Revue Africaine d'Environnement et d'Agriculture
http://www.rafea-congo.com
2025 ; 8(3), 134-150
ISSN (Print) : 2708-7743 **eISSN** : 2708-5422 **Dépôt légal** : JL 3.01807-57259

Dynamique de dégradation spatiotemporelle des écosystèmes du littoral atlantique congolais (RDC) par l'occupation des sols dans le secteur de Banana-Kabinda entre 1988 et 2023

Arsène Mukanu Kasiala*, Félicien Miti Tseta*, Delphin Mwadi Shala

Université de Kinshasa. Faculté des Sciences et Technologie. Département des Géosciences. Laboratoire de Géomorphologie, Télédétection et SIG. BP 190 Kinshasa XI (RDC). E-mail : mkarsene@gmail.com; felicien.miti@unikin.ac.cd
Reçu le 07 août 2025, **accepté** le 24 septembre 2025, **publié en ligne** le 27 septembre 2025
DOI : https://dx.doi.org/10.4314/rafea.v8i3.14

RESUME

Description du sujet. Le littoral congolais, long de seulement 42 kilomètres, constitue une interface écologique sensible entre la terre et l'océan Atlantique. Il abrite des écosystèmes fragiles tels que les mangroves, les forêts et les savanes, aujourd'hui menacés par l'occupation croissante des sols, la pression démographique et l'érosion côtière.
Objectifs. La présente étude vise à évaluer l'impact des activités socioéconomiques menées sur les écosystèmes littoraux de la RDC et à analyser l'évolution des paysages et des écosystèmes côtiers entre 1988 et 2023.
Méthodes. L'étude s'appuie sur l'analyse d'images satellitaires issues des capteurs Landsat (TM, ETM+ et OLI) et de Google Earth, traitées par la classification supervisée (algorithme de type « Maximum de Vraisemblance ») sous ArcGIS Desktop 10.8 et comparées diachroniquement sur la période 1988-2023 afin de détecter les dynamiques spatio-temporelles et les changements des paysages.
Résultats. Les résultats révèlent une transformation progressive du littoral : régression des formations végétales naturelles (mangroves, savanes et forêts humides) et expansion rapide des zones anthropisées et dégradées (sols nus, habitats et cultures). La zone anthropique a connu une augmentation de près de 3720 ha, soit +20 %, avec une accélération marquée entre 2000 et 2010 (+2745 ha).
Conclusion. Cette dynamique résulte en grande partie de l'anthropisation exercée par les populations locales et migrantes, notamment via l'expansion des espaces bâtis et agricoles. Ces transformations traduisent une dégradation progressive des écosystèmes littoraux, soulignant l'urgence d'instaurer des stratégies de gestion durable, de restauration écologique et de gouvernance territoriale intégrée.

Mots-clés : Occupation des sols, images Landsat, littoral, détection de changement, Muanda/RDC

ABSTRACT

Spatiotemporal Dynamics of Coastal Ecosystems Degradation along the Congolese (DRC) Atlantic Shoreline under Land-Use Change in the Banana-Kabinda Sector Between 1988 and 2023
Description of the subject. The Congolese coastline, stretching only 42 kilometers, forms a sensitive ecological interface between land and the Atlantic Ocean. It hosts fragile ecosystems such as mangroves, manatees, and sea turtles, which are increasingly threatened by land occupation, demographic pressure and costal erosion.
Objectives. This study evaluate the impacts of socio-economic activities on the caostal ecosystems of the DRC and analyzes the spatiotemporal changes in caostal landscapes and ecosystems from 1988 to 2023.
Methods. This article is based on Using Landsat and Google Earth satellite imagery processed through supervised classification in ArcGIS Desktop 10.8.
Results. The results reveal a gradual transformation of the coastline: regression of natural vegetation formations (mangrove, savanna, humid forests) and rapid expansion of anthropized and degraded areas (bare soil, settlements, crops). The anthropic zone class increased by nearly 3720 hectares, (+20%), with a marked acceleration between 2000 and 2010 (+2745 ha).
Conclusion. This dynamic is largely attributed to anthropization by local and migrant populations, through the expansion of built-up and agricultural areas. These changes reflect a continuous degradation of coastal ecosystems, highlighting the urgent need to implement sustainable management strategies, ecological restoration, and integrated territorial governance.

Keywords: Land use, Landsat imagery, Coastline, Change detection, Muanda/DRC

1. INTRODUCTION

Le littoral atlantique congolais (RDC) revêt une importance stratégique majeure. Cette étroite bande côtière constitue un espace vital pour les populations locales, un réservoir d'écosystèmes riches (mangroves, plages sableuses, forêts et savanes), et une refuge d'espèces menacées telles que les lamantins et les tortues marines.

Depuis la fin des années 1980, ces écosystèmes sont soumis, comme ailleurs (Awosika *et al*., 1995; Appeaning Addo, 2011), à une double pression : l'érosion côtière naturelle, amplifiée par le changement climatique, la montée du niveau de la mer, et l'anthropisation croissante, marquée par l'urbanisation désorganisée, l'exploitation intensive des ressources naturelles et le développement d'infrastructures portuaires et urbaines. L'impact de ces actions est déjà perceptible et réel : le lttoral recule de 1 à 4 mètres chaque année et les infrastructures urbaines, particulièrement celles touristiques situées à proximité du rivage (ex. hôtels) sont progressivement détruites (Makanzu, 2022 ; Mukanu *et al*., 2025).

L'érosion côtière est un phénomène naturel qui sévit sur le continent africain, particulièrement dans les pays littoraux riverains du golfe de Guinée, où le recul du trait de côte atteint parfois 5 à 10 mètres par an (UNEP, 2016). Les études menées au Sénégal, en Côte d'Ivoire, au Bénin et au Togo ont montré que les dynamiques érosives sont fortement influencées par la construction de barrages en amont, l'extraction de sable, et la destruction des écosystèmes protecteurs comme les mangroves (WACA *et al.,* 2020). Dans le cas de la RDC, peu de recherches ont été publiées sur l'érosion côtière (Mukanu *et al*., 2025), mais des signaux d'alerte ont été lancés depuis les années 1990. Des chercheurs comme Makanzu (2022) a signalé les risques de recul inquiétant du trait de côte à Muanda et dans la plaine côtière du Kongo central, pointant l'effet combiné du changement climatique et des interventions humaines non maîtrisées. L'érosion emporte les sédiments côtiers tandis que l'anthropisation compacte et imperméabilise les sols. Ensemble, ces processus altèrent la dynamique sédimentaire, favorisent l'ensablement des lagunes et provoquent une instabilité morphologique du rivage.

L'anthropisation du littoral a fait l'objet de nombreuses analyses dans les zones fortement peuplées comme les côtes du Nigeria ou du Ghana. Les travaux de Awosika *et al.* (1995) et de Appeaning Addo (2011) ont mis en évidence l'impact des activités industrielles, des infrastructures côtières (routes, ports, quais) et de l'urbanisation informelle sur la déstabilisation des écosystèmes côtiers. Dans le contexte congolais, l'extension urbaine autour de Muanda, les installations pétrolières de la Perenco, ainsi que l'exploitation du sable marin sont régulièrement pointées comme des facteurs d'amplification de la dégradation environnementale (WWF, 2018).

Les écosystèmes côtiers comme les mangroves, les dunes ou les lagunes ont fait l'objet de nombreuses études axées sur leur rôle dans la régulation écologique et leur capacité de résilience. Dans le Bassin du Congo, des travaux pionniers de Paugy *et al.* (2006) ont montré l'importance des mangroves pour la reproduction des espèces halieutiques et la protection contre la houle. Les mangroves, les savanes côtières et les zones humides sont détruites à la fois par l'érosion (ensablement, salinisation) et par les activités humaines (urbanisation, coupe de bois, agriculture). Cela entraîne une perte de la biodiversité, une diminution des stocks halieutiques et la disparition d'habitats naturels de certaines espèces.

Les effets combinés de l'érosion côtière et de l'anthropisation (transformation de la nature par les activités humaines) sont particulièrement destructeurs pour les littoraux (AFD et CIRAD, 2021 ; Greenpeace Afrique, 2023), surtout dans les régions fragiles comme le littoral congolais. La dégradation du littoral entraîne la perte des services rendus par les écosystèmes côtiers : protection côtière naturelle, épuration de l'eau, ressources alimentaires (pêche), bois de chauffe et valeur culturelle ou touristique. Les zones anthropisées perdent leurs barrières naturelles de protection. Cela expose les populations aux inondations marines, submersions lors des marées hautes ou tempêtes, et glissements de terrain côtiers. La raréfaction des terres disponibles provoque une pression foncière accrue, des conflits entre les usages agricoles, résidentiels et industriels, et l'occupation de zones à risque. En résumé : L'érosion détruit physiquement le littoral, l'anthropisation affaiblit les défenses naturelles et accentue les pressions. Leur combinaison provoque une vulnérabilité écologique, économique et sociale croissante.

D'après les observations récentes, le littoral congolais est déjà en proie à une érosion marine progressive (1 à 5 m/an), provoquant la destruction d'infrastructures portuaires à Banana et urbaines à Muanda (Makanzu, 2022 ; Mukanu *et al*., 2025) et menaçant les écosystèmes côtiers tels que la mangrove, sa forêt (Lumbuenamo *et al*., 2025a; Lumbuenamo *et al.*, 2025b)) et sans doute sa faune.

La présente étude vise à évaluer l'impact des activités socioéconomiques sur les écosystèmes littoraux de la côte atlantique de la RDC. Elle

s'appuie sur l'analyse d'images satellitaires issues des capteurs Landsat (TM, ETM+ et OLI) et de Google Earth, traitées par classification supervisée (algorithme du Maximum de Vraisemblance), et comparées diachroniquement sur la période 1988–2023 afin de détecter les dynamiques spatio-temporelles et les changements paysagers. Ces dynamiques accentuent la vulnérabilité des écosystèmes et des populations locales et soulignent l'urgence de stratégies de gestion intégrée du littoral pour préserver les milieux, amortir les impacts et renforcer la résilience.

Cette étude met en lumière la nécessité de restaurer les écosystèmes naturels pour atténuer l'érosion côtière, favoriser la résilience climatique et améliorer les conditions de vie des communautés dans les zones littorales fragiles.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Zone d'étude

La zone d'étude correspond au littoral atlantique de la République Démocratique du Congo (RDC), localisé dans la province du Kongo-Central, plus précisément dans le territoire de Muanda (Figure1). Bien que le pays dispose d'un vaste territoire continental, son ouverture sur l'océan Atlantique est limitée à une bande littorale d'environ 42 km de linéaire côtier et une largeur variant entre 20 et 40 km. Cette étroite façade maritime confère au littoral congolais une importance géostratégique, économique et écologique considérable. Bordant le plateau continental d'une superficie de 800 à 1100 km², incluant aussi 50 km d'eaux saumâtres en amont de l'estuaire du fleuve Congo, le littoral congolais est un espace côtier soumis aux effets des marées atlantiques. Son aire (4400 km²) s'étend entre 12°8'–13°10' de longitude Est et 5°52'–6°12' de latitude Sud, dans le district administratif du Bas-Fleuve. Elle est délimitée au nord-ouest par l'enclave de Cabinda (Angola), au nord-est par le district des Cataractes et au sud-ouest par l'Angola (MECN-EF, 2001).

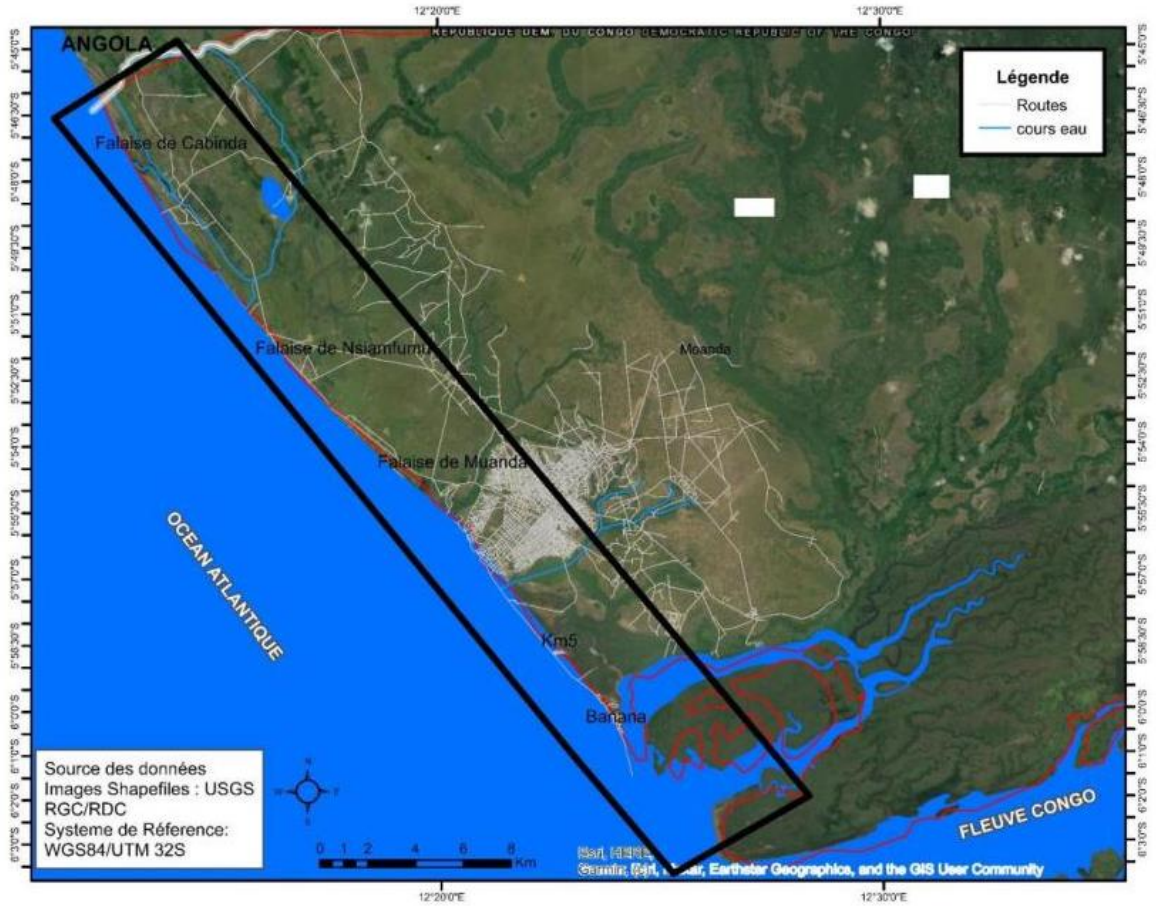

Figure 1. Zone d'étude sur le littoral atlantique Congolais (RDC)

2.2. Logiciels et images satellitaires

Des outils informatiques et des images satellitaires ont été utilisés pour l'analyse et l'acquisition des données nécessaires à l'étude.

Des logiciels ArcGIS10.8, Envi 5, Google Earth pro et Microsoft Excel 2019 ont servi aux diverses opérations (élaboration des graphiques, classification de l'occupation du sol, calcul des superficies, traitement et dépouillement des fiches d'enquêtes, prétraitement et correction des images Landsat, validation des classes des sols et calculs statistiques de taux de changement à partir d'une série chronologique d'images landsat).

Six (6) images satellitaires Landsat de 1988, 2000, 2010, 2015, 2020 et 2023, complétées et validées par une image Ikonos 2023 (Tableau 1) ont été acquises pour l'étude de l'évolution des paysages par télédétection.

Tableau 1. Caractéristiques des données satellitaires utilisées

Satellite	Série	Capteur	Date d'acquisition	Résolution spatiale
Landsat	L04	TM	03-05-1988	90 m
Landsat	L07	ETM	04-05-2000	30 m
Landsat	L09	ETM	04-05-2010	30 m
Landsat	L08	OLI_TIRS	04-04-2015	30 m
Landsat	L08	OLI_TIRS	03-05-2020	30 m
Landsat	L09	OLI_TIRS	23-07-2023	30 m
Ikonos	2023	IKONOS	03-02-2023	1m

Source : http://www.earthexplorer.gov , http://cfconventions.org/

2.3. Approches méthodologiques

Enquêtes et entretiens individuels ou en « focus group »

La dégradation environnementale du littoral congolais entre Banana et Kabinda, observée sur la période 1988–2023, étant étroitement liée à l'occupation des sols et à l'expansion urbaine, une dimension humaine a été intégrée à l'étude. En complément des observations de terrain, des entretiens ont été réalisés auprès des populations locales pour mieux comprendre les causes et les perceptions du délabrement écologique.

Des entretiens individuels et en « focus group » ont été menés dans huit sites ciblés. Les échanges ont impliqué des acteurs institutionnels (administration, ONG, responsables d'infrastructures) ainsi que des habitants âgés de 40 à 60 ans, considérés comme témoins des transformations du littoral. Ces discussions ont permis d'identifier les origines et les facteurs de la dégradation, tout en intégrant les savoirs communautaires et les expériences vécues.

Parallèlement, une enquête par questionnaire a été conduite dans quatre sites : Banana, Km5, Muanda village et Nsiamfumu. Elle portait sur la perception de la dégradation côtière et sur les stratégies d'adaptation envisagées par les communautés. En se basant sur les 820 ménages recensés en 2018 (Rapport Territoire de Muanda, 2023), un échantillon de 205 ménages a été réparti proportionnellement entre les sites, selon une formule de répartition relative (Tableau 2).

Tableau 2. Nombre de ménages enquêtés dans quelques localités le long du littoral

Site	Nombre de ménages	Nombre de ménages interrogés	Pourcentage
Banana	70	(17,5) 18	9
Km5	200	50	24
Muanda village	210	(52,5) 53	26
Nsiamfumu	340	85	41
Total	820	205	100

Analyse des images satellitaires par télédétection

Prétraitement et correction géométrique des images satellites

Les images satellites n'ont pas les mêmes résolutions spatiales. Elles sont enregistrées à différentes dates et par différents capteurs. D'où un prétraitement et des corrections géométriques s'imposent pour les rendre compatibles et superposables.

Analyse des images pour la détection de l'occupation ds sols

Une fois les images corrigées, on a procédé par la méthode de classification supervisée pour aboutir à l'analyse. Les images corrigées ont été analysées à l'aide du logiciel ArcGIS Desktop 10.8 (extension DSAS v5.0), en vue

d'évaluer l'occupation des sols et la dégradation conséquente des écosystèmes littoraux. Ces opérations s'effectuent en plusieurs procédures :
(i) La création des compositions colorées par la superposition de trois bandes spectrales sur les trois niveaux de couleurs primaires (le rouge, le vert et le bleu) ;
(ii) Le regroupement des pixels spectralement similaires en classes selon le « Maximum de Vraisemblance ou Maximum Likelihood » (Dieye, 2007) ;
(iii) L'évaluation de la précision de classification par deux indices de validation : la précision globale (proportion de pixels bien classés, calculé en pourcentage) et l'indice Kappa (rapport entre les pixels bien classés et le total des pixels sondés) (Skupinski *et al.*, 2009) , à travers une matrice de confusion (Foody, 2002);
(iv) L'identification des zones d'entraînement représentatives de chaque classe d'occupation de sols ;
(v) La validation des résultats de la classification de l'occupation des sols par l'analyse de changement en fonction du coefficient de Kappa et « la vérité du terrain » ;
(vi) La détection de changement : la relation entre l'état d'une même classe à deux dates différentes permet d'extraire les zones de « stabilité », de « régression » et de « progression » (Noyola *et al*., 2009).
Soit S_1, la superficie occupée par les classes d'occupation du sol à la date t_1 et S_2, la surface de ces mêmes classes à la date t_2. Le taux de changement des superficies des classes d'occupation du sol entre les deux dates t_1 et t_2 est déterminé par la formule Ts=S2-S1 1. Ts>0 représente une progression de la superficie de la classe pendant la période analysée tandis que Ts<0 indique la perte de surface d'une classe entre les deux dates. Le Ts nul exprime l'absence de changements de la classe entre les deux périodes.

Analyse statistique

L'estimation de la qualité de la classification a été faite par le biais de la matrice de confusion (Godard, 2005). À partir de la matrice, la qualité de l'utilisateur ou le taux de pixels bien classés de la classe i ($P_u(i)$) a été déterminée avec l'équation (1) :

Pu ou Ppi=Mc(i)/m1×100 (1)

Où Mc(i) est le nombre de points de la classe i ayant effectivement été affectés à celle-ci après classification et m1 la somme des points de la classe i dans l'image (Congalton, 1991).

Une valeur élevée de Pp(i) indique que la classe a été peu affectée par les échantillons des autres classes. Par contre, un taux faible indique que cette classe a souvent été confondue à d'autres classes d'occupation du sol. La précision globale de la classification a été donnée par la moyenne des pourcentages des points correctement classés (MPCC, équation 2) :
Pg=1ni=1nPui ou Ppi×100 (2) **n** étant le nombre total de pixels inclus dans la matrice.
EdfPu=Mc(i')i=1nPui ou Ppi×100 (3)

Où $M_c(i')$ indique le nombre total de pixels de la classe i ayant effectivement été mal classé. Au dénominateur, nous avons le Total des pixels de classe dans l'image. Cette erreur est calculée par rapport à l'horizontalité d'une matrice.

EexPp=Mc(i")i=1nPui ou Ppi×100 (4)

Où $M_c(i'')$, c'est aussi la somme de points de la classe i ayant effectivement été mal classés. Et celle-ci se calcule par rapport à la verticalité d'une matrice.

Le coefficient de Kappa (K, équation 5) donne une estimation plus précise de la qualité de la classification (Congalton, 1991) :
K=Pobs-Pa1-Pobs (5)
Où K : Coefficient de Kappa ;
P_{obs} : Proportion observée (somme des effectifs diagonaux divisée par le total général de points);
P_a : Proportion aléatoire (somme de produits des effectifs marginaux divisée par le carré du total général des points) ;

Le tableau 3 marque les plages de l'indice Kappa, qui facilitent l'interprétation et la précision des résultats de classification (McHugh, 2012).

Tableau 3. Plage de variation de l'estimateur Kappa

Accord	**Kappa**
Désaccord	< 0
Accord très faible	0,00 - 0,20

Accord faible	0,21 - 0,40
Accord modéré	0,41 - 0,60
Accord fort	0,61 - 0,80
Accord presque parfait	0,81 – 1,00

La figure 2 résume les étapes du processus de classification pour détecter les changements dans l'occupation des sols et des modifications des paysages à la suite des activités socioéconomiques et humaines.

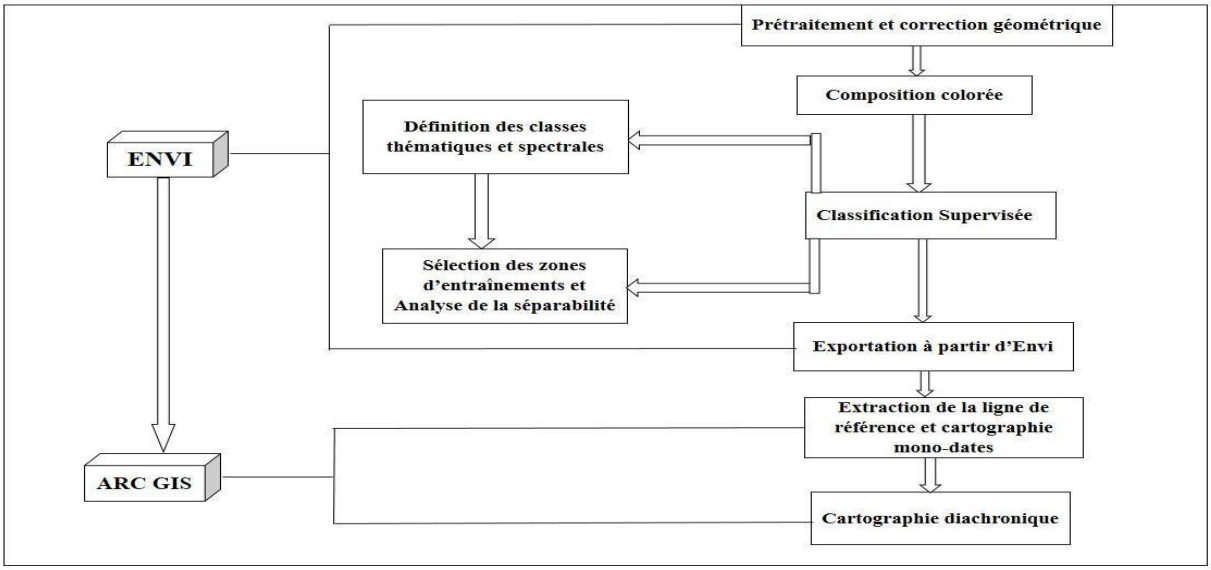

Figure 2. Schéma méthodologique de classification supervisée pour le suivi de l'évolution de l'occupation des sols

3. RÉSULTATS

3.1. Évolution des classes d'occupation des sols

Evolution des paysages liée à l'occupation de sols entre 1988 et 2000

Entre 1988 et 2000, l'analyse diachronique des images satellitaires (Figures 3 et 4) révèle une intensification des processus de dégradation humaine sur le littoral congolais. Les sols nus (savane brûlée) ont fortement progressé (+2723 ha), tout comme les zones anthropisées (+1710 ha), traduisant une pression foncière croissante liée à l'expansion agricole et urbaine. Les plans d'eau ont également augmenté (+6,3 %), suggérant des dynamiques hydromorphologiques nouvelles.

En parallèle, les unités naturelles subissent une régression marquée : la mangrove recule de 14,6 %, les zones boisées sur sol sec et humide perdent respectivement 2007 ha et 286 ha, et la savane herbeuse diminue de 18,6 %. Ces pertes traduisent une anthropisation accélérée et une altération des équilibres écologiques, souvent liée à la conversion des terres en zones agricoles ou dégradées.

Malgré cette tendance, une densification ponctuelle du couvert végétal est observée en 2000, attribuée aux efforts de lutte antiérosive menés par l'Institut Congolais pour la Conservation de la Nature (ICCN) et certaines ONG. Toutefois, la forte couverture nuageuse cette année-là (+13,5 %) aurait limité la lisibilité de certaines unités paysagères, constituant ainsi une contrainte méthodologique pour la classification.

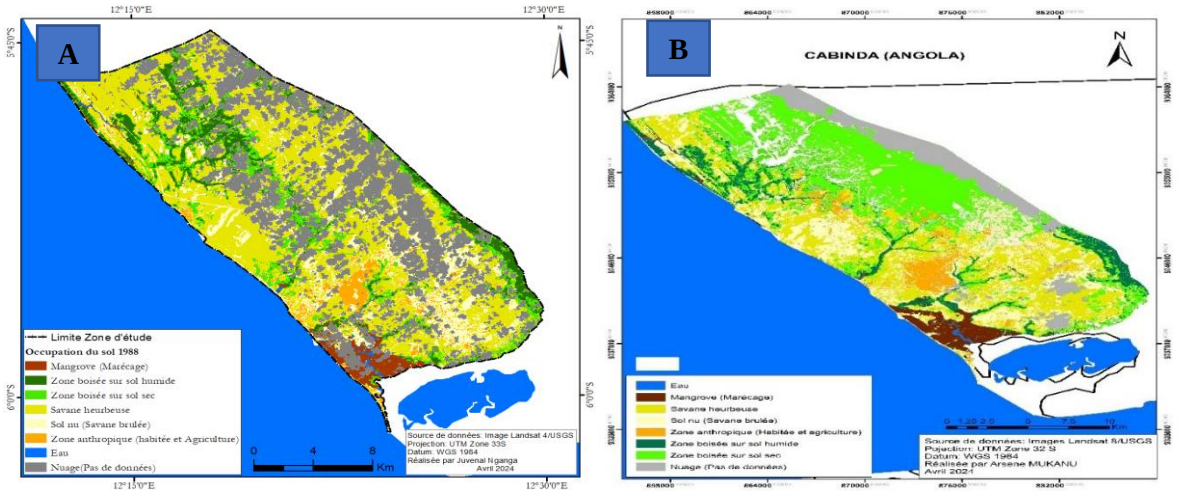

Figure 3. Occupation des sols entre 1988 (A) et 2000 (B)

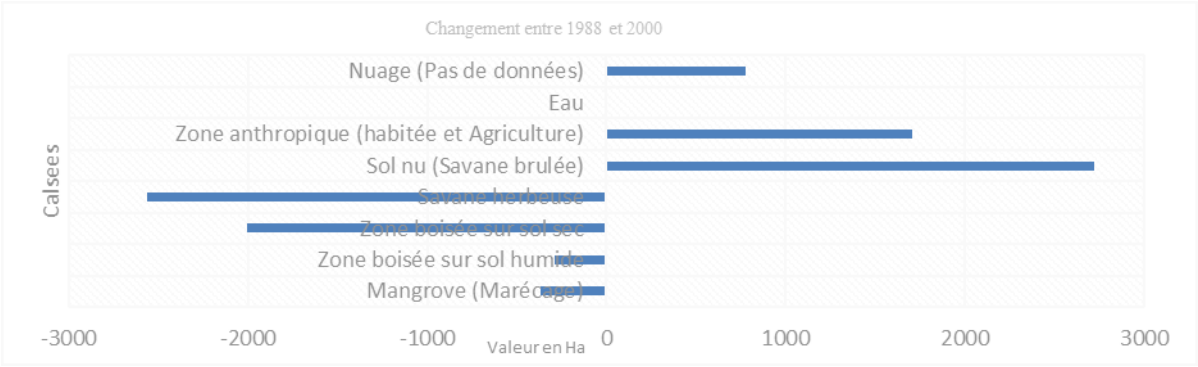

Figure 4. Changement de paysages lié à l'occupation des sols de 1988 à 2000

Des changements entre 1988 et 2000

Entre 1988 et 2000, l'analyse diachronique de l'occupation du sol met en évidence une pression croissante sur les écosystèmes littoraux, marquée par une forte augmentation des surfaces de sol nu (+45,7 %) et des zones anthropisées (+117,9 %). Cette intensification des usages humains (agriculture, urbanisation diffuse, défrichement) est étroitement liée à la croissance démographique, à la pression foncière et à une exploitation non durable des ressources naturelles.

La régression des mangroves (–14,6 %), de la savane herbeuse (–18,6 %) et des zones boisées sur sol sec (–22,6 %) et humide (–7,7 %) traduit une perte préoccupante de couverture végétale et une fragmentation des habitats. Malgré quelques signes de densification végétale en 2000, liés à des cultures herbacées ou à des reboisements ponctuels, ces efforts restent insuffisants pour restaurer les fonctions écologiques essentielles, notamment la régulation hydrique, la lutte contre l'érosion et la préservation de la biodiversité.

L'augmentation des surfaces en eau (+6,3 %) reflète des modifications hydromorphologiques ou des effets indirects de l'érosion, tandis que la hausse de la couverture nuageuse (+13,5 %) en 2000 a limité la précision des classifications.

3.2. Evolution des paysages liée à l'occupation des sols entre 2000 et 2010

Entre 2000 et 2010, l'analyse croisée des images satellitaires et des statistiques (Figures 5 et 6) révèle une transformation différenciée des paysages littoraux. La savane herbeuse connaît une légère régression (–214 ha), traduisant une relative stabilité malgré les pressions environnementales. En revanche, les zones boisées sur sol humide enregistrent une forte progression (+4275 ha), suggérant une régénération naturelle dans les secteurs anciennement dégradés.

Les zones boisées sur sol sec augmentent également (+1292 ha), probablement en lien avec des efforts de conservation ou des conditions climatiques favorables. Parallèlement, les zones anthropiques (habitat et agriculture) doublent presque (+2744 ha), illustrant une intensification des usages humains sur le littoral. Les plans d'eau progressent légèrement (+33 ha), probablement en raison d'inondations ou de modifications hydrologiques.

Ces évolutions traduisent une recomposition spatiale contrastée : d'un côté, des dynamiques de restauration végétale dans certains milieux ; de l'autre, une pression croissante liée à l'urbanisation et à l'expansion agricole. Ce double mouvement souligne la nécessité d'une gestion intégrée du littoral, conciliant conservation écologique et encadrement des usages anthropiques.

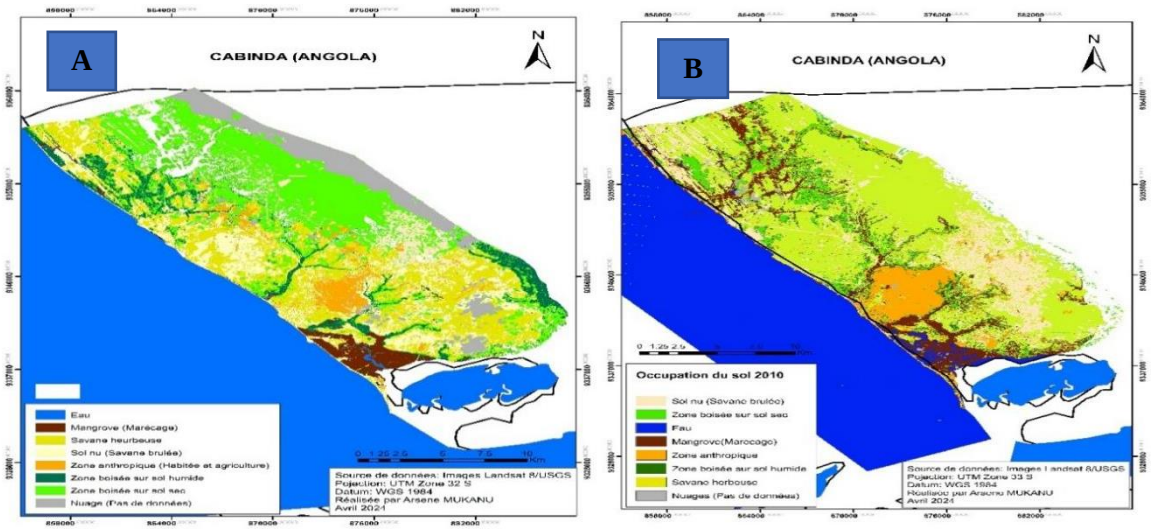

Figure 5. Occupation des sols entre 2000 (A) et 2010 (B)

La mangrove, en revanche, subit une diminution notable, passant de 2172 ha à 1395 ha. Ce recul est attribué à des facteurs d'anthropisation, l'exploitation des ressources et la salinisation des sols. Les sols nus ou savanes brûlées diminuent légèrement, passant de 8676 ha à 8518 ha, suggérant à une meilleure couverture végétale. Enfin, la classe des nuages, connaît une réduction, passant de 6523 ha à seulement 10 ha. Cette diminution traduit une nette amélioration des conditions de captation satellitaire permettant ainsi une lecture plus améliorée et des données plus fiables de la zone (Figure 6).

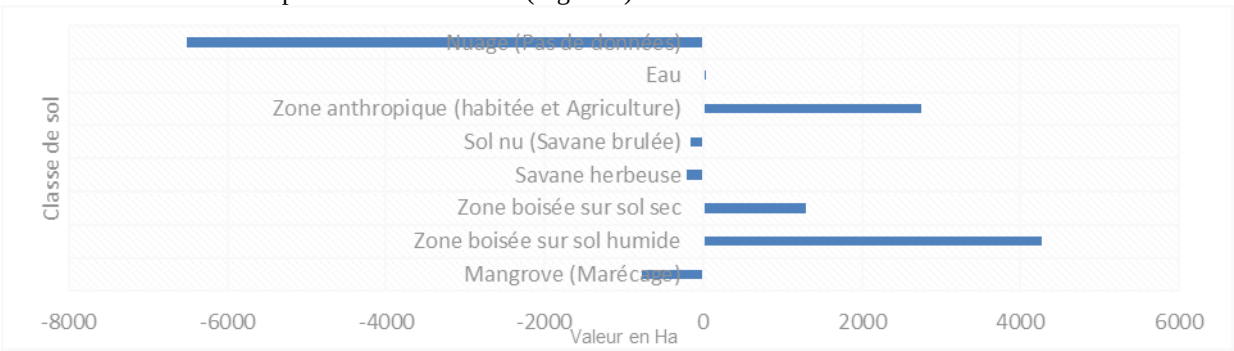

Figure 6. Changement de l'occupation des sols de 2000 à 2010

Dans l'ensemble, les résultats traduisent une dynamique de transition dans l'occupation des terres littorales entre 2000 et 2010. Cette transition se manifeste par une végétalisation partielle de certains espaces, notamment à travers l'expansion des savanes herbeuses et des zones boisées. Les zones anthropiques ont fortement augmenté, témoignant d'une intensification des usages humains. Parallèlement, on observe des pertes localisées des mangroves, révélant des pressions anthropiques sur ce milieux côtier.

Dynamiques paysagères entre 2000 et 2010

L'analyse diachronique de l'occupation du sol entre 2000 et 2010 révèle une recomposition marquée des paysages littoraux, portée par des dynamiques contrastées. La forte progression des zones boisées sur sol humide (+125 %) témoigne d'une revégétalisation significative, liée à des processus de régénération naturelle dans des espaces anciennement dégradés. Cette évolution est également influencée par une amélioration des capacités de classification satellitaire, notamment grâce à la réduction quasi totale de la couverture nuageuse (–99,8 %), permettant une lecture plus fine des couverts végétaux. À l'inverse, la savane herbeuse enregistre une légère régression (–1,9 %), suggérant une stabilité relative dans un contexte de transformation territoriale.

Parallèlement, la croissance des zones anthropisées (+86,8 %) reflète une intensification de l'occupation humaine, liée à l'expansion des activités agricoles et résidentielles, à l'absence de régulation foncière et à une pression accrue sur les ressources naturelles notamment la pêche. La régression marquée de la mangrove (–35,8 %) alerte sur la vulnérabilité de cet écosystème côtier, exposé aux perturbations anthropiques et climatiques. Bien que les zones boisées sur sol sec progressent légèrement (+18,9 %), cette tendance résulte d'une extension végétale dans les zones des dunes (arides). La diminution modeste des sols nus et savanes brûlées (–1,8 %) est due à un ralentissement des pratiques de brûlis ou leur déplacement hors du périmètre analysé.

Ces résultats traduisent une recomposition accélérée des paysages, marquée par une tension entre expansion anthropique et dynamique de revégétalisation. Ils soulignent une fois de plus, l'absence d'une gouvernance environnementale efficace et la nécessité urgente de politiques territoriales intégrées, conciliant développement humain et préservation des écosystèmes côtiers. Dans ce contexte, la mise en place de dispositifs de suivi écologique, de régulation foncière et de sensibilisation communautaire apparaît comme un levier stratégique pour renforcer la résilience du milieu face aux pressions croissantes.

Evolution de l'occupation des sols entre 2010 et 2015

Entre 2010 et 2015, les résultats de la télédétection (Figures 7 et 8) montrent une recomposition accélérée des paysages littoraux, marquée par une forte expansion des sols nus (+16,0 %) et des zones anthropisées (+30,5 %), traduisant une intensification des pratiques de défrichement, de l'agriculture sur brûlis et de l'urbanisation. Les plans d'eau enregistrent une légère hausse (+14,5 %), possiblement liée à des phénomènes hydrologiques ou à la montée des eaux, tandis que la densification des infrastructures humaines accentue la pression sur les espaces naturels.

En parallèle, les formations végétales subissent une régression préoccupante : la savane herbeuse (–14,6 %), la zone boisée sur sol sec (–27,5 %) et la mangrove (–14,7 %) sont particulièrement touchées par les coupes sélectives, la pression foncière et les perturbations climatiques. Seule la zone boisée sur sol humide progresse légèrement (+2,2 %), suggérant une dynamique de régénération localisée. Ces tendances confirment la vulnérabilité croissante des écosystèmes littoraux face aux transformations socio-environnementales.

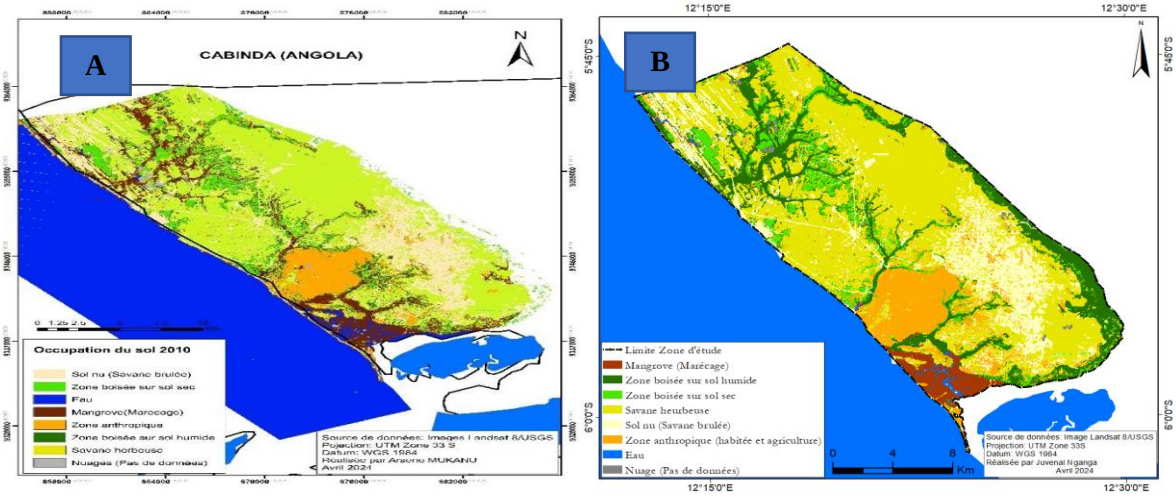

Figure 7. Occupation des sols entre 2010 (A) et 2015 (B)

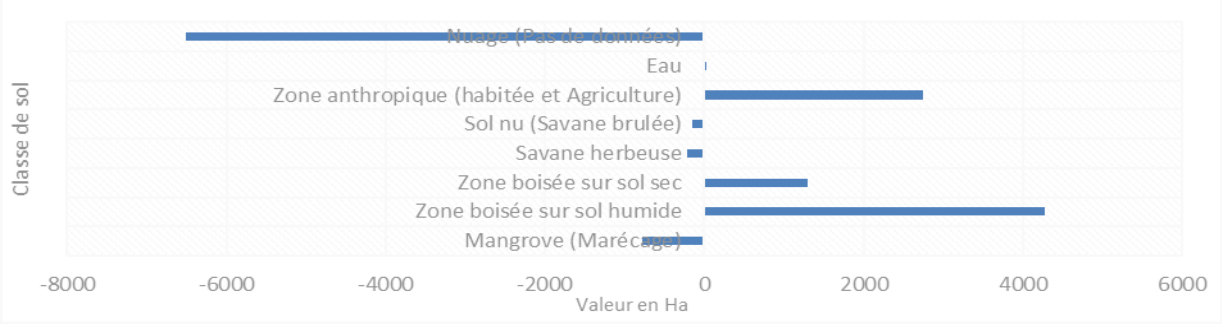

Figure 8. Changement de l'occupation des sols de 2010 à 2015

Ces dynamiques révèlent une anthropisation croissante des paysages littoraux, marquée par l'expansion des zones habitées, cultivées et défrichées. Elles traduisent également une recomposition écologique partielle, où la régénération de certains milieux humides contraste avec la régression notable des écosystèmes forestiers secs, de la savane herbeuse et de la mangrove. L'ensemble de ces évolutions souligne l'impact accru des activités humaines sur les équilibres territoriaux et écologiques.

Evolution des paysages entre 2010 et 2015

Entre 2010 et 2015, l'analyse diachronique des paysages littoraux révèle une intensification de l'occupation des sols et une anthropisation croissante, accompagnées d'une recomposition écologique partielle. Les zones anthropisées progressent fortement (+30,5 %), tout comme les sols nus et savanes brûlées (+16,0 %), tandis que les plans d'eau augmentent légèrement (+14,5 %), possiblement en lien avec la montée des eaux. Ces évolutions traduisent une pression accrue sur les ressources foncières, alimentée par la croissance démographique et l'expansion des activités agricoles et urbaines.

Cette dynamique entraîne une fragmentation du couvert végétal et une perte de connectivité écologique. Les écosystèmes naturels subissent une régression notable : la savane herbeuse diminue de 14,6 %, les zones boisées sur sol sec reculent de 27,5 %, et la mangrove perd 14,7 % de sa superficie. Seule la zone boisée sur sol humide montre une légère progression (+2,2 %), suggérant une régénération végétale localisée. L'urbanisation, bien que ponctuelle, accentue l'artificialisation des milieux, notamment par l'imperméabilisation des sols et l'extension des infrastructures.

Face à ces pressions, des initiatives de reboisement et de gestion durable des terres ont été lancées dès 2012, notamment à Banana et Nsiamfumu, avec l'introduction d'espèces fixatrices comme le vétiver et le bambou. Bien que les résultats soient encourageants, la période 2010–2015 illustre une tension entre dégradation accélérée et efforts de restauration encore limités. Ces mutations appellent à des stratégies paysagères plus cohérentes, articulant préservation écologique et reboisement ciblé.

Evolution de l'occupation des sols entre 2015 et 2020

Entre 2015 et 2020, l'analyse de l'occupation des sols (Figures 9 et 10) révèle une régression marquée des principales formations végétales : la mangrove (–10,17 %), les zones boisées sur sol humide (–3,0 %) et sur sol sec (–17,6 %), ainsi que les sols nus ou savanes brûlées (–10,5 %). Les surfaces en eau enregistrent également une légère baisse (–1,2 %), traduisant une pression croissante sur les milieux naturels dans un contexte de transformation accélérée.

Ces évolutions sont liées à des facteurs anthropiques tels que l'expansion agricole, l'urbanisation et l'exploitation des ressources, mais aussi à des aléas climatiques comme les sécheresses, les inondations et l'élévation du niveau marin. La perte de résilience des écosystèmes forestiers et humides s'en trouve accentuée, notamment dans les zones sensibles comme les mangroves. L'amélioration des méthodes de classification satellitaire durant cette période a permis une requalification plus fine des classes, renforçant la précision des observations.

En parallèle, la savane herbeuse progresse (+17,0 %) et les zones anthropiques augmentent fortement (+28,3 %), illustrant une recomposition des paysages sous l'effet combiné des dynamiques socio-économiques et écologiques. Bien que la période soit courte, elle s'inscrit dans une trajectoire de transformation amorcée bien avant 2015, confirmant la nécessité d'une gestion intégrée et durable du littoral congolais.

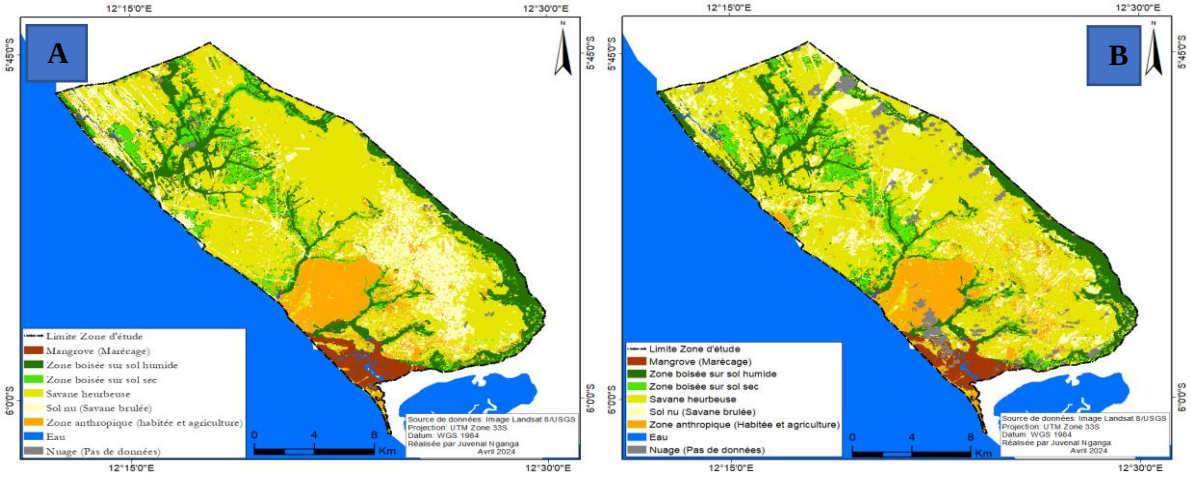

Figure 9. Occupation des sols de 2015 (A) et 2020 (B)

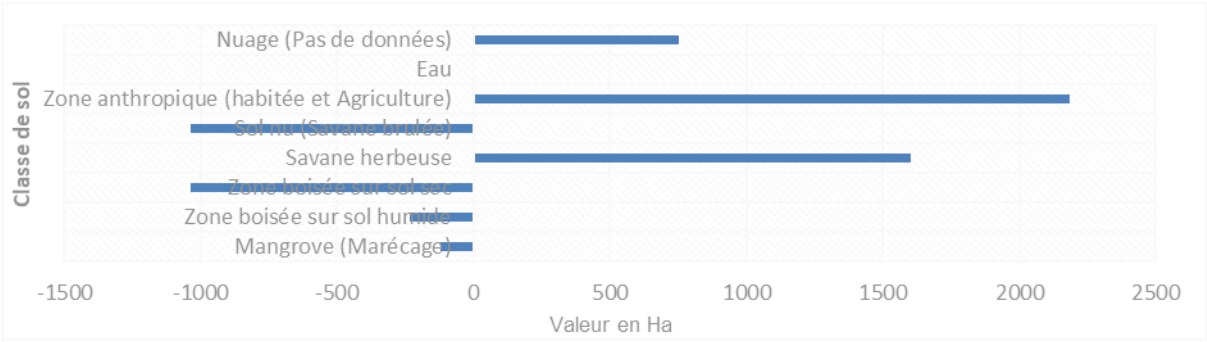

Figure 10. Changement de l'occupation des sols de 2015 à 2020

Evolution de l'occupation des sols entre 2015 et 2020

Entre 2015 et 2020, les dynamiques d'occupation du sol révèlent une recomposition accélérée des paysages littoraux, marquée par la régression des milieux naturels sensibles et l'expansion des zones anthropisées. Cette période s'inscrit dans une trajectoire de transformation amorcée dès les années 2000, avec des tendances cumulatives liées à l'urbanisation, à l'exploitation des ressources et aux aléas climatiques. La baisse de la mangrove (–10,2 %) illustre cette vulnérabilité, affectant des fonctions écologiques majeures telles que la protection côtière et la régulation sédimentaire.

La diminution des zones boisées sur sol humide (–3,0 %) et sur sol sec (–17,6 %) confirme une déforestation partielle, souvent liée à l'agriculture et à la coupe de bois, réduisant la résilience des milieux forestiers. Parallèlement, la savane herbeuse progresse (+17,0 %) en réponse à des pratiques agro-pastorales, tandis que les zones anthropiques augmentent fortement (+28,3 %), traduisant une urbanisation accélérée. La réduction des surfaces d'eau (–3,0 %) suggère un assèchement ou une modification hydrologique, avec des impacts potentiels sur la faune aquatique.

Enfin, cette période bénéficie d'une amélioration méthodologique notable : l'utilisation de capteurs satellitaires plus performants et d'algorithmes de classification plus robustes a permis une requalification plus précise des classes d'occupation du sol, renforçant la fiabilité des analyses spatiales et environnementales.

Evolution de l'occupation des sols entre 2020 et 2023

L'évolution de l'occupation des sol entre 2020 et 2023 (Figure 11) révèle une progression marquée de plusieurs classes de couverture. La zone boisée sur sol sec affiche une légère augmentation, passant de 4 874 ha à 4 983 ha, soit une croissance d'environ de 2,2 %. Les sols nus (savane brûlée) connaissent également une hausse modérée, passant de 8850 ha à 8952 ha, soit une hausse de près de 1,2 %.

Par ailleurs, la zone anthropique, composée des espaces habités et agricoles, progresse marginalement, passant de 9891 ha à 9921 ha (0,3 %), tandis que la surface des plans d'eau augmente de 172 ha à 179 ha, soit une croissance de 4,0 %. En revanche, plusieurs classes végétales subissent une régression au cours de cette même

période (Figure 12). La mangrove diminue légèrement, passant de 1069 ha à 991 ha (-7,3 %), la zone boisée sur sol humide recule plus nettement, passant de 7621 ha à 7273 ha (-4,6 %), et la savane herbeuse connaît une régression plus importante, sa superficie passant de 10995 ha à 9176 ha, soit une perte d'environ 16,6 %. Il s'observe également une stabilité relative de la couverture nuageuse (753 ha à 755 ha).

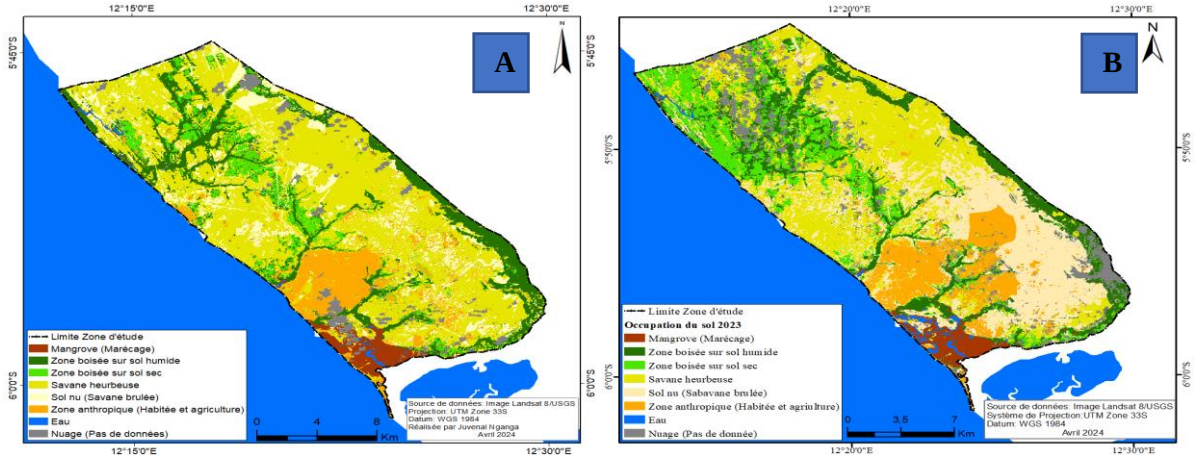

Figure 11. Occupation du sol entre 2020 (A) et 2023 (B)

Ces évolutions soulignent des dynamiques paysagères contrastées, marquées par une forte expansion des milieux dégradés ou anthropisés, au détriment des formations naturelles, notamment la mangrove, les forêts humides et la savane herbeuse, ce qui soulève des préoccupations importantes quant à la préservation des écosystèmes littoraux.

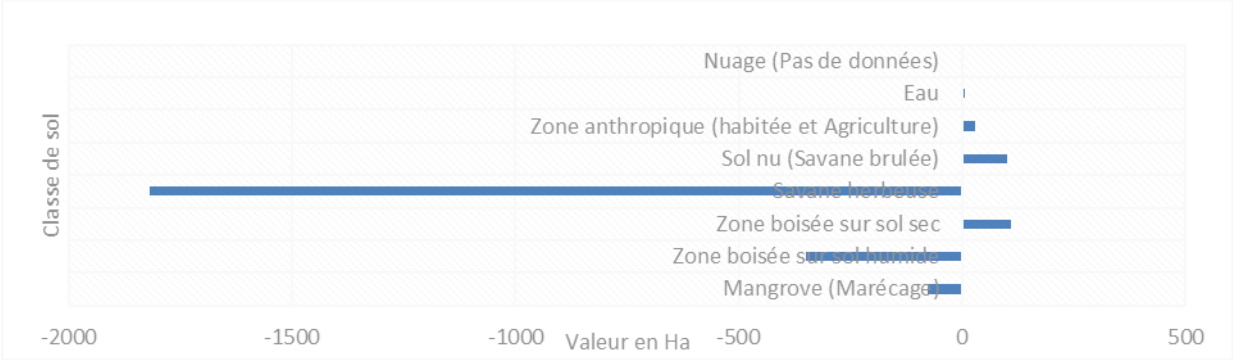

Figure 12. Changement de l'occupation des sols de 2020 à 2023

Evolution des paysages suite à l'utilisation des sols (2020–2023)

Entre 2020 et 2023, l'évolution de l'occupation du sol montre une progression modérée de certaines classes : les zones boisées sur sol sec (+2,2 %), les sols nus (+1,2 %), les zones anthropiques (+0,3 %) et les plans d'eau (+4,1 %). Les nuages restent stables. Ces variations traduisent une dynamique d'occupation relativement contenue, en partie héritée des effets positifs du projet «PANA-Zone côtière» (2014–2019), qui avait permis une atténuation des pressions anthropiques et une stabilisation temporaire des écosystèmes littoraux.

Cependant, plusieurs formations végétales sensibles subissent une régression marquée : la mangrove (–7,3 %), la zone boisée sur sol humide (–4,6 %) et surtout la savane herbeuse (–16,6 %). Ces pertes traduisent une reprise progressive des dynamiques de dégradation écologique dès 2022, avec une pression humaine renouvelée, une artificialisation croissante et des signes d'érosion côtière réactivée. La stagnation des zones tampon et la fragmentation des milieux accentuent cette vulnérabilité.

Cette tendance confirme les observations précédentes (Makanzu, 2022), qui soulignaient une dégradation progressive des écosystèmes du littoral congolais, notamment dans le Parc Marin des Mangroves. Elle montre que, malgré les acquis du projet «PANA Zone côtière», la résilience écologique reste fragile en l'absence de mécanismes pérennes de suivi, de gouvernance locale renforcée et d'implication communautaire durable.

Analyse globale de l'évolution des écosystèmes littoraux résultant de l'occupation des sols du littoral congolais (RDC) de 1988 à 2023

L'analyse diachronique des images satellitaires entre 1988 et 2023 (Figure13) met en évidence des dynamiques contrastées des classes de paysages et d'occupation des sols du littoral congolais. Ces évolutions traduisent à la fois l'intensification des pressions anthropiques et les effets des processus naturels tels que l'érosion, la sédimentation et la reconfiguration des écosystèmes côtiers.

Régression notable de la savane herbeuse

La savane herbeuse, classe dominante en 1988 avec environ 19000 ha, a connu une diminution continue, atteignant 12000 ha en 2023. Cette perte de 7000 ha est principalement liée à l'expansion des zones anthropiques et à la transformation en sols nus (savane brûlée ou dégradée). Les facteurs déterminants incluent la pression agricole, les feux de brousse récurrents et l'urbanisation.

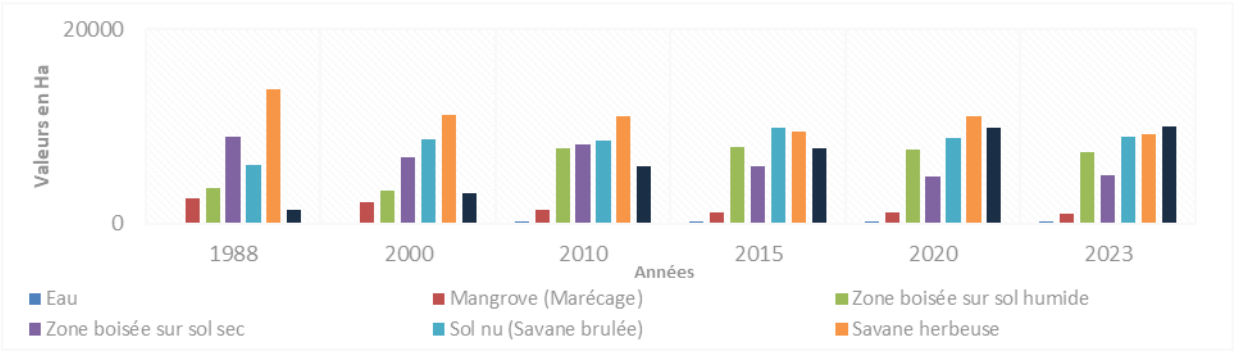

Figure 13. Evolution de paysages en rapport avec l'occupation des sols du littoral congolais (RD) de 1988 à 2023

Progression rapide de la zone anthropique

Les zones anthropiques (habitats et terres agricoles) ont fortement progressé, passant de 1000 ha en 1988 à 5200 ha en 2023, soit un gain de 4200 ha. La période 2000–2010 est particulièrement dynamique (+2745 ha), traduisant l'extension des villages, des infrastructures et des cultures vivrières, sous l'effet de la croissance démographique et de l'immigration (+11 %).

Régression alarmante de la mangrove

La mangrove couvrait 1442 ha en 1988. Elle a légèrement augmenté jusqu'en 2010 (~1488 ha), probablement grâce aux efforts de conservation (ICCN, ONG, sensibilisation communautaire). Cependant, elle a chuté à 947 ha en 2023, soit une perte de 541 ha depuis 2010. Cette régression est attribuée à la déforestation, à l'exploitation du bois et à l'ensablement des marécages dû à l'érosion côtière (Figure14).

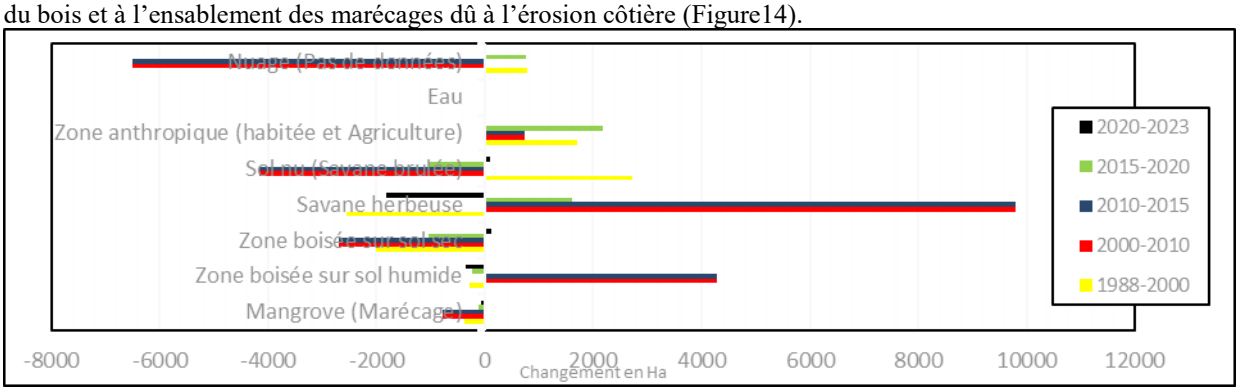

Figure 14. Changement de paysages lié à l'occupation des sols de 1988 à 2023 sur le littoral atlantique congolais (RDC)

Évolution contrastée des zones boisées

L'évolution des zones boisées se présente comme suit :
(i) Zone boisée sur sol sec : progression entre 2000 et 2010, stabilisation autour de 2000 ha. Cette dynamique pourrait refléter une régénération naturelle ou post-agricole ;

(ii) Zone boisée sur sol humide : croissance jusqu'à ~3000 ha en 2010, suivie d'une régression à ~1900 ha en 2023, soit une perte de ~1100 ha, traduisant une pression accrue sur les milieux humides.

Augmentation des sols nus et des plans d'eau

La classe « sol nu » a fortement augmenté après 2010, avec un gain de ~1000 ha entre 2015 et 2023. Cette dynamique est corrélée à la régression des savanes et à la déforestation. Les plans d'eau ont également progressé, en lien avec les modifications hydro-sédimentaires et les effets du changement climatique.

Evolution des paysages du littoral congolais (RDC) entre 1988 et 2023

L'analyse diachronique de l'occupation des sols dans la zone côtière de Muanda, fondée sur l'interprétation d'images satellitaires Landsat, met en lumière des dynamiques paysagères complexes sur une période de 36 ans (1988–2023), résultant à la fois de phénomènes naturels (érosion, sédimentation) et de pressions anthropiques croissantes.

Dynamiques géomorphologiques et sédimentaires

L'élargissement progressif des embouchures et la forte sédimentation en front de mer ont entraîné un processus actif d'arrachement de particules sableuses sur les berges. Ces particules sont ensuite transportées et déposées dans les périmètres de mangrove, où elles se mélangent aux marécages. Ce phénomène d'ensablement contribue à la déstabilisation des écosystèmes de mangrove, perturbant leur régénération naturelle.

Évolution des principaux types de paysages

L'évolution des paysages du littoral congolais peut être décomposée en plusieurs phases distinctes, marquées par des dynamiques progressives, régressives et parfois instables. Les données du tableau révèlent des tendances contrastées selon les classes de végétation, les zones anthropiques et les éléments naturels.

1988–2000 : Cette période est marquée par une forte régression de la savane herbeuse (–2561 ha) et des zones boisées sur sol sec (–2007 ha), traduisant une pression croissante sur les milieux naturels. Les sols nus ont connu une nette expansion (+2723 ha), tout comme les zones anthropiques (+1710 ha). La mangrove a reculé de 370 ha, tandis que les zones boisées sur sol humide ont légèrement diminué (–286 ha). La couverture nuageuse, très présente en 1988 (5748 ha), a augmenté en 2000 (6523 ha), ce qui peut avoir affecté la précision de la classification pour certaines zones humides.
2000–2010 : Une inversion partielle des tendances est observée. Les zones boisées sur sol humide ont fortement progressé (+4275 ha), tout comme les zones boisées sur sol sec (+1292 ha) et les zones anthropiques (+2744 ha). Les sols nus ont légèrement régressé (–158 ha), et la savane herbeuse a connu une baisse modérée (–214 ha). La mangrove a subi une forte régression (–777 ha). La couverture nuageuse chute drastiquement à seulement 10 ha, permettant une meilleure détection des classes végétales et une classification plus fiable.
2010–2015 : Cette phase révèle une dégradation plus marquée. Les sols nus ont fortement progressé (+1371 ha), les surfaces d'eau ont légèrement augmenté (+22 ha), et les zones anthropiques ont gagné +1801 ha. En parallèle, la savane herbeuse a perdu près de 1599 ha, les zones boisées sur sol sec ont reculé de 2240 ha, et la mangrove a diminué de 205 ha. La couverture nuageuse devient quasi inexistante (2 ha), ce qui renforce la précision des observations satellitaires.
2020–2023 : Durant cette période récente, la savane herbeuse a continué à régresser (–1819 ha), les zones boisées sur sol humide ont perdu 348 ha, et la mangrove a poursuivi sa régression (–78 ha). Les zones anthropiques se sont stabilisées (+30 ha), et les sols nus ont légèrement augmenté (+102 ha). La couverture nuageuse, en hausse (755 ha), pourrait avoir partiellement masqué certaines zones humides ou végétalisées, influençant la détection fine des classes.
Dynamique de la mangrove
La mangrove a connu une régression continue sur l'ensemble de la période, passant de 2542 ha en 1988 à 991 ha en 2023, soit une perte totale de 1551 ha. La baisse la plus marquée s'est produite entre 2000 et 2010 (–777 ha), malgré les efforts de conservation. La forte couverture nuageuse en 1988 et 2000 pourrait avoir sousestimé sa superficie initiale. Depuis les années 2000, la mangrove subit des pressions accrues : coupe de bois, ensablement, et absence de mécanismes de restauration efficaces.

Expansion des zones anthropisés

Les zones anthropiques (habitat et agriculture) ont connu une croissance spectaculaire, passant de 1451 ha en 1988 à 9921 ha en 2023, soit un gain de 8470 ha. La période la plus dynamique fut 2000–2010, avec une augmentation de 2744 ha, en lien avec l'urbanisation, l'immigration (+11 %) et le développement local. Cette dynamique est directement liée à l'anthropisation croissante du territoire par les populations locales et celle issue

de la forte immigration (+11 %), pour répondre aux besoins d'habitat, de cultures vivrières et de développement économique basé sur l'exploitation pétrolière et la pêche artisanale.

4. DISCUSSION

Les résultats révèlent une recomposition écologique du littoral congolais, marquée par une tension croissante entre l'expansion des activités humaines et la dégradation des milieux naturels. Les formations les plus vulnérables telle que la savane herbeuse, les zones humides et la mangrove subissent une régression liée à la pression foncière, à l'exploitation des ressources, à l'urbanisation non planifiée et aux aléas climatiques. Ces tendances rejoignent les constats établis dans le Parc Marin des Mangroves (PMM), où la perte des services écosystémiques est perçue comme directement liée à l'intensité des pressions anthropiques (Bokembe *et al.*, 2025). Une telle dégradation a aussi été observée dans des zones côtières du même littoral atlantique de l'Afrique de l'Ouest à forte occupation des terres côtières (Awosika *et al*., 1995; Appeaning Addo, 2011; AFD et CIRAD, 2021 ; Greenpeace Afrique, 2023).

La fragmentation des habitats compromet les fonctions écologiques essentielles, telles que la régulation hydrique, la séquestration du carbone et la biodiversité. Une baisse significative de la densité de canopée dans les mangroves du PMM, corrélée à l'expansion des zones bâties, a été démontrée par des analyses multi-temporelles fondées sur les données Landsat et Sentinel-2 (Lumbuenamo *et al*., 2025b). Par ailleurs, la cartographie des états de perturbation par arbre de décision a mis en évidence une artificialisation accélérée du territoire, où les zones les plus dégradées coïncident avec les fronts d'urbanisation et les axes d'exploitation non contrôlée (Lumbuenamo *et al*., 2025a).

La position stratégique du littoral, à proximité du terminal pétrolier de Banana et de la zone portuaire en développement, en fait un pôle d'attraction démographique et économique. Cette croissance se traduit par une urbanisation accélérée, une reconversion des terres agricoles en zones résidentielles ou industrielles, et une vulnérabilité accrue face aux risques environnementaux : érosion côtière, salinisation des sols, recul des mangroves et pression sur les écosystèmes littoraux (UN-REDD, 2012; WACA *et al.*, 2020 ; Defourny *et al.*, 2011). Des dynamiques similaires ont été observées sur les littoraux de Kribi (Cameroun), Port-Gentil (Gabon) et Cotonou (Bénin), où les projets portuaires en zones humides ont engendré des impacts comparables sur les écosystèmes côtiers (CENAREST, 2021 ; CED, 2022 ; Ahouandokoun, 2023). Ces tendances rejoignent les observations menées dans le Parc Marin des Mangroves (PMM), où la perception locale de la dégradation des services écosystémiques (Bokembe *et al*., 2025), la régression de la densité de canopée (Lumbuenamo *et al*., 2025a) et la cartographie des états de perturbation des mangroves (Lumbuenamo *et al*., 2025b) confirment la vulnérabilité croissante des milieux côtiers face aux pressions anthropiques.

Malgré les effets stabilisateurs du projet «PANA-Zone côtière» entre 2014 et 2019, les dynamiques de dégradation ont repris dès 2022, soulignant la fragilité des acquis en l'absence de mécanismes pérennes de gouvernance (Ahouandokoun, 2023 ; Mukanu *et al*., 2025). L'implication communautaire durable et le renforcement des capacités locales sont jugés essentiels pour assurer la résilience des écosystèmes (Bokembe *et al*., 2025). Enfin, les dynamiques géomorphologiques, telles que l'élargissement des embouchures et l'ensablement des mangroves, aggravent la vulnérabilité des milieux humides (Mukanu, 2013 ; Thior *et al*., 2019). Ces phénomènes, amplifiés par les interventions humaines, perturbent les régimes hydrosédimentaires et appellent à des validations de terrain et à des protocoles multi-temporels pour affiner les analyses diachroniques.

5. CONCLUSION

L'objectif de cette étude était de retracer l'évolution de l'occupation des sols sur le littoral de Muanda entre 1988 et 2023, en s'appuyant sur des images satellites Landsat et une classification supervisée par l'algorithme du Maximum Likelihood. Les résultats, validés par un coefficient kappa supérieur à 0,70 et une précision globale de 97 %, confirment la robustesse de l'approche méthodologique. Ils s'inscrivent dans une dynamique régionale africaine du littoral atlantique, documentée aussi dans le Parc Marin des Mangroves, où la dégradation des services écosystémiques liée aux pressions anthropiques a été largement observée.

Deux grandes phases spatiales ont été identifiées. La première (1988–2010) montre une progression relative des zones boisées humides et sèches, traduisant des phénomènes de régénération végétale ou de reboisement localisé. Cette tendance rejoint les analyses antérieures sur la densité de canopée dans les mangroves, qui ont mis en évidence une amélioration temporaire avant que l'urbanisation et la pression foncière ne compromettent cette dynamique. La seconde phase (2010–2023) révèle une régression accélérée du couvert végétal, avec une forte diminution des mangroves, des zones boisées et de la savane herbeuse. Cette artificialisation du territoire est comparable aux cartographies des états de perturbation réalisées

dans d'autres secteurs côtiers, où les zones les plus dégradées coïncident avec les fronts d'urbanisation et les axes d'exploitation non contrôlée.

La transformation régressive des paysages, couplée à une fragmentation croissante des habitats écologiques et à des perturbations hydrosédimentaires, entraine une perte probable de la biodiversité et une altération des fonctions écologiques essentielles. Les limites liées à la couverture nuageuse en 2023 rappellent l'importance de validations de terrain et de protocoles multi-temporels. Ces constats, en résonance avec les études précédentes, appellent à des recherches complémentaires sur les trajectoires de résilience et à une gouvernance environnementale renforcée pour préserver durablement les écosystèmes du littoral congolais.

Références

AFD & CIRAD, 2021. *Programmes d'observation du climat et politiques publiques en Afrique centrale.* Rapport d'analyse climat n°17. Agence Française de Développement (AFD) & Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD), Paris, 48 p.

Ahouandokoun D., 2023. *Port de Cotonou et écologie côtière : vers une gestion durable*. Thèse de doctorat, Université d'Abomey-Calavi, Bénin, 120 p.

Appeaning Addo K., 2011. Managing Shoreline Change Under Increasing Sea-Level Rise in Ghana. *Coastal Management*, 42(6), 555–567.

Awosika L. F., Ibe, C. E. & French G. T., 1995. Impacts of Global Climate Change and Sea-Level Rise on Coastal Resources and Energy Development in Nigeria. *In Umolu, J. C. (Ed.), Global Climate Change: Impact on Energy Development*. DAM TECH Nigeria Limited, Lagos, Nigeria, pp. 1–18.

Bokenge M.J.-P., Saki M.G., Makuntima K.J. & Ngoy S.M., 2025. Perception des Parties Prenantes sur les services écosystémiques du Parc Marin des Mangroves en République Démocratique du Congo. *Revue Africaine d'Environnement et d'Agriculture*, 8 (2), 89-99. https://dx.doi.org/10.4314/rafea.v8i2.8

Centre d'Expertise pour le Développement (CED), 2022. *Étude d'impact environnemental du port en eau profonde de Kribi*. Centre pour l'Environnement et le Développement, Yaoundé, 180 p.

Centre National de la Recherche Scientfique et Technologique (CENAREST, Gabon), 2021. *Urbanisation et vulnérabilité écologique à Port-Gentil*. Rapport technique, Libreville, 120 p.

Congalton R.G., 1991. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 37, 35–46.

Defourny J.-P., N.Y., Delhage C. & Kibambe J.-P., 2011. *Analyse quantitative des causes de la déforestation et de la dégradation des forêts en RDC*. Rapport, UCL FAO CN REDD, Kinshasa, 60 p.

Dieye E.H.B., 2007. *Les ensembles littoraux de la lagune de Joal-Fadiouth et de l'estuaire du Saloum (Sénégal)*. Doctorant 3e cycle, FST/UCAD, LERG, Dakar, 217 p.

Foody G.M., 2002. Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*, 80(1), 185–201. https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00295-4

Godard V., 2005. Typologie des paysages forestiers du sud du massif de Fontainebleau après la tempête de décembre 1999. *Revue Internationale de Géomatique*, 15(3), 281–302.

Greenpeace Afrique, 2023. *Déforestation, climat et résilience en RDC : le rôle des ONG et des communautés locales.* Rapport interne, Kinshasa, 35 p.

Lumbuenamo S.R., Nsimba N. E., Lutete L.E., Manisa B.J., Mabaya A., Kayengi B.A., Ditona T.H., Lele N.B. & Ntoto M.R., 2025a. Canopy density spatial model and binary classification of mangrove presence using the fusion of Landsat composite and top of Atmosphere Sentinel-2 images in the Parc Marin des Mangroves (Moanda, Republic Democratic of Congo). *Revue Africaine d'Environnement et d'Agriculture*, 8(2), 158-168. http.//dx.doi.org/10.4314/rafea.v8i2.14

Lumbuenamo S.R., Nsimba N. E., Lutete L.E, Mabaya A., Lele N.B., Kompani D.C., Kayengi B.A., Lusolamo N.D., Bifubiambote S.G., Ngeli M. L., Ditona T.H. & Ntoto M.,R., 2025b. Mapping mangrove disturbance state using decision tree classification based on Sentinel-2 surface reflectance spectral indices, elevation, and salinity data in the parc Marin des Mangroves (Moanda, Republic Democratic of Congo). *Revue Africaine d'Environnement et d'Agriculture*, 8(2), 169-182. http.//dx.doi.org/10.4314/rafea.v8i2.15

Makanzu I.F., 2022. *Risques côtiers en R.D. Congo. Évolution spatio-temporelle récente du trait de côte atlantique et vulnérabilités des communautés*. Collection Études africaines, Éditions L'Harmattan, 230 p.

McHugh M.L., 2012. Interrater reliability: the kappa statistic. *Biochemia Medica*, 22(3), 276–282.

Ministère de l'Environnement, Conservation de la Nature-Eaux et Forêts (MECN-EF), 2001. *Communication Nationale initiale sur les changements climatiques (Année de référence 1994)*. Projet ZAI/95/G31 (PNUD/R.D.C.), 207 p.

Mukanu K.A., 2013. *Contribution à l'étude géomorphologique, pédologique et pétrographique du littoral de la République Démocratique du Congo*. Mémoire de Licence, Département des Sciences de la Terre, Faculté des Sciences, Université de Kinshasa, 97 p.

Mukanu K.A., Miti T.F. & Mwadi S.D., 2025. Étude de l'érosion côtière du littoral atlantique congolais (R.D.C.) : Remodelage morphologique et retrait de la ligne de côte entre 1988 et 2023. *Journal Africain des Sciences*, 2(2), 18–36. https://doi.org/10.70237/jafrisci.2025.v2.i2.02

Noyola-Médrano C., Mering C. & Rojas Beltrán M.A., 2009. Évaluation du changement de l'occupation du sol à l'aide des images LANDSAT et SPOT : Champ volcanique de la Sierra Chichinautzin (Mexique). In :

Actes du 26ème Colloque International de Cartographie. Texte disponible.

Paugy D, Lévêque C., Mouas I. & Lavoué S., 2011. *Poissons d'Afrique et peuples de l'eau*. IRD Editions, Collection Focus. DOI:10.4000/Books.irdeditions.8336

PNUE / UNESCO / ONU-DAESI, 1985. *Érosion côtière en Afrique de l'Ouest et du Centre*. UNEP Regional Seas Reports and Studies n°67, Nairobi, 248 p.
PNUE, 2007. *Lignes directrices pour la gestion intégrée des zones côtières en Afrique. Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE)*. Nairobi, 72 p.

Skupinski G., Binhtran D. & Weber C., 2009. Les images satellites Spot multidates et la métrique spatiale dans l'étude du changement urbain et suburbain : le cas de la basse vallée de la Bruche (Bas-Rhin, France). *Cybergeo : European Journal of Geography* [En ligne], Systèmes, Modélisation, Géostatistiques, article 439.

Thior M., Sane T., Sy O., Descroix L., Ba B.D., Solly B. & Mendy V., 2019. Analyse spatiale de l'évolution du trait de côte autour de l'embouchure du fleuve Casamance (Sénégal) de 1968 à 2017, à partir de l'outil DSAS. *European Scientific Journal*, 15(9), 106-130.

United Nations Programme on Reducing Emissions from Deforestaion and Forest Degradation (UN-REDD), 2012. *Synthèse des études sur les causes de la déforestation et de dégradation des forêts en RDC*. UN-REDD Programme, pp. 43–57.

WACA – West Africa Coastal Areas Management Program, 2017. *Programme de gestion du littoral ouest-africain : ralentir le rythme de l'érosion côtière en Afrique de l'Ouest.* Rapport à mi-parcours de la composante régionale du projet WACA-ResIP. Banque mondiale, Washington D.C., 56 p.www.worldbank.org/waca

WWF, 2018. *Living Planet Report, Aiming Higher*. WWW International, ZSL, Global Footprint Network, Stokholm Resilience Centre.