pour une gestion durable.
Méthodes. Pour ce faire, des séries chronologiques basées sur les indices de végétation par différence normalisée des images satellitaires ont été exploitées. Les résultats montrent une régression notable de la végétation au cours de ces deux périodes.
Résultats. L'analyse de la dynamique de l'occupation des sols met en évidence l'influence des précipitations sur la végétation pendant la saison sèche. Les principaux facteurs contribuant à la régression du couvert végétal sont : la déforestation (plus de 20 délits de coupe de bois par an), le surpâturage (120 délits de pâturage illicite par an), les incendies de forêts (plus de 10 incendies par an…).
Conclusion. La création de cartes d'occupation des sols pourrait fournir aux services des eaux et forêts une base de données utile pour une gestion durable des ressources.

Mots-clés : Dynamique de l'occupation du sol, bassin versant, pluviométrie, végétation. Forêt de Kabéla

ABSTRACT

Analysis of changes in vegetation cover in the Bafing-Falémé protected area using remote sensing: the case of the Kabéla classified forest in the Salambandé Sub-Prefecture (Republic of Guinea)
Description of the subject. Land-use dynamics have direct impacts on the availability of natural resources. The Kabéla Forest, located in the north-western ecological zone of Guinea, serves as a watershed that is highly favorable for agriculture particularly for rainfed cereal cultivation—as well as for livestock farming. However, in recent years, the area has experienced significant climatic variations, leading to rainfall disturbances and a reduction in precipitation.
Objective. This research aims to analyze the spatio-temporal evolution of land use in the Kabéla Forest between 1984 and 2024, with the goal of proposing measures for sustainable management.
Methods. To achieve this, time-series data based on Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) from satellite imagery were used. The results show a significant decline in vegetation over the two periods.
Results. The analysis of land-use dynamics highlights the influence of rainfall on vegetation during the dry season. The main factors contributing to the decline of vegetation cover include deforestation (more than 20 illegal wood-cutting incidents per year), overgrazing (120 cases of illegal grazing per year), and forest fires (over 10 fires per year).

Conclusion. The creation of land-use maps could provide the water and forestry services with a useful database for sustainable resource management.

Keywords: Land-use dynamics, watershed, rainfall, vegetation, Kabéla Forest

1. INTRODUCTION

La protection de l'environnement nécessite une prise en compte effective des ressources naturelles dans les politiques et stratégies d'aménagement du territoire (Atsu *et al.*, 2024). À l'échelle mondiale, près de 420 millions d'hectares de forêts ont été perdus entre 1990 et 2020. Bien que le taux de déforestation ait diminué au fil des décennies (de 16 millions d'hectares par an dans les années 1990 à environ 10 millions dans les années 2010), la dégradation du couvert végétal reste un phénomène globalement alarmant (Jose, 2021).

Actuellement, ces ressources font l'objet d'une exploitation intensive, l'agriculture constituant le principal facteur de pression, avec des impacts significatifs sur la biodiversité (Hansen *et al.*2020). Ainsi, dans un contexte de variabilité climatique accrue et de pression anthropique croissante (déforestation, agriculture extensive, feux de brousse, exploitation minière, etc.), la dégradation du couvert végétal constitue une préoccupation majeure pour la durabilité des écosystèmes tropicaux (Guimbo, 2024).

En Afrique, la situation est particulièrement critique, le continent a perdu plus de 3,9 millions d'hectares de forêts primaires humides en 2022, représentant 12 % de la perte mondiale, principalement en République Démocratique du Congo, au Cameroun, au Ghana et au Nigéria (Global Forest Watch, 2023). La pression démographique, la pauvreté et les politiques foncières inadaptées contribuent fortement à l'accélération de la déforestation. En Afrique de l'Ouest, la variabilité climatique est reconnue comme l'un des principaux facteurs responsables de la transformation du couvert végétal, en raison de son influence directe sur les écosystèmes. Elle influence la répartition des végétations et la quantité de la biomasse (Arfou *et al.* 2023).

En Guinée, les ressources forestières connaissent également une dégradation progressive. Le pays a perdu environ 96 000 hectares de forêts naturelles entre 1990 et 2020, soit près de 20 % du couvert forestier national. Cette tendance touche également les zones protégées, notamment les forêts classées, où l'exploitation illégale du bois, la culture sur brûlis et l'orpaillage artisanal ont un impact direct sur les écosystèmes (Kourouma *et al.*, 2021). La forêt classée de Kabéla, située dans la sous-préfecture de Salambandé, illustre parfaitement cette dynamique de dégradation. Une analyse diachronique à partir d'images satellites permet de suivre l'évolution du couvert végétal sur plusieurs décennies et de quantifier les pertes enregistrées dans cette aire protégée. Ainsi, face à cette dégradation répétée du couvert végétal dans cette zone, le recours à des outils de télédétection spatiale apparaît comme indispensable pour le suivi, la planification et la préservation durable des ressources naturelles (Oreste, 2019).

L'analyse de ces évolutions permet de mieux comprendre les processus de dégradation environnementale en cours. Par ailleurs, les aires protégées, souvent présentées comme des instruments majeurs de conservation sont soumis à des pressions anthropiques et environnementales croissantes, remettant en question leur efficacité à long terme (Boubacar *et al.* 2022). En effet, la disponibilité des ressources naturelles dans ces zones attire les populations riveraines : agriculteurs, éleveurs, physiothérapeutes, etc. (Yaovi, 2021). La croissance démographique, l'expansion des surfaces agricoles et le surpâturage figurent parmi les principaux facteurs de dégradation du couvert végétal de cette forêt. À ces causes s'ajoutent les variations climatiques qui renforcent la dynamique de la dégradation du couvert végétal (Barrage, 2018).

L'exploitation de données satellitaires à haute résolution spatiale, en particulier celles provenant des capteurs Landsat et Spot, constitue un outil essentiel pour l'analyse des dynamiques spatio-temporelles des écosystèmes. Ces images permettent de détecter et de caractériser avec précision divers processus environnementaux tels que la déforestation, la savanisation, l'anthropisation des milieux naturels, la fragmentation des paysages, ainsi que dans certaines situations, des phénomènes de régénération écologique (Kokou, 2022).

L'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) est couramment utilisé. Il offre des informations sur l'activité photosynthétique, la productivité primaire, la biomasse, ainsi que sur la teneur en eau des feuilles, l'humidité des sols et la qualité phytosanitaire. Le NDVI permet de détecter les changements de végétation, comme la modification du couvert forestier (Koukou, 2022).

Le NDVI est fortement corrélé à la pluviométrie dans plusieurs pays de la sous-région. Le lien entre la pluviométrie et les modifications du couvert végétal a été largement démontré (avec une corrélation linéaire particulièrement marquée dans

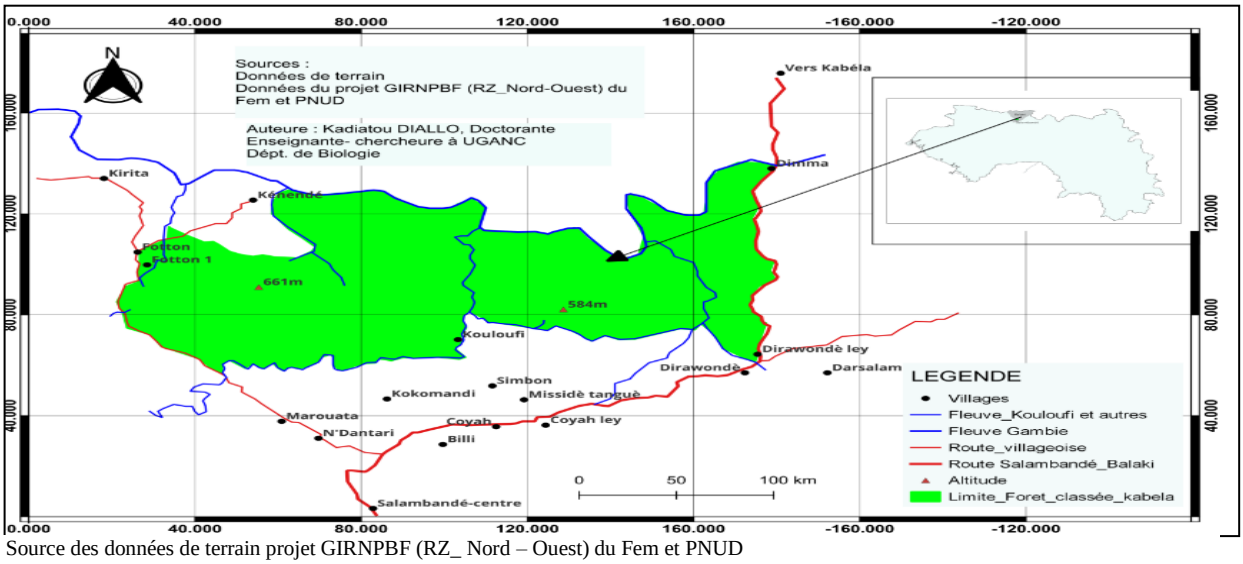
les zones recevant moins de 1000 mm de pluie par an (Sall, 2022)

L'objectif de cette recherche est d'évaluer l'état de la couverture végétale entre 1989 et 2020. Spécifiquement, il s'agit de caractériser spatialement et temporellement à l'aide des images satellitaires, l'évolution du couvert végétal de la forêt classée de kabéla, de cartographier des différents types de formations végétales et d'identifier les principales formes de modifications survenues au cours des deux dernières décennies.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Localisation de la Zone d'étude

L'étude a été menée dans la forêt de Kabéla constituant un biome dans le paysage Bafing-Falémé. Cette forêt est un vaste territoire vallonné, d'une superficie de 3.920 hectares. Du point de vue géographique, elle se situe entre 11°51 et 11°52 de latitude Ouest ; 12°05 et 12°07 de longitude Nord. Son histoire rapporte que cette forêt située entre la frontière Guinéo-Sénégalaise, fut délimitée le 20 décembre 1954 et comporte plusieurs ruisseaux et un seul marigot qui est le Kouloufi (Mamadou *et al*. 2020) (Figure 1).



Source des données de terrain projet GIRNPBF (RZ_ Nord – Ouest) du Fem et PNUD

Figure 1. Carte de la forêt classée de kabéla

Le climat de la région est de type foutanien, marqué par l'influence de l'altitude et caractérisé par deux grandes saisons : une saison pluvieuse s'étendant d'avril à novembre, au cours de laquelle, les précipitations présentent de fortes fluctuations, et une saison sèche couvrant le reste de l'année. Les précipitations, soumises à la dynamique de la mousson ouest-africaine, atteignent en moyenne 1 320 mm par an, avec un écart-type de 206 mm et un coefficient de variation de 0,16. La température moyenne annuelle est de 27,3 °C, présentant un écart-type de 0,5 °C et un coefficient de variation de 0,02. Dans cette zone, le climat reste relativement doux, avec des températures oscillant en moyenne entre 12,2 °C en décembre et 31,2 °C en mars.

La pluviométrie annuelle varie globalement entre 1 300 et 1 700 mm. La végétation est constituée des arbres isolés dans les parcelles agricoles ou parcs arborés, des galeries forestières le long des cours d'eaux, des bambousais, des savanes arbustives et des reliques des savanes arborées. Les espèces les plus dominantes de ces formations sont *Parkia biglobosa*, *Vitellaria paradoxa*, *Pterocarpus erucens*, *Kaya senegalensis*, *Daniellia oliveri*, *Anogeissus leiocarpus*, *Burkea africana*, *Lophira lanceolata*, *Prosopis africana*, etc. Il existe une diversité de sols dont les plus représentés sont les sols ferrugineux tropicaux lessivés, les sols ferralitiques et les sols hydromorphes. Le terrain comprend des collines, dont l'altitude maximale atteint 1515 mètres d'altitude, le Mont Laura qui constitue le point culminant du massif du Fouta-Djalon. Des dépressions, des plaines, des plateaux et des bowés. La population estimée dans la sous-préfecture de Salambandé s'élève à 15 620 habitants sur la base des résultats des derniers recensements de la population de Guinée (RGPH, 2014).

2.2. Méthodes

Méthode d'acquisition des données satellites et climatiques

Les images Landsat présentent une résolution spatiale de 30 mètres pour les bandes optiques, ce qui les rend particulièrement adaptées à l'analyse de la végétation, des superficies forestières et des

changements d'occupation du sol. La richesse de leurs bandes spectrales, notamment dans les domaines du rouge, du proche infrarouge (NIR) et de l'infrarouge moyen (SWIR), permet de calculer des indices de végétation comme le NDVI, largement utilisés pour évaluer l'état physiologique et la densité du couvert végétal.
Plusieurs capteurs ont été mobilisés dans le cadre de cette étude, en fonction de la disponibilité des images pour les années ciblées :
Landsat 5 TM (Thematic Mapper), qui fournit sept bandes multispectrales exploitables pour l'analyse écologique.
Landsat 7 ETM+, opérationnel depuis 1999, qui offre des images de qualité malgré la panne SLC-off survenue en 2003 ; les zones centrales restent pleinement utilisables.
Landsat 8 OLI/TIRS, lancé en 2013, offrant une meilleure résolution radiométrique (12 bits) et des bandes optimisées pour l'analyse de la végétation.
Landsat 9 OLI-2/TIRS-2, mis en orbite en 2021, garantissant la continuité et la compatibilité avec les données de Landsat 8 (Mamadou *et al.* 2020).

Cartographie de l'occupation du sol

Les données Landsat de résolution spatiale et spectrale complète (résolution 30 x 30 m) des années 1989, 2006 et 2020 avec une couverture nuageuse inférieure à 10 % ont été téléchargées à partir du portail du « Center for Earth Resources Observation and Science (EROS) of U.S. Geological Survey (USGS) » (https://earthexplorer.usgs.gov/). Ces images ont été soumises à un prétraitement géométrique (correction des distorsions spatiales) et atmosphérique (réduction des effets liés à l'atmosphère) afin d'assurer leur comparabilité. Ensuite, deux types de classification ont été appliqués : une classification non supervisée pour explorer les classes naturelles de l'image, puis une classification supervisée fondée sur des données d'apprentissage collectées sur le terrain et issues de l'interprétation visuelle. Ce qui a permis de faire les cartes d'occupations des sols de 1989, 2006, 2020. Par ailleurs, les tendances à long terme de la végétation, des séries temporelles de NDVI allant de 1984 à 2024 ont été téléchargées depuis le site Proba-V MEP.

L'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) quantifie la végétation en mesurant la différence entre le proche infrarouge (que la végétation réfléchit fortement) et la lumière rouge (que la végétation absorbe). Le NDVI utilise la bande du proche infrarouge (NIR) et les canaux rouges dans sa formule (Rouge). $NDVI=(NIR-Rouge)\div(NIR+Rouge)$. Il varie de -1 à +1 mais il n'y a pas de frontière distincte pour chaque type de couverture terrestre. Par exemple, des valeurs négatives indiquent généralement la présence d'eau, tandis qu'une valeur proche de +1 suggère une végétation dense avec des feuilles vertes. En revanche, un NDVI proche de zéro indique l'absence de feuilles vertes, pouvant même correspondre à une zone urbanisée.

Après extraction des données spécifiques de la zone d'étude, des traitements statistiques ont été appliqués pour examiner l'évolution interannuelle des valeurs NDVI. Des tests statistiques tels que le test de Pettit ont été utilisés pour détecter les points de rupture ou de changement significatif dans la série, tandis que le test de Mann-Kendall a permis d'évaluer la tendance monotone des valeurs NDVI au cours du temps. Enfin, une analyse des relations entre les variables climatiques (précipitations, température, etc.) et les indices de végétation (NDVI) a été réalisée. Les données climatiques collectées auprès des stations météorologiques ou de bases de données ouvertes ont été croisées avec les valeurs annuelles et saisonnières du NDVI. Des tests de corrélation, comme le coefficient de Pearson et de Spearman, ont été appliqués afin d'évaluer l'influence des fluctuations climatiques sur l'évolution de la végétation.

3. RESULTATS

3.1. Évaluation de l'état de la couverture végétale entre 1989 et 2020

Les cartes d'occupation du sol de 1989, 2006 et 2020 mettent clairement en évidence de profondes mutations spatio-temporelles au sein de la forêt classée de Kabéla. Ces transformations reflètent une dynamique paysagère marquée par une régression continue des formations forestières au profit des unités d'occupation anthropiques telles que les zones dégradées, les savanes et les bâtis.

3.2. Evolution qualitative des différentes classes d'occupation du sol de la forêt de kabéla de 1989 à 2020.

En 1989, la forêt classée de Kabéla était majoritairement couverte par des formations forestières, qui représentaient plus de 87 % de la superficie totale soit 31,9 % de galerie forestière et 55,1 % de forêt claire. Les autres classes, notamment la savane arborée et arbustive (4,0 %), les zones dégradées (0,3 %) et les surfaces bâties (4,2 %), occupaient des superficies marginales. Cette configuration traduit un écosystème encore bien conservé, dominé par des formations naturelles typiques des zônes soudano-guinéennes.

En 2006, une première phase de dégradation significative est observée. La forêt claire régresse de 671 ha tandis que la galerie forestière perd environ 95 ha, soit une baisse respective de 31 % et 8 %. Cette période se caractérise par une extension marquée de la savane arborée et arbustive (+175

ha) et surtout des zones dégradées, qui passent de 12,48 ha à 597,04 ha, soit une augmentation de plus de 4 600 %. Ces changements traduisent l'intensification des activités humaines, notamment les défrichements agricoles, les feux de brousse et la coupe du bois d'œuvre, processus déjà signalés dans les forêts classées Guinéenne par Barry *et al.* (2021).

La période 2006-2020 marque une phase d'accélération de la déforestation. La forêt claire s'effondre, passant de 38,0 % à 8,6 % de la superficie totale, soit une perte de 1 148 ha. La galerie forestière poursuit sa régression pour atteindre 22,3 % du territoire. Dans le même temps, les zones dégradées deviennent prédominantes, couvrant 47,2 % de la surface totale en 2020, contre seulement 0,3 % en 1989. Cette explosion traduit une anthropisation rapide et non contrôlée, conforme aux observations de Traoré *et al.* (2022) sur les formations forestières de la haute Guinée et du Mali. Les espaces bâtis, bien que représentant encore une faible proportion (6,3 %), montrent une progression constante, confirmant la croissance démographique et l'extension des villages autour et à l'intérieure de la forêt classée de kabéla. La régression des formations forestières, notamment des forêts galeries, témoigne d'une forte pression humaine sur les ressources naturelles. Ces formations, situées en bordure des cours d'eau, constituent des zones convoitées pour la culture de décrue, la production de charbon et la coupe de bois d'œuvre. Leur dégradation favorise la fragmentation écologique, la savanisation des paysages et la perte progressive de la biodiversité (Diallo, 2020).

L'extension rapide des zones dégradées et des savanes arborées traduit un processus de transition écologique où les formations ligneuses denses sont remplacées par des espèces pionnières et résistantes au feu (*Combretum* spp., *Terminalia* spp.). Ce phénomène est amplifié par la répétition annuelle des feux de brousse et la surexploitation du bois énergie, deux facteurs reconnus comme majeurs dans la dynamique de déforestation des forêts guinéennes (Sansilvestri, 2015). Les transformations observées ont plusieurs répercussions écologiques : Perte de la biodiversité végétale et animale avec disparition progressive des essences forestières à haute valeur économique et écologique comme le *(Khaya senegalensis, Afzelia Africana, Pterocarpus erinaceus*, etc. …; altération des fonctions écosystémiques, notamment la régulation hydrique et la protection des sols ; appauvrissement du couvert végétal entraînant une vulnérabilité accrue à l'érosion et à la désertification ; modification du microclimat local, se traduisant par une hausse des températures et une baisse de l'humidité relative comme le montre dans la (Figures 2 et 3).

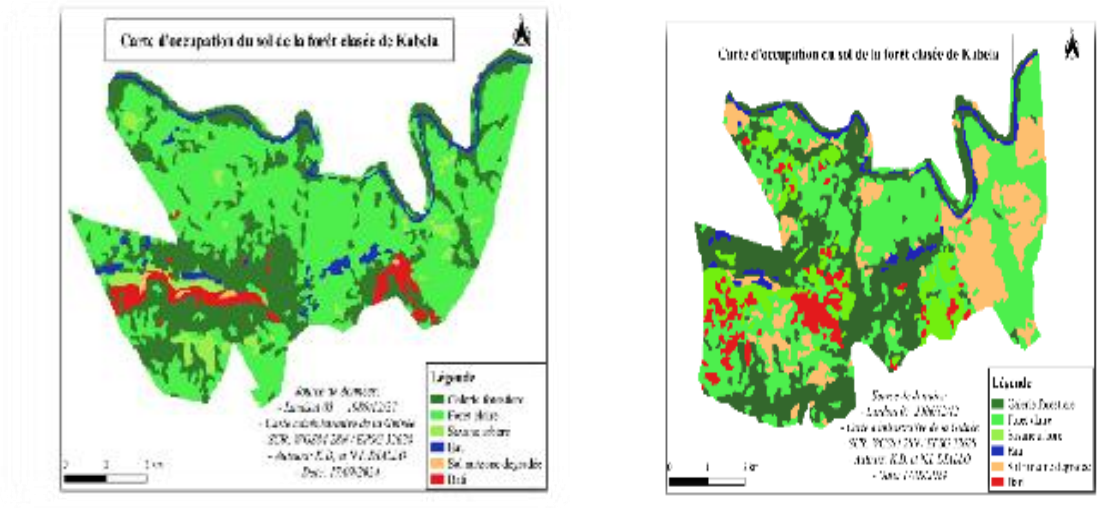


Figure 2. Carte d'occupation du sol de la forêt classée de Kabéla de 1989 et 2006

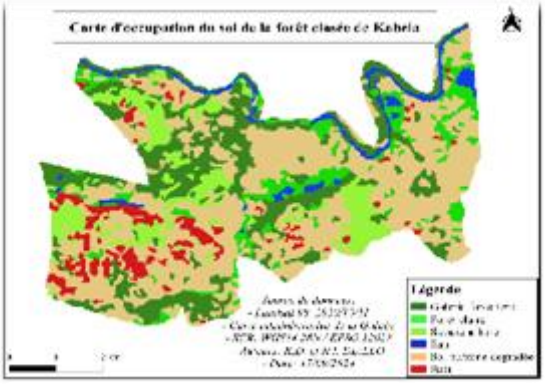


Figure 3. Carte d'occupation du sol de la forêt classée de Kabéla de 2020

3.3. Principaux types d'occupation du sol

Galerie forestière

En 1989, elle occupait des bandes continues le long des cours d'eau, signe d'un écosystème ripicoles encore intact. À partir de 2006, ces galeries sont devenues fragmentées. En 2020, elles sont très rétrécies et isolées. La fragmentation et la réduction des galeries forestières traduisent une forte pression humaine sur les zones riveraines, associée aux coupes de bois, aux feux brousse et à l'agriculture. Cette régression affecte directement la régulation hydrologique, la biodiversité et la stabilité des berges.

Forêt claire

Très présente en 1989, elle a subi une régression notable dès 2006. En 2020, elle disparaissait par endroit. La conversion de la forêt claire en savane révèle un processus de déforestation progressive, résultant du prélèvement du bois, du défrichement agricole et des changements climatiques. La disparition partielle de cette formation indique une perte de biodiversité et une modification de la structure du couvert végétal.

Savane arborée

Faible en 1989, elle connaît une forte extension en 2006. En 2020, elle devient dominante. L'évolution de la savane arborée traduit une **savanisation** du paysage, souvent irréversible sans intervention de restauration. Cette dynamique découle du déboisement, des feux et du surpâturage. Elle indique une transition vers un état écologique plus pauvre et plus sensible à la dégradation

Sols nus / zones dégradées

Presque inexistants en 1989, ils ont connu une extension en 2006 et très étendus en 2020. L'augmentation des sols nus reflète une dégradation avancée des terres. Elle résulte d'une combinaison d'érosion, de feux répétés et de pratiques agricoles non durables. Ce phénomène est un indicateur d'alerte sur la perte de la fertilité des sols et la désertification progressive de certaines zones de la forêt.

Bâti

Quasi absent en 1989, débute timidement en 2006 et s'étend nettement en 2020.
La croissance des zones bâties témoigne d'une augmentation de la population et de l'installation humaine à proximité ou à l'intérieur de la forêt classée. Cela entraîne une intensification des pressions sur les ressources naturelles et accélère la fragmentation des habitats.

Eau

Stable sur toute la période, mais avec une légère diminution localisée en 2020.
La stabilité globale masque une perte ponctuelle due à la sédimentation. Celle-ci peut s'expliquer par l'augmentation des sols nus qui favorise le ruissellement et le transport de sédiments vers les cours d'eau (Tableau 1).

Tableau 1. Les principaux types d'occupation du sol

Classe d'occupation	1989	2006	2020	Evolution observée
Galérie forestière (vert foncé)	Etendue continue le long des cours d'eau	Fragmentation en petits couloir	Très rétrécie et isolée	Forte régression
Forêt claire (vert clair)	Présente sur une grande superficie	Subit une régression moyenne	Disparait par endroit	Convertie en savane

Savane arborée (jaune-vert clair)	Peu représentée	Forte extension	Dominante	Résultat du déboisement et de la reconversion agricole
Sols nus/zone dégradée (beige)	Très faibles	En expansion	Très étendus	Marque l'intensité de la dégradation et de l'érosion
Bâti (rouge)	Quasi inexistant	Légère apparition	Expansion nette	Témoigne de la croissance démographique et de l'installation humaine
Eau (bleu)	Stable	Stable	Stable	Légère diminution localisée due à la sédimentation

3.4. Evolution spatio-temporelle des différents types d'occupations du sol de la forêt classée de kabéla

La forêt de Kabéla connaît une régression marquée de ses formations forestières (Tableau 2)**,** notamment la forêt claire (−84,4 %) et la galerie forestière (−30,1 %), témoignant d'une forte pression anthropique et environnementale. Parallèlement, les formations dégradées explosent**,** avec une augmentation spectaculaire des sols nus (+14 719 %) et une forte extension des savanes (+184,7 %), révélant une dégradation avancée de l'écosystème. Enfin, les zones bâties progressent nettement (+48,7 %) tandis que les surfaces en eau restent globalement stables, indiquant une intensification de l'occupation humaine au détriment du couvert végétal (Tableau 2).

Tableau 2. Évolution spatio-temporelle des différents types d'occupations du sol (1989–2020)

Classe	Variation (ha)	Variation (%)	Tendance
Galerie forestière	−375,8	−30,1 %	Régression forte
Forêt claire	−1819,0	−84,4 %	Régression très forte
Savane arborée et arbustive	+292,8	+184,7 %	Extension importante
Sol nu / zone dégradée	+1837,2	+14 719 %	Explosion spectaculaire
Eau	−16,6	−9,6 %	Stable globalement
Bâti	+80,5	+48,7 %	Progression nette

3.5. Répartition en superficies des types d'occupations

Le tableau 3 présente la répartition en superficie et en pourcentages des différents types d'occupation.

Tableau 3. Répartitions en superficie et en pourcentages des différents types d'occupations

Types d'occupation	1989		2006		2020	
	Ha	%	ha	%	Ha	%
Galerie forestière	1248,60	31,9	1153,75	29,5	872,81	22,3
Forêt claire	2155,83	55,1	1484,79	38,0	336,83	8,6
Savane arborée et arbustive	158,52	4,0	334,23	8,6	451,34	11,5
Sol nu/zone dégradée	12,48	0,3	597,04	15,3	1849,70	47,2
Eau	172,64	4,4	126,28	3,2	156,06	4,0
Bâti	165,19	4,2	218,92	5,6	245,74	6,3
Total (ha)	3913,26	100 ,0	3914,99	100,0	3912,48	100,0

L'analyse globale du tableau 3 indique une réduction de superficie pour l'ensemble des types d'occupations de 1989 à 2020, alors que le Sol nu/zone dégradée et le Bâti ont connu une augmentation de leurs superficies.

3.6. Productivité végétale de la forêt classée de Kabéla

La figure 4 ci-dessous illustre l'évolution temporelle des valeurs moyennes annuelles du NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) dans la forêt classée de Kabéla, sur la période de 1984 à 2024. La courbe noire représente les valeurs observées du NDVI, tandis que la ligne bleue est une régression linéaire qui indique la tendance générale. Cette tendance est accompagnée d'un intervalle de confiance (en gris) qui montre la variabilité autour de la tendance. L'équation de la droite est : y=0.29−0.05 xy = 0.29 - 0.05 xy=0.29−0.05x où x correspond au temps (année). La pente négative de -0.05 indique une diminution progressive du NDVI au fil du temps, ce qui suggère une dégradation du couvert végétal dans la zone d'étude. La valeur de R^2=1R^2 = 1R^2=1,

bien que très élevée (et à interpréter avec précaution), suggère que la tendance linéaire explique une très grande part de la variabilité observée dans les données.

Pour confirmer la tendance observée, un test statistique de Mann-Kendall peut être appliqué. Ce test non paramétrique permet de détecter la présence d'une tendance monotone dans une série chronologique, sans faire d'hypothèses sur la distribution des données. En se basant sur la visualisation, on anticipe un taux de Kendall négatif, ce qui indiquerait une tendance décroissante significative. Si le test retourne une p-value < 0,05, cela confirmerait que la tendance décroissante du NDVI est statistiquement significative. Une valeur de tau proche de -1 indiquerait une forte tendance négative, renforçant l'hypothèse d'une dégradation du couvert végétal.

L'analyse diachronique du NDVI entre 1984 et 2024 met en évidence une tendance générale à la baisse du couvert végétal dans la forêt classée de Kabéla. La régression linéaire montre une pente négative de -0,05, et bien que la valeur de R2R^2R2 soit très élevée, cette tendance a été statistiquement validée par le test de Mann-Kendall. Ce dernier indique une tendance monotone décroissante significative (tau < 0 ; p < 0,05), traduisant une dégradation continue de la végétation. Ces résultats témoignent des pressions croissantes exercées sur cet écosystème protégé, nécessitant des mesures de conservation renforcées et un suivi régulier par télédétection.

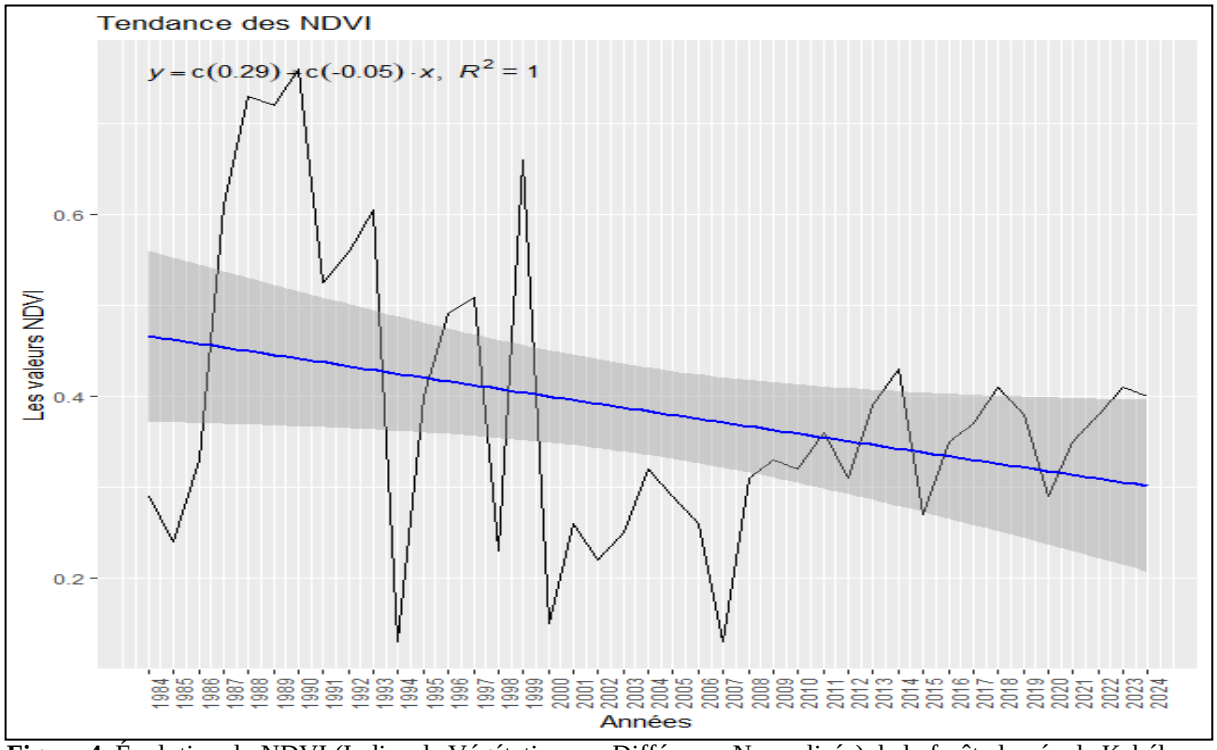


Figure 4. Évolution du NDVI (Indice de Végétation par Différence Normalisée) de la forêt classée de Kabéla sur la période 1984- 2024

3.7. L'évolution de l'EVI (Enhanced Vegetation Index) de la forêt classée de Kabéla de 1984 à 2024

La forêt classée de Kabéla connait une tendance décroissante de l'EVI au fil des années, indiquant une diminution globale de la couverture végétale. L'EVI était relativement élevé entre 1986 - 1992, atteignant un pic au début des années 1990. Après 1992, il s'observe une baisse marquée, avec des fluctuations importantes, notamment une chute brutale vers 1998-2000. Après 2000, les valeurs de l'EVI restent faibles et continuent leur tendance à la baisse malgré quelques variations interannuelles. La diminution de l'EVI indique une réduction de la couverture végétale et une probable dégradation des écosystèmes. L'EVI étant plus sensible à la biomasse verte et moins affecté par le sol nu que le NDVI, cette diminution peut être liée à la déforestation ou les pressions anthropiques (agriculture, exploitation forestière, urbanisation, etc.).

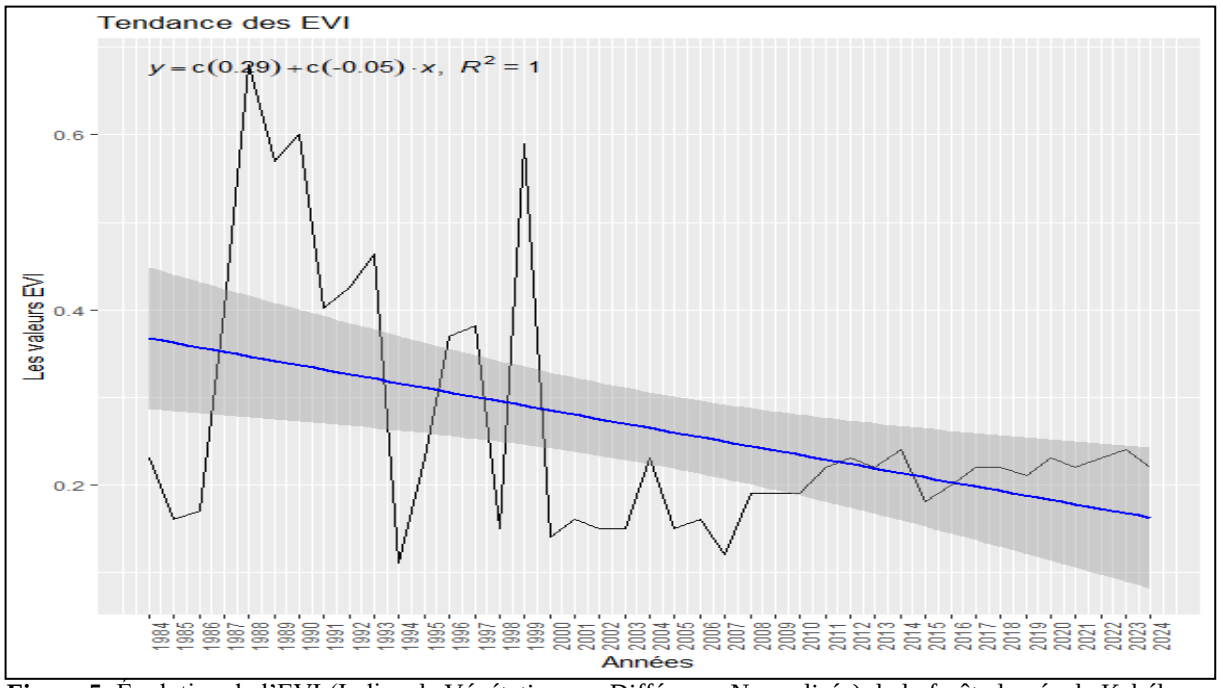


Figure 5. Évolution de l'EVI (Indice de Végétation par Différence Normalisée) de la forêt classée de Kabéla sur la période 1984- 2024

3.8. Corrélation entre les paramètres climatiques et les indices de végétation (NDVI et EVI)

L'analyse de la matrice de corrélation révèle une interdépendance marquée entre les paramètres climatiques et les indices de végétation dans la forêt classée de Kabéla. Durant la saison sèche, la forte corrélation positive entre l'évapotranspiration potentielle (ETP_ss) et la température maximale (Tmax_ss) (r = 0, 98) traduit une intensification de la demande atmosphérique en eau sous l'effet du réchauffement thermique. En revanche, la corrélation négative entre l'évapotranspiration réelle (ETR_ss) et l'ETP_ss (r = - 0,64) suggère une limitation hydrique due à la raréfaction des précipitations, caractéristique d'un stress hydrique sévère dans cette période. Ce déséquilibre se manifeste par une baisse du NDVI et de l'EVI, témoignant de la sénescence du couvert végétal liée à la contrainte thermique et à la diminution de l'humidité du sol. Pendant la saison pluvieuse, la corrélation très forte entre l'ETP_sp et l'ETR_sp (r = 0,96) indique que la disponibilité en eau du sol permet une évapotranspiration quasi complète, favorisant la régénération du couvert végétal.

L'association positive entre les températures minimales (Tmin_sp) et maximales (Tmax_sp) (r = 0, 93) reflète une homogénéisation thermique, probablement amplifiée par l'effet du changement climatique sur les régimes de température. De plus, la corrélation négative entre les indices de végétation (NDVI et EVI) et la température de surface (LST) (r = –0, 28 à –0, 45) confirme le rôle régulateur du couvert végétal, qui atténue les températures de surface par effet d'ombrage et d'évapotranspiration. Ces résultats suggèrent que la dynamique saisonnière du couvert végétal est fortement influencée par la variabilité hydroclimatique. En saison sèche, la végétation subit une contrainte hydrique accentuée, alors qu'en saison pluvieuse, la disponibilité en eau et la baisse de la température favorisent la photosynthèse et la reconstitution de la biomasse. Cette dynamique confirme que la résilience du couvert végétal en Guinée dépend à la fois des précipitations saisonnières, de la température de surface et des pressions anthropiques. Ainsi, la corrélation négative entre les variables thermiques et les indices de végétation traduit la sensibilité écologique de la forêt de Kabéla face au réchauffement climatique et à la variabilité hydrique interannuelle (Figure 6).

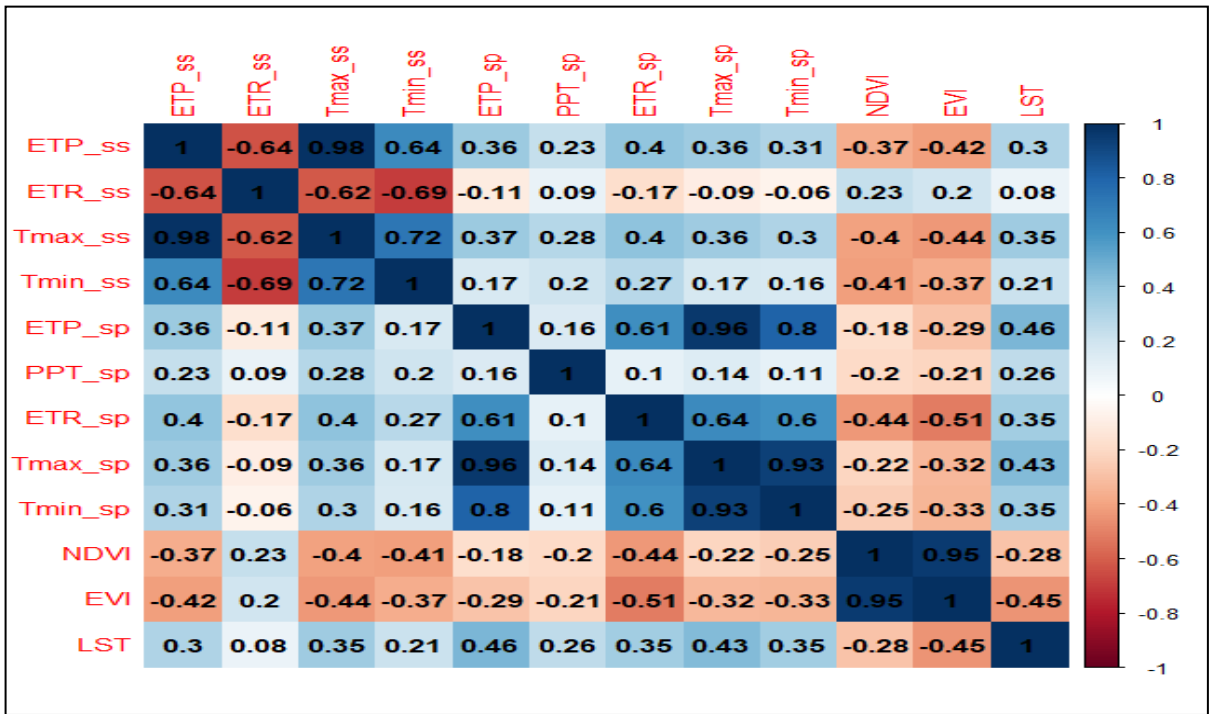


Figure 6. Matrice de corrélation entre les variables climatiques et les indices de végétations

4. DISCUSSION

La forte diminution des formations forestières entre 1989 et 2020 (–84 % pour la forêt claire et –30 % pour les forêts galeries) souligne une pression anthropique intense dans la zone d'étude. Cette évolution rejoint les résultats de Barry *et al.* (2021) qui ont montré que les forêts classées guinéennes subissent une dégradation similaire liée à la coupe de bois, l'expansion agricole et la pratique des feux de brousse. Au niveau régional, Traoré *et al.* (2022) et Montfort *et al.* (2021) rapportent une tendance comparable dans les forêts du Sahel et du haut bassin du Niger, où les paysages forestiers ont été transformés en mosaïque de savanes dégradées sous l'effet combiné de la pression démographique, des pratiques agricoles extensives et du changement climatique. L'augmentation spectaculaire des zones dégradées à Kabéla (+14 719 %) illustre un processus rapide de savanisation, phénomène largement documenté dans les forêts sèches d'Afrique de l'Ouest (Raogo., 2020 ; Bimare *et al.* 2022). Ces auteurs soulignent que les formations ligneuses denses sont progressivement remplacées par des savanes arbustives dominées par des espèces pyrophytes, un processus amplifié par la récurrence des feux et la surexploitation des ressources.

Pour le NDVI, une tendance générale à la baisse entre 1989 et 2024 a été constatée, ce qui indique ne dégradation progressive de la végétation, un phénomène déjà observé en Afrique de l'Ouest par Effoe *et al.* (2020)**.** La forte variabilité interannuelle des valeurs s'explique principalement par les fluctuations pluviométriques, comme le soulignent Siradji (2022)**.** La diminution de la productivité végétale est aussi cohérente avec l'intensification des pressions anthropiques, notamment la déforestation et les feux, décrits par Hansen *et al.* (2020)**.** On observe toutefois une légère reprise du NDVI après 2015, ce qui peut refléter une résilience partielle des savanes, confirmée par les observations de Boubacar *et al.* (2022)**.** Cependant, cette reprise reste insuffisante pour compenser les pertes cumulées sur trois décennies, comme le montrent les analyses de Kokou *et al.* (2022)**.**

Ainsi, la dynamique du NDVI à Kabéla traduit un système écologique sous pression où le climat et les activités humaines jouent un rôle déterminant. Une forte corrélation positive entre les variables thermiques comme Tmax_ss et Tmin_ss ($r \approx 0{,}98$) a été observée, ce qui confirme la cohérence interne des paramètres climatiques, un phénomène également observé par Corgne, (2014) en Afrique de l'Ouest. Les indices de végétation (NDVI et EVI) montrent des corrélations négatives avec la température (r entre –0,3 et –0,5), ce qui suggère que le stress thermique réduit la productivité végétale, en accord avec les conclusions de Atsu et *al.* (2024)**.** De plus, les corrélations modérément négatives entre NDVI/EVI et l'évapotranspiration (ETP_ss, ETP_sp) indiquent une sensible sensibilité de la végétation au déficit hydrique, comme rapporté par (Montfort, 2021)**.**

La relation faible et parfois négative entre NDVI et les précipitations (PPT_sp) peut refléter un effet décalé ou non linéaire de la pluie sur la végétation, un résultat déjà évoqué par Yaovi (2021) pour les

zones soudano-guinéennes. La forte corrélation positive entre EVI et NDVI ($r \approx 0,95$) confirme que les deux indices captent la même dynamique éco-physiologique, comme l'ont montré Agbanou **(**2018**).** Enfin, les corrélations négatives entre LST (température de surface) et les indices de végétation renforcent l'idée d'un réchauffement local accentuant la dégradation du couvert végétal**,** conformément aux travaux de Global Forest Watch (2023)

5. CONCLUSION

L'analyse diachronique des cartes d'occupation du sol de 1989, 2006 et 2020, couplée à l'étude des indices de végétation (NDVI et EVI) et des variables climatiques, met en évidence une transformation spatio-temporelle majeure du paysage de la forêt classée de Kabéla au cours des quatre dernières décennies. De 1989 à 2006, la dynamique paysagère s'est traduite par une régression progressive des formations forestières au profit des zones agricoles et des savanes dégradées. Cette évolution s'est accentuée entre 2006 et 2020, confirmant une intensification des activités humaines : agriculture itinérante, exploitation forestière non contrôlée et feux de brousse récurrents, qui ont conduit à une fragmentation avancée du couvert végétal naturel.

La superposition des cartes révèle une diminution significative des superficies de forêts denses et une extension notable des terres cultivées et des espaces nus, témoignant d'une dégradation écologique continue. Les résultats issus des analyses des indices de végétation (NDVI et EVI) entre 1984 et 2024 confirment ces constats. Les deux indices montrent une tendance générale à la baisse (pente négative de la droite de régression $y = 0,29 – 0,05x$, avec $R^2 = 1$), traduisant une régression progressive de la densité et de la vitalité du couvert végétal. Les valeurs élevées observées entre 1986 et 1990 correspondent à des périodes de forte productivité végétale liées à de meilleures conditions climatiques (pluviométrie favorable et pression anthropique limitée), tandis que la diminution après 2000 reflète une dégradation marquée due aux pressions humaines croissantes et aux changements climatiques. Cette évolution parallèle du NDVI et de l'EVI démontre une cohérence dans la tendance générale de perte de biomasse végétale et de déstructuration écologique du paysage.

Par ailleurs, l'analyse de la matrice de corrélation entre les variables climatiques et les indices de végétation met en lumière les interactions complexes entre climat et dynamique du couvert végétal. Les corrélations négatives observées entre le NDVI/EVI et les paramètres de température (Tmax, LST) ou d'évapotranspiration (ETP, ETR) indiquent que l'augmentation des températures et la sécheresse influencent négativement la vitalité de la végétation. De même, la forte corrélation entre la température de surface (LST) et les températures maximales confirme que la perte du couvert végétal contribue au réchauffement local, accentuant le processus de dégradation. Ces résultats confirment le rôle combiné des pressions anthropiques et des facteurs climatiques dans la détérioration progressive du couvert végétal de Kabéla.
Dans l'ensemble, les analyses convergent vers un même diagnostic : la forêt classée de Kabéla subit depuis près de quarante ans une dégradation continue et systématique de ses ressources végétales, traduisant à une perte de biodiversité, une fragilisation des sols et une altération des fonctions écologiques essentielles. Si cette tendance n'est pas inversée, la forêt risque de perdre définitivement sa capacité de régénération naturelle et son rôle de régulateur hydrologique et climatique dans la région.

Ces résultats soulignent avec force la nécessité d'une gestion durable, participative et intégrée des ressources naturelles de la forêt classée de Kabéla. La combinaison des outils de la télédétection et des analyses climatiques constitue un appui scientifique essentiel pour la mise en place de stratégies de restauration écologique, de reboisement ciblé et de suivi spatio-temporel du couvert végétal, en vue d'assurer la préservation durable des écosystèmes forestiers et du bien-être des communautés locales

Les résultats de cette étude peuvent faire appel aux recommandations suivantes :
(i) Renforcer la surveillance environnementale en mettant en place un système de suivi régulier du couvert végétal à l'aide de la télédétection complété par des enquêtes de terrains afin de détecter rapidement les changements intervenus.
(ii) Sensibiliser et impliquer des communautés locales dans la gestion participative de la forêt classée à travers des programmes de sensibilisation sur l'importance de la conservation et des alternatives durables à l'exploitation des ressources naturelles.
(iii) Renforcer le cadre institutionnel et juridique appliquant rigoureusement les textes réglementaires relatifs à la protection des aires classées et les capacités des institutions en charge de leur gestion.
(iv) Promouvoir la reforestation et la restauration écologique en initiant des campagnes de reboisement avec des espèces locales adaptées, en ciblant prioritairement les zones fortement dégradées, tout en développant des mécanismes incitatifs pour les communautés.
(v) Développer des alternatives économiques durables en encourageant les activités génératrices de revenus comme l'agroforesterie, l'apiculture ou l'écotourisme, afin de réduire la dépendance des populations vis-à-vis des ressources forestières.

Références

Abdelhak R. & Nour El Islam B., 2014. Analyse spatio-temporelle de l'indice de végétation NDVI calculé à partir des images satellites NOAA et MSG. *Revue des Energies Rennouvelables*, 17(3), 497-506.

Agbanou Bidossèssi T., 2018. *Dynamique de l'occupation du sol dans le secteur Natitingou-Boukombé (Nord-Ouest Bénin) : De l'analyse diachronique à une modélisation prospective*. Thèse à l'Université Toulouse-Jean Jaurès, France, 271 p.

Arfou Saley Baouna S., 2023. *Etude des strategies de mise en oeuvre effectiive de la CITES dans le Biome du Niger : cas de la Reserve de Biosphere de Gadabedji*. Mastere en Gestion et cConservation d'especes faisant l'objet de commerce, Universidad Internacional de Andalucía, Niger, 83 p.

Atsu K., Dogbeda H., Kossi A., Kossi S., Katché Komlanvi A. & Kouami K., 2024. Dynamique spatio-temporelle du couvert forestier dans le bassin de Kara au Nord Togo, Afrique de l'Ouest. *ESJ Natural/Life/Medical Sciences*, 20(33), 137-161. https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n33p137.

Barage M., Garba A., Moussa B. & Comby J., 2018. Dynamique spatiotemporelle d'occupation du sol dans la Réserve Totale de Faune de Tamou dans un contexte de la variabilité climatique (Sud-Ouest du Niger). *Int. J. Biol. Chimie. Sci*., 12(4), 1667-1687.

Barry A., Camara I. & Bah I., 2021. Dynamique du couvert forestier et pression anthropique dans les forêts classées de Guinée. *Revue Africaine de Géographie et l'environnement*, 1(22), 33–49.

Bimare K., Marra D., Folega F. & Wouvo A., 2022. Modélisation spatiale multifactorielle de la vulnérabilité des unités d'occupation du sol face au changement climatique dans la Région Centrale au Togo. *Rev Écosystèmes et Paysages*, Togo, 2(2), 34-52.

Boubacar S., Julien A., El hadji Balla D. & Aruna M. J., 2022. Dynamiques Contrastées de reverdissement et dégradation de la Couverture Végétale au Sénégal révélées par analyse de série temporelle du NDVI MODIS. *Revue Vertigo*, 22-1, 14 p. https://doi.org/100.4000/vertigo

Corgne S., 2014. *Etude des changements d'occupation et d'usage des sols en contexte agricole par Télédétection et fusion d'informations*. Thèse de doctorat, Université Renne 2, Faculté des Sciences Humaines et Sociales, France, 37 p.

Diallo H., Bamba Y. S., Barima Yao Sadaiou S., Visser M., Ballo A., Mama A., Vranken I., Maiga M. & Bogaert J. 2020. Effets combines 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 (2), 22-97.

Effoe S., 2020. Étude ethnobotanique des plantes alimentaires utilisées en médecine traditionnelle dans la région Maritime de Lomé. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 14(8), 2837-2853. DOI: 10.4314/ijbcs.v14i8.15

Global Forest Watch, 2023. *Explication des données du Global Forest Watch sur la perte du couvert arboré en Afrique en 2023*. Rapport, 10 p.

Guimbo D., 2024. Etudes préliminaires sur l'utilisation alimentaire des plantes spontanées dans les zones périphériques du parc W du Niger. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 6(6), 4007-4017. DOI: 10.4314/ijbcs.v6i6.12.

Hansen M C., Peter Patapov Moore R. & Hancher M., 2020. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Sciences*, 342(6160), 850-853 . DOI: 10.1126/science.1244693

Jose Elvire Djiongo Boukeng, 2021. Dynamique et services des écosystèmes agro forestiers autour d'une aire protégée du Cameroun Thèse de Doctorat P 39. Disponible en ligne : https://dam.oclc.bac.lac.gc.ca [dernier accès 12 février 2021 à 11h 45]

Kokou K., Atato A., Bellefontaine R., Kokutse Adzn D. & Caballa G., 2022. Diversité des forêts denses sèches du Togo Afrique de l'Ouest. *Rev. Écol. (Terre Vie)*, 61, 225-246.

Koukou E., Hounkpatin Waliou A., Sognibe N., Sounouke Comlan V. P., Bouzitou G. N. & Termote C., 2022. Local knowledge of agricultural biodiversity and food uses of edible plant species in two agroecological zones of southern Benin. *Ethnobotany Research and Applications*, 23-39, 1-22. DOI : 10.32859/era.23.39.1-22

Mamadou Saïdou D., Ibrahima S., Boubacar Séré D. & Idrissa D., 2020. *Etude de la dynamique du couvert végétal par télédétection en relation avec la pluviométrie en Moyenne Guinée de 1998 à 2013*, 12 p.

Montfort F., 2021. *Dynamiques des paysages forestiers au Mozambique : Étude de l'écologie du Miombo pour contribuer aux stratégies de restauration des terres dégradées*. Thèse de Doctorat, Spécialité Sciences de l'Environnement, 189 p.

Oreste T., OLOUKOI J. & Inoussa T., 2019. Dynamique spatiale et structure du paysage dans la commune de Zè, Bénin. *Conférence OSFACO : Des images satellites pour la gestion durable desterritoires en Afrique, 13-15 Mar 2019, Cotonou, Bénin*, 26 p.

Raogo Noël G., 2020. Dynamique du couvert végétal et implications socio-environnementales à la périphérie du parc w/Burkina Faso. *VertigO, revue électronique en sciences de l'environnement*, 18(1).

RGPH, 2014. Recensement Général de la Population et de l'Habitat, Résultats globaux. Secrétariat Technique Permanent du Comité Technique du RGPH, 2014 P. 14 Disponible en ligne : https://www.stat-guinee.org [dernier accès février 2014]

Sall A., 2022. *Plantes utilisées pour la protection des cultures et des récoltes dans la région de Kédougou : étude ethnobotanique et évaluation de leurs activités antifongiques*, 140 p. Traoré L., 2011. Perceptions, usages et vulnérabilité des ressources végétales ligneuses dans le Sud-Ouest du Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 5(1), 258-278. DOI: 10.4314/ijbcs.v5i1.68103

Sansilvestri R., 2015. *Evaluation de la capacité adaptative des socio-écosystèmes forestiers français face*

au changement climatique : le cas de la migration assistée. Thèse de doctorat de l'Université Paris-Saclay, 203 p.

Siradji Abdoulaye A., 2022. *Analyse spatiale des écosystèmes de la zone de transition entre le Parc National W du Niger, la Réserve Totale de Faune de Tamou et la Réserve Partielle de Faune de Dosso (Sud-Ouest du Niger)*. Mémoire Master à l'Université de Niamey, 83 p. https://www.memoireonline.com

Yaovi C., 2021. Utilisation et vulnérabilité des espèces végétales et stratégies d'adaptation des populations riveraines de la Forêt Classée du Kou (Burkina Faso). *International-Journal-of-Biological-and-Chemical-Sciences*, 15(3),1140-1157.