

Étude de la dynamique spatio-temporelle du Parc Marin des Mangroves (PMM) à la côte Atlantique de Muanda, RD Congo

Joyce MBIYA KANGUDIA^{1*}, Joël OPEY AMBUR¹ et Fils MAKANZU IMWANGANA^{1,2}

¹ Centre de Recherches Géologiques et Minières (CRGM), Laboratoire de Géomorphologie et Télédétection, 44 Av. De la Démocratie, Gombe, BP 898, Kinshasa I, République Démocratique du Congo

² Université de Kinshasa, Faculté des Sciences et Technologies, Département des Géosciences, Unité de Recherche et de Formation en Gestion des Risques Naturels (URF-GRN), BP 190 Kinshasa XI, Kinshasa, R. D. Congo

(Reçu le 08 Mars 2024 ; Accepté le 10 Avril 2024)

* Correspondance, courriel : mbiyasucces@gmail.com

Résumé

L'objectif de cette étude sur l'évolution spatio-temporelle est d'élaborer une cartographie de l'occupation des sols du Parc Marin des Mangroves, en RD Congo, durant la période de 2000 à 2022. Pour y parvenir, télédétection et le SIG ont été appliqués. La dynamique a été déterminée à partir des cartes d'occupations des sols de 2000, 2013 et 2022, validées par des valeurs de la précision globale moyenne de classification et du coefficient Kappa. Il ressort des résultats obtenus que le processus de transformation spatiale a été déclenché et des changements des superficies, dans les différentes classes, ont été détectés. La classe sol nu a connu une progression d'environ 15 % au détriment des classes mangrove et eau qui où une régression respectivement de -10,1 % et -4,8 % a été identifiée. La régression de l'écosystème de mangrove s'explique par les activités anthropiques dans la région. Ainsi, les décideurs politiques et les autorités territoriales devraient trouver dans cet état de chose la nécessité de prendre des décisions idoines pour préserver ces écosystèmes.

Mots-clés : *dynamique spatio-temporelle, Moanda, télédétection et SIG, Mangroves.*

Abstract

Study of the spatio-temporal dynamics of the Mangrove Marine Park (PMM) on the Atlantic coast of Muanda, DR Congo

The objective of this study on spatio-temporal evolution is to develop a map of the land use of the Mangrove Marine Park, in DR Congo, during the period from 2000 to 2022. To achieve this, remote sensing and GIS have been applied. The dynamics were determined from the 2000, 2013 and 2022 land cover maps, validated by values of the average global classification accuracy and the Kappa coefficient. The results show that the process of spatial transformation has been triggered and changes in the areas of the different classes have been detected. The bare soil class increased around 15 % to the detriment of the mangrove and water classes, where a decline of -10.1 % and -4.8 % respectively was identified. The decline in the mangrove ecosystem is due to human activities in the region. Thus, policymakers and territorial authorities should find in this state of affairs the need to take appropriate decisions to preserve these ecosystems.

Keywords : *spatio-temporal dynamics, Moanda, remote sensing and GIS, Mangroves.*

1. Introduction

Les forêts denses humides du bassin du Congo couvrant environ 200 millions d'hectares (soit 6 % de la superficie totale des forêts du monde) comprennent les forêts littorales et intermédiaires, les forêts inondées et la forêt des mangroves. Ces forêts jouent un rôle prépondérant dans les économies nationales et locales de ces pays et offrent des moyens de subsistance à plus de 60 millions de personnes qui y vivent ou qui résident à proximité [1]. Elles remplissent également des fonctions sociales et culturelles essentielles aux populations locales [2, 3]. La République Démocratique du Congo (RD Congo) demeure à elle seule boisée aux deux tiers, conservant pas moins de 145 millions d'hectares des forêts régionales dont 86 millions sont des forêts denses humides occupant ainsi 40 % de l'étendue du territoire national [4, 5] et qui abritent de nombreuses espèces végétales et animales avec un taux d'endémisme très élevé [6], n'est pas exempté de la déforestation. Les mangroves sont des forêts de palétuviers se développant dans la zone de balancement des marées des régions littorales intertropicales, pouvant se maintenir localement jusqu'à 32° Nord et 28° Sud sous l'effet de courants marins chauds [7]. Ces formations forestières colonisent dans ces régions près de 75 % des côtes et deltas, avec une surface évaluée à 182 000 km² [8]. Elles constituent un écosystème particulier de par ses fonctions, son importance et son lieu d'implantation ; et abritent de nombreuses ressources fauniques et floristiques dont dépendent directement les populations riveraines. Elles jouent également un important rôle dans la régulation du climat, la protection du paysage contre l'érosion côtière, les vagues et les vents violents en freinant la force de l'eau pendant les grandes marées, permettant ainsi, non seulement de faire progresser les terres vers la mer, mais aussi d'éviter les inondations [9]. Le continent africain possède, à lui seul, plus de 3,2 millions d'hectares (Mha) de mangroves, soit environ 19 % de la superficie mondiale de l'écosystème dont 0,4 Mha, soit 14 % sur le littoral atlantique central où se situe le Parc Marin des Mangroves (PMM) de la RD Congo qui constitue notre zone d'étude [10]. Les études qualitatives et quantitatives menées sur les causes de la déforestation dans les nombreuses provinces de la RD Congo ont identifié plusieurs causes directes et indirectes propres à chaque province [11, 12, 14, 15].

La zone côtière compte parmi les formations forestières soumises à des pressions croissantes provenant notamment de l'exploitation industrielle et artisanale du bois (la carbonisation, déboisement, déforestation, etc.), la croissance démographique, de l'exploitation minière et de l'extension des centres urbains [12, 15]. D'après [17], c'est depuis 1975 que la mangrove a commencé à être dégradée puis s'est installée une sécheresse vers la fin des années 70 et 80. Depuis lors, on assiste à des inondations récurrentes dans la zone. A cela s'ajoutent particulièrement, pour notre zone d'étude, le braconnage, la pêche illicite et la pollution due aux hydrocarbures [18]. Compte tenu des conditions socioéconomiques que connaissent les populations de la RD Congo comme la plupart de pays en développement, la gestion durable des écosystèmes naturels a retenu peu l'attention des décideurs nationaux [11, 19, 20]. Et pourtant, dans le contexte des changements climatiques et au regard des effets indus de la croissance conjointe de la population et ses besoins vitaux, notamment en terre dont la superficie est constante, il est nécessaire de s'intéresser à la dynamique spatio-temporelle des zones en proie à cette quête comme les Mangroves [21]. De ce qui précède, il apparaît que la prise de conscience des rôles potentiels des forêts dans l'adaptation au changement climatique et son atténuation qui se développe rend encore plus urgente la nécessité d'améliorer le suivi et évaluation des transformations spatiales qui sévissent dans ces écosystèmes [16]. Alors, la question qu'on se pose est celle de savoir ce qui a changé aujourd'hui afin que les mangroves soient menacées de disparition ? C'est donc dans cette ligne droite que s'inscrit la présente recherche qui se veut être une contribution à la gestion territoriale durable orientée vers la préservation des écosystèmes qui persistent aux pressions anthropiques [22, 23]. Ainsi, l'objectif de notre recherche consiste à analyser l'évolution de la superficie de la mangrove du PMM, et au même moment celle de l'espace occupé par l'eau et par le sol nu ; afin d'élaborer des cartes d'occupations des sols, pour en anticiper les probables modifications, afin de planifier le type de développement le plus adéquat pour la zone.

2. Matériel et méthodes

2-1. Milieu d'étude

Le Parc Marin des Mangroves (**Figure 1**), est une aire protégée et l'unique parc marin de la RD Congo, créé en 1992 et qui couvre une superficie de 76.800 hectares. Il est situé dans la province du Kongo-Central (Territoire de Moanda), à l'embouchure du fleuve Congo avec l'Atlantique, entre 5.91825° et 6.06174° S, et 12.3481° et 12.6052° E (**Figure 1**), limité au Nord par l'enclave de Cabinda et au Sud par la République d'Angola. Le PMM regorge d'une flore constituée essentiellement de Mangroves et d'une faune riche avec d'importantes réserves de poissons et de crustacées, les lamantins, les oiseaux, les tortues marines, les reptiles (serpents, varans, etc.), les singes et les hippopotames. Le PMM est géré par l'Institut Congolais pour la Conservation de la Nature (ICCN) et fut désigné site Ramsar (c'est à dire, une zone humide d'importance internationale) depuis 1996, aussi inscrit dans la catégorie II de l'Union Internationale de la Conservation de la Nature (UICN).

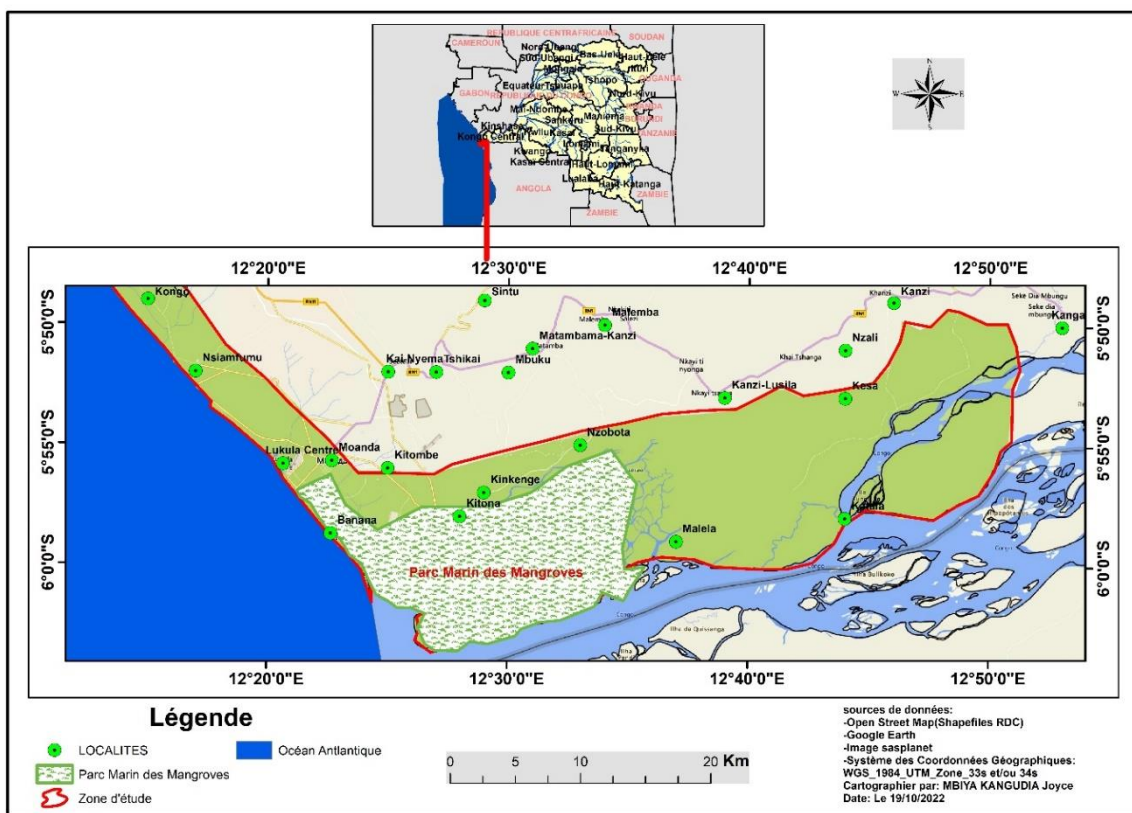


Figure 1 : Localisation du Parc Marin des Mangroves

2-2. Matériel d'acquisition et de traitement des données

2-2-1. Matériel

Le matériel utilisé dans le cadre de cette recherche comprend notamment : un récepteur GPS (Global Positioning System) de marque Garmin 64s pour le prélèvement des coordonnées géographiques sur le terrain ; une caméra numérique Samsung, pour la prise des photographies ; un ordinateur portable avec le logiciel cartographique (ArcGis 10.3.1) et Google Earth Pro pour l'acquisition, la visualisation et le traitement numérique ou la numérisation des images ainsi que pour les analyses des changements dans le milieu d'étude.

2-2-2. Données utilisées

Notre recherche est basée sur l'utilisation des données satellitaires multi-spectrales à différentes dates (2000, 2013, 2022) provenant de plusieurs capteurs en vue de cartographier la zone d'étude et de suivre la dynamique de l'évolution des mangroves étudiées. Il s'agit notamment des images et capteurs ci-après :

- Landsat 7 Thematic Mapper (TM) du 31 août 2000 ;
- Landsat Operational Land Imager (OLI) 8 du 6 avril 2013 et du 6 Avril 2022 de la zone d'étude, téléchargées via l'interface de Global Land Cover Facility (URL : www.glcfc.umd.edu/data ; <http://glcfapp.glcfc.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>) ;
- Image sasplanet 2022 ;
- les couches vectorielles de la zone d'étude extraite de Google Earth Pro.

2-3. Approche méthodologique

La méthode d'observation, la photo-interprétation et la technique analytique des images ont servi à étudier l'occupation du sol. Les images ont subi un prétraitement pour corriger les déformations géométriques et radiométriques. L'étape de prétraitement des données des images satellitaires de différentes dates de notre zone d'étude consiste à effectuer une succession d'opérations indispensables qui précèdent l'analyse principale et l'extraction des informations. Il s'agit notamment des corrections géométriques et radiométriques des images et de l'application de filtres. Ensuite, le calcul de chaque unité d'occupation de sol, et les compositions colorées des bandes 4, 5 et 7 des données TM et 5, 6 et 7 OLI sont réalisées pour faciliter l'identification et la différenciation des types d'occupation du sol. Puis, le calcul des surfaces de chaque unité d'occupation de sol a facilité la classification par Maximum de vraisemblance (Maximum Likelihood). Pour se rassurer de la qualité de la classification, le coefficient Kappa « K » est calculé en utilisant la **Formule (1)**. Et la précision globale (Pg) est générée par la **Formule (2)**:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^k X_{ii} - \sum_{i=1}^k (X_{i+} X_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^k (X_{i+} X_{+i})} \quad (1)$$

$$Pg = \frac{\sum_{i=1}^r X_{ii}}{N} \times 100 \quad (2)$$

X_{ii} est le nombre de pixels classés correctement ; X_{+i} est la somme des valeurs de la colonne i ; X_{i+} est la somme des valeurs de la ligne i ; D est la somme des pixels bien classés (éléments de la diagonale dans la matrice d'erreur) ; N est la somme des pixels dans la matrice d'erreur et k est le nombre de lignes dans la matrice.

Les méthodes de classification d'images se divisent en deux grands groupes dont les méthodes de classification dirigée et les méthodes de classification automatique. L'expérience a montré que les méthodes de classification automatique donnent généralement des résultats moins fiables que les méthodes de classification dirigées. Ainsi dans cette étude, nous avons opté pour une méthode de classification dirigée utilisant des parcelles d'apprentissage. L'algorithme de classification adopté est celui du maximum de vraisemblance qui reste toujours la méthode de référence en matière de classification d'images [24]. Cela a été prouvé par des études antérieures, indiquant que le maximum de vraisemblance est la méthode la plus effective dans la classification des mangroves avec des images satellitaires courantes [25, 26]. Il a été appliqué sur chacune des images Landsat composites lors des classifications supervisées, dans la mesure où elle fournit pour chaque pixel un indice de certitude lié à ce choix [27]. En effet, pour chaque classe d'objets, nous avons pris un certain nombre de parcelles d'apprentissage où l'algorithme a extrait les caractéristiques statistiques de chaque classe pour les utiliser ensuite afin reconnaître la classe à laquelle un pixel de l'image

doit être affecté. L'étude de la dynamique de la couverture des mangroves a été menée par comparaison d'images post-classifiées. L'évolution des différents types d'occupations est appréciée en termes de changement de superficie. Enfin, pour déterminer le dynamisme de l'occupation des sols, le taux moyen annuel d'expansion spatiale (T) est calculé à partir des superficies initiale et finale en utilisant la formule de Bernier (1992) présentée par la **Formule (3)**:

$$T = [(lnS_2 - lnS_1) / ((t_2 - t_1) \times lne)] \times 100 \quad (1) \quad (3)$$

S_1 et S_2 : Superficie d'une unité paysagère à la date t_1 et t_2 respectivement ; $t_2 - t_1$: Nombre d'années d'évolution ; ln : Logarithme népérien ; e : Base du logarithme népérien ($e = 2,7$).

Cette approche a été utilisée par de nombreux auteurs tels que [26, 28, 29]. Une approche précieuse pour obtenir des informations sur des sites inaccessibles comme les mangroves ainsi que des informations anciennes. Pour mener à bien notre étude, nous avons utilisé la technique couplée télédétection et système d'information géographique (SIG) pour l'interprétation des images satellitaires de la période sous étude. Nous avons également collecté les informations sur le terrain, qui ont suivi une démarche méthodologique : acquisition et prétraitement des données, calculs statistiques des superficies et le pourcentage des unités d'occupation de notre zone d'étude. Nous avons ensuite reproduit les diagrammes pour mieux voir la tendance de ces unités d'occupation de sol sur l'évolution de la mangrove, classification, détection de changement et analyses des classes et interprétation ou discussion des résultats, vers les analyses adéquates afin d'atteindre les objectifs fixés. En outre, il sied de signifier que l'étude a été menée durant la période 2000 à 2022, cependant, les images traitées ont pris en compte notamment 3 moments (moment 1 correspondant à l'année 2000, moment 2 correspondant à l'année 2013, enfin le moment 3 correspondant à l'année 2022) particuliers afin de caractériser et de comparer l'évolution de nos 3 paramètres d'étude (l'eau, les mangroves et le sol-nu) [22, 30]. Ces indices ont été jugés pertinents pour renseigner sur la fragmentation du paysage [31, 32]. Sur ce, les données satellitaires présentées dans cette étude permettent d'observer l'évolution de chaque paramètre qui est soit en progression, soit en régression durant la période sous étude.

3. Résultats et discussion

3-1. Cartographie de l'occupation des sols

Pour la cartographie de l'occupation du sol de notre zone d'étude, nous avons procédé par l'exportation du fichier Shape file vectorisé de la classification dans ArcGis. Nous avons passé au choix des couleurs respectives des différents éléments de l'occupation du sol de la zone d'étude. Ensuite nous avons fait la mise en page des cartes de l'occupation de sol de différents moments (**Figure 2**). La carte des types d'occupation des moments 2000, 2013 et 2022 de notre zone d'étude a permis d'identifier trois classes dont celle de la mangrove, de l'eau et du sol nu (**Figure 3**). Cependant, cette cartographie de l'occupation des sols au moment 1 montre que la classe de la mangrove ne représentait que 14.500,7 ha soit environ 65 % de la surface totale de la zone. Elle est suivie par la classe de l'Eau avec 4.910,9 ha soit environ 22 % et la classe de sol nu avec 2925,6 ha soit environ 13 % (**Figure 2**).

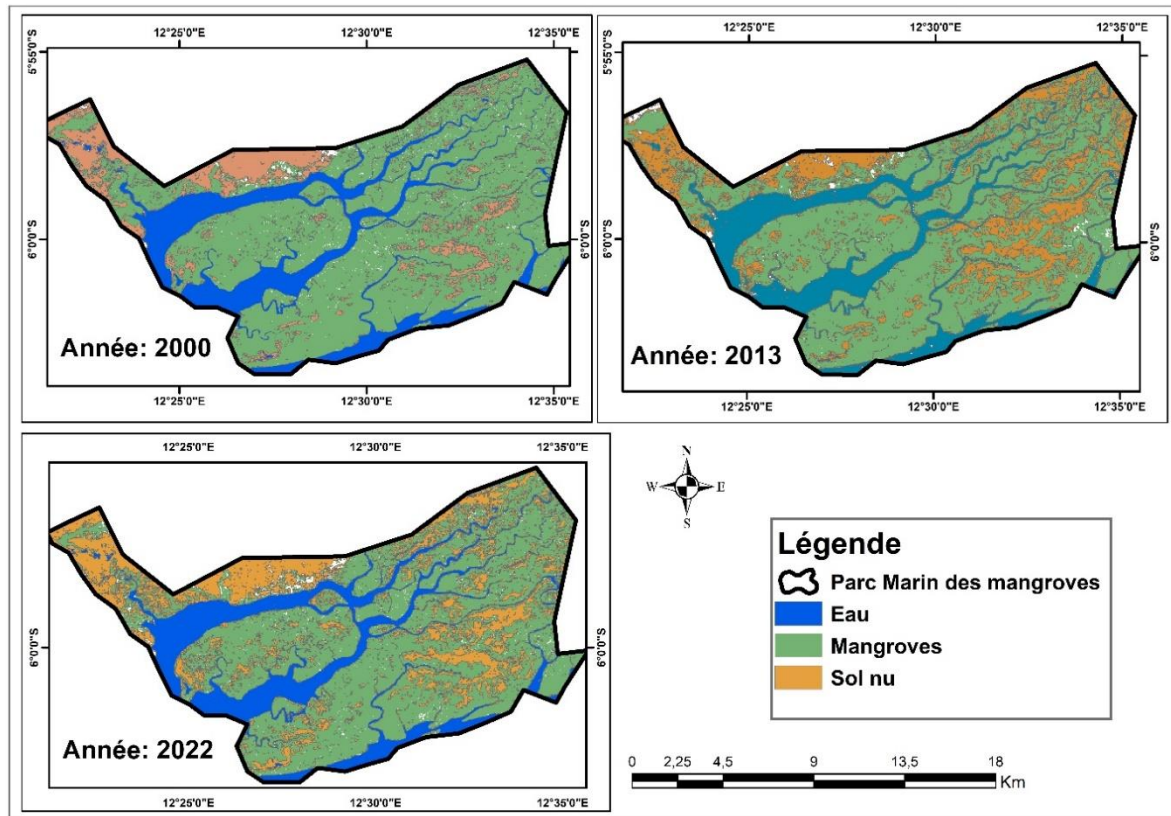


Figure 2 : Dynamique diachronique de la mangrove des moments 2000, 2013 et 2022

3-2. Détection des changements d'occupation des sols

A partir de 2013, on observe des grands changements dans le PMM avec une régression très remarquable de la classe Mangrove. En effet, elle diminue de 12.044,3 ha soit 56,8 %, et qui a ainsi connu une perte de -2456,39691 ha. La classe Eau pour son compte a diminué de 3901,6 ha, soit 18,4 %, et a enregistré une perte de -1009,3 ha. Il s'observe que quelques hectares de la classe Mangrove et ceux de la classe Eau ont été convertis en sol nu dont la surface a connu une augmentation de 5272,4 ha, soit 24,8 % de sa superficie par rapport au moment 1, avec une augmentation observée de sa superficie de 2346,8 ha (Figure 3, Tableaux 1 & 2).

Tableau 1 : Détection des changements d'occupation de sol entre les moments 1, 2 et 3

Libellés	Evolution spatio-temporelle					
	Moment 3 (2022)		Moment 2 (2013)		Moment 1 (2000)	
	Surface en Hectare	Surface (%)	Surface en Hectare	Surface (%)	Surface en Hectare	Surface (%)
Eau	3667,9	17,3	3901,6	18,4	4910,9	22,0
Mangroves	11644,1	54,8	12044,3	56,8	14500,7	64,9
Sol nu	5944,3	27,9	5272,4	24,8	2925,6	13,1
Total	21256,3	100,0	21218,3	100,0	22337,2	100,0

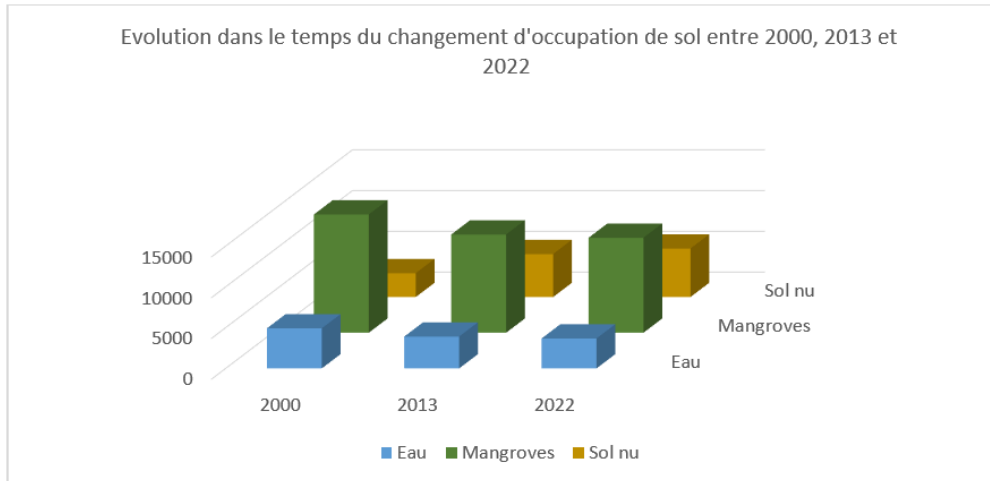


Figure 3 : Évolution dans le temps du changement d'occupation des sols de 2000 à 2022

Tableau 2 : Détection des changements d'occupation de sol entre 2000 et 2013

Libellés	Évolution spatio-temporelle		
	Surface en Hectare(ha)	Surface en Hectare(ha)	Régression (-) Progression (+)
	2000	2013	2013-2000
Eau	4910,9	3901,6	(-) 1009,3
Mangroves	14500,7	12044,3	(-) 2456,4
Sol nu	2925,6	5272,4	(+) 2346,8

L'analyse des résultats cartographique et statistique du tableau 2 a révélé d'une part, une dynamique progressive de la classe Sol nu, et d'autre part, une dynamique régressive de la classe Mangroves et Eau :

- la superficie du sol nu estimée à 2925,6 ha en 2000, est passée à 5272,4 ha en 2013. Elle a connu une progression de (+) 2346,8 ha en 13 ans ;
- la superficie de la classe Mangroves estimée à 14500,7 ha en 2000, est passée à 12044,3ha en 2013. Elle a connu une régression de (-) 2456,4 ha en 13 ans ;
- la superficie de la classe Eau estimée à 4910,9 ha en 2000, est passée à 3901,6 ha en 2013. Elle a connu une diminution de (-) 1009,3 ha en 13 ans.

Tableau 3 : Détection des changements d'occupation de sol entre 2013 et 2022

Libellés	Évolution spatio-temporelle		
	Surface en Hectare(ha)	Surface en Hectare(ha)	Régression (-) Progression (+)
	2013	2022	2022-2013
Eau	3901,6	3667,9	(-) 233,7
Mangroves	12044,3	11644,1	(-) 400,2
Sol nu	5272,4	5944,3	(+) 671,9

De 2013 à 2022, on constate une très forte régression de la superficie de mangroves de 11.644,1 ha soit 54,8 % de la superficie totale. Elle a de ce fait connu une perte de -400,2 ha de sa superficie en 8 ans. Il en est de même avec la classe Eau qui a enregistré une légère perte de sa superficie qui lui a valu -233,7 ha. Le sol nu pour son compte, a connu une augmentation très remarquable de sa superficie à hauteur de 671,885124 ha (Figure 3 et Tableau 3).

3-3. Discussion

L'utilisation de l'imagerie satellitaire dans le cadre d'une analyse paysagère se focalise sur l'identification de la composition des patrons paysagers constituant des couches de base de l'information sur les paysages qui sont les classes d'occupation des sols [22]. Les classifications supervisées des images Landsat avec trois classes de l'occupation des sols, appuyées sur l'algorithme du maximum de vraisemblance, ont donné des valeurs de précision statistiquement acceptables [24]. Le succès de cette classification se traduit à travers les valeurs élevées du coefficient kappa (0,80) des deux images classifiées (2000 et 2022), pour une précision globale de 96 %. La tendance générale des valeurs issues des analyses post-classification concorde avec celles trouvées lors des études de cartographie des écosystèmes de mangrove à travers le monde [33 - 35]. Ainsi, en termes de dynamique spatiale, la superficie de la classe sol-nu a presque doublée de 2000 à 2022, mieux, du moment 1 au moment 3 en passant par le moment 2. Les résultats des analyses des images montrent cependant une dichotomie dans la dynamique du PMM entre les trois paramètres de l'étude (*Figure 3*). En effet, il s'observe une évolution progressive dans la classe sol nu, alors qu'elle est régressive dans les classes mangroves et eau. Cette situation permet de constater clairement que la classe sol-nu tend à remplacer progressivement, aussi bien dans le temps que dans l'espace les classes mangroves et eaux (*Figure 2*). Trois grandes causes de déforestation ont été évoquées par plusieurs auteurs au sein du PMM. Il s'agit de la coupe de bois, des activités minières, de l'urbanisation et/ou de plus en plus de l'extension des centres urbains [12 - 14, 18] ; lesquelles activités sont amplifiées par la croissance démographique. Par ailleurs, sous l'emprise des actions anthropiques, les transformations du paysage naturel commencent souvent par une régression du couvert forestier exacerbée par les activités agricoles permanentes, et continuent aussi longtemps que la population mène une vie de pauvreté [11, 14, 37]. En outre, la découverte de la qualité de la braise issue des palétuviers à racines aériennes a provoqué la multiplication des fours de carbonisation comme activité génératrice des revenus pour les populations environnantes.

4. Conclusion

La présente recherche contribue à la cartographie de la dynamique spatio-temporelle du PMM en apportant une réponse spécifique et localisée à la question de la gestion durable des écosystèmes forestiers. La régression de la classe mangrove pendant la période de 2013 à 2022 permet de corroborer l'hypothèse d'une croissance démographique importante accentuant la pression sur l'écosystème sous étude. Grâce à la télédétection et au SIG, l'étude a permis de mettre en évidence les changements d'occupation des sols survenus entre 2000 et 2022 soit seulement moins d'un quart de siècle. Les résultats approuvent des pertes de superficie dans la classe mangrove provenant des diverses activités humaines comme la coupe des bois énergie, l'urbanisation, les activités minières exécutées en synergie, et dont l'impact a été clarifié par l'identification et la classification des transformations spatiales. L'intensification des activités socioéconomiques couplées à l'accroissement démographique accentue la dégradation des écosystèmes marquée par la régression des classes Mangrove et Eau, tandis que la classe Sol nu a connu un processus de progression. En conséquence, il y a rupture de l'équilibre écologique sur l'écosystème suivi des changements dans le microclimat et d'une dégradation de la biodiversité. Les informations dénichées dans cette étude, notamment sur les transformations spatiales dues à l'impact des activités humaines sur l'écosystème des mangroves devraient pousser les décideurs politiques et les gestionnaires territoriales, à mettre en place des actions concrètes pour une gestion durable de ces espaces.

Références

- [1] - S. NDOTIT et al., Contribution de la télédétection satellite et du SIG à la gestion durable des mangroves anthropisées de la forêt de la Mondah ; nord-ouest du Gabon, (2019)
- [2] - R. NASI, A. BILLAND, N. VAN VLIET, Empty forests, empty stomachs: bushmeat and livelihoods in Congo and Amazon Basins. *International Forestry Review*, 13 (2011) 355 - 368
- [3] - C. DE WASSEIGE, J. FLYNN, D. LOUPPE, F. HIOLHIOL, Ph. MAYAUX, The forest of the Congo Basin : state of the forest 2013, Weyrich, Belgium, (2014) 328 p.
- [4] - I. BAMBA, Anthropisation et dynamique spatio-temporelle des paysages forestiers en RDC. Thèse de Doctorat, Université Libre de Bruxelles, (2010)
- [5] - C. DE WASSEIGE, D. DEVERS, P. DE MARCKEN, R. EBA'AATYE, R. NASI, Ph. MAYAUX, The forest of the Congo Basin : state of the forest 2008, Publications office of the European Union Luxembourg, (2009) 426 p.
- [6] - C. VANCUTSEM, C. DE WASSEIGE, P. DEFOURNY, The land cover map of the Democratic Republic of Congo, Presses Universitaires de Louvain-la-neuve, (2006)
- [7] - F. BLASCO, Les mangroves. *Recherches*, N°231 (1991) 444 - 453
- [8] - M. D. SPALDING, F. BLASCO & C. D. FIELD, World Mangrove Atlas. Okinawa (Japan), *International Society for Mangrove Ecosystems*, (1997)
- [9] - S. SOUMARE et al., Dynamique spatio-temporelle de la mangrove de Kafountine dans l'estuaire de la Basse-Casamance des années 1972 à nos jours : Approche par télédétection, (2020)
- [10] - J. M. LEBIGRE, Distribution des marais à mangrove dans le monde : carte, (2010), <http://mangrove.mangals.over-blog.com>
- [11] - M. BROCKHAUSS, M. DIGREGORIO, S. MARDIAH, Governing the design of national REDD+: a analysis of the power of agency, *Forest Policy and Economics*, 49 (2013) 23 - 33
- [12] - J-P. DEFOURNY, C. DELHAGE, J-P. KIBAMBE, Analyse quantitative des causes de la déforestation et de la dégradation des forêts en RDC, Rapport, UCL FAO CN REDD, Kinshasa, (2011)
- [13] - P. GILLET, C. VERMEULEN, L. FEINTRENIE, H. DESSART, Quelles sont les causes de la déforestation dans le bassin du Congo ? Synthèse bibliographique et étude des cas. *Biotechnologie Agronomie Société et Environnement*, 20 (2016) 183 - 194
- [14] - MECTN, Synthèse des études sur les causes de la déforestation et de la dégradation des forêts en RDC, Ministère de l'Environnement, Conservation de la Nature et Tourisme, (2012) 40 p.
- [15] - UN-REDD, Synthèse des études sur les causes de la déforestation et de dégradation des forêts en RDC, UN-REDD PROGRAMME, (2012)
- [16] - FAO, Evaluation des ressources forestières mondiales, 2005 : progrès de la gestion forestière durable, (2006), www.fao.org/forestry//fr
- [17] - F. MAKANZU IMWANGANA, Risques côtiers en RD Congo : Evolution spatio-temporelle récente du trait de côte atlantique et vulnérabilité des communautés. Ed. L'Harmattan, (2022) 122 p.
- [18] - F. GOURMELON, La contribution des SIG à la connaissance et à la gestion de l'environnement littoral. Sciences de l'Homme et Société. Université de Bretagne occidentale — Brest, (2003)
- [19] - FAO, Evaluation des ressources mondiales, Rome, (2015) 253 p.
- [20] - J. MWITWA, L. GERMAN, A. MWIMBA-KANKOLONGO, A. PUNTODEWO, Governance and sustainability challenges in landscapes shaped by mining : mining forestry linkages and impacts in the copper belt of Zambia and the DR Congo. *Forest Policy and Economics*, 25 (2012) 19 - 30
- [21] - M. KALAMBAY et al., Appréciation du potentiel des images satellitaires sentinel 1 et sentinel 2 pour la cartographie du parc marin des mangroves, en République Démocratique du Congo, (2017)
- [22] - R. LAFORTEZZA, R. CHEN, G. SANESI, Th.R. CROW (Eds), Patters and processes in forest landscapes ; multiple use and sustainable management, Eds Verlag, New-York : springer, (2008) 67 - 87

- [23] - M. LI, A. DE PINTO, J. M. ULIMWENGU, L. YOU, R. D. ROBERTSON, Impacts of road expansion on deforestation and biological carbon loss in the Democratic Republic of Congo, *Environment Resources Economics*, 60 (2015) 433 - 469
- [24] - J. R. LANDIS, G. G. KOCH, the measurement of observer agreement for categorical data, *Biometrics*, 33 (1977) 159 - 174
- [25] - E. P. GREEN, C. D. CLARK, P. J. MUMBY, A. J. EDWARDS and A. C. ELLIS, Remote sensing techniques for mangrove mapping. *International Journal of Remote Sensing*, 5 (1998) 935 - 956
- [26] - C. GIRI, J. MUHLHAUSEN, Mangrove forest distributions and dynamics in Madagascar (1975-2005). *Sensors*, 8 (4) (2008) 2104 - 2117
- [27] - J. F. MAS, une revue des méthodes et des techniques de télédétection du changement, *Can J. Remote sens*, 26 (2000) 349 - 362
- [28] - C. A. J. ANDRIAMALALA, Étude écologique pour la gestion des mangroves. Comparaison d'une mangrove littorale et d'estuaire à l'aide de la télédétection. Thèse de doctorat, Basel, (2007) 268 p.
- [29] - G. KABABO, H. BELESI et F. MAKANZU, Occupation du sol dans le sous-bassin versant de la rivière Ndrigi (Lac Albert, Ituri, RDC) de 1999 à 2021, *Revue Afrique Science*, 23 (5) (2023) 122 - 125
- [30] - J. BOGAERT, R. CEULEMANS, D. SALVADOR-VAN EYSENRODE, Decision tree algorithm for detection of spatial processes in landscape transformation. *Environment Management*, 33 (2004) 66 - 72
- [31] - J. BOGAERT, A. MAHAMANE, Ecologie du paysage : cibler la configuration et l'échelle spatiale, *Ann. Sc. Agro. Bénin*, 7 (1) (2005) 1 - 15
- [32] - J. BOGAERT, A. FARINA, R. CEULEMANS, Entropy increase of fragmented habitats : A sign of human impact? *Ecological indicator*, 5 (3) (2005) 207 - 212
- [33] - C. GIRI, B. PENGRA, Z. ZHU, A. SINGH et L. TIESZEN, Monitoring mangrove forest dynamics of the Sundarbans in Bangladesh and India using multi-temporal satellite data from 1973 to 2000. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 73 (2007) 91 - 100
- [34] - T. LILLESAND, R. KIEFER et J. CHIPMAN, Remote sensing image and interpretation, Wiley 5th Edition, (2004) 820 p.
- [35] - P. RAMIREZ-GARCIA, J. B. BLANCO et D. OCANA, Mangrove vegetation assessment in the Santiago River Mouth, Mexico, by means of supervised classification using Landsat TM imagery, *Forest Ecology and Management*, 105 (1998) 217 - 219
- [36] - C. LI, LAFORTEZZA, J. CHEN (Eds), Landscape ecology and forest management: challenges and solutions in a changing globe. Higher Education Press, Beijing and Springer-verlag Berlin Heidelberg, (2011) 273 - 296
- [37] - B. MARTIN, Quelles « mesures » pour quantifier la pauvreté ? Les indicateurs produits par les organisations internationales, CERISCOPE Pauvreté, (2012) [en ligne] consulté le 20/04/2024