

Dynamique de l'érosion côtière et ses impacts sur les occupations du sol sur le littoral du Togo (Afrique de l'Ouest)

Bleza Mangola

Université Corte de Corse-Pascal-Paoli, Corte, France

Gatonnou Komla Mensah

Equipe Bois et Forêt du Laboratoire de Recherche Forestière (LRF),
Faculté des Sciences, Université de Lomé, Togo

Sodjinou Komlan Edjèdu

Equipe Physiologie-Horticulture-Biotechnologies (PHOBIOT) du
Laboratoire de Recherche Forestière (LRF), Université de Lomé, Togo

Frimousse Soufyane

Tia Jean Claude

Université Corte de Corse-Pascal-Paoli, Corte, France

Approved: 08 May 2026

Posted: 10 May 2026

Copyright 2026 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Bleza, M., Gatonnou, K.M., Sodjinou, K.E., Frimousse, S., & Tia, J.C. (2026). *Dynamique de l'érosion côtière et ses impacts sur les occupations du sol sur le littoral du Togo (Afrique de l'Ouest)*. ESI Preprints. <https://doi.org/10.19044/esipreprint.5.2026.p281>

Résumé

Description du sujet : Les zones côtières et les estuaires sont des écosystèmes stratégiques pour le développement économique et la préservation de l'environnement. Au Togo, ces écosystèmes méritent un suivi régulier pour la gestion durable et un aménagement réussi.

Objectifs : Analyser l'évolution des écosystèmes sur le littoral togolais et ses impacts sur le trait de côte au cours des 18 dernières années.

Méthode : L'étude s'appuie sur l'analyse des images Landsat des années 2005 à 2022 couplée à la numérisation du trait de côte togolaise.

Résultats : Les résultats montrent une augmentation des zones anthropisées (bâti et culture) au détriment des autres types d'occupation du sol (forêt galerie et savane). Couvrant initialement 22% de la zone en 2005, ces occupations anthropisées sont passées à 35% en 2022, soit une augmentation de 59,09% au détriment des zones de végétation en 18 ans. Cette expansion anarchique a entraîné des conséquences sur la côte

togolaise. Au cours de la période 2005-2022, le trait de côte a subi trois types de changements par endroit : la stabilité, l'érosion et l'accrétion. Toutefois, l'érosion prédomine allant jusqu'à 9,53 m/an et menaçant la sécurité et le développement des populations côtières.

Conclusions : La préservation de l'environnement marin et côtier étant essentielle pour assurer un avenir viable aux populations, il est primordial d'adopter une approche globale et participative qui tienne compte des besoins économiques, sociaux et écologiques des acteurs locaux. Ainsi, la gestion intégrée du littoral est donc un outil indispensable pour concilier ces différents enjeux et promouvoir le développement durable du littoral togolais.

Mots clés : Trait de côte ; Dynamique spatiale ; Occupation du sol ; érosion côtière ; Gestion intégrée, Togo

Coastal Erosion Dynamics and Impacts on Land Use on the Togo Coast (West Africa)

Bleza Mangola

Université Corte de Corse-Pascal-Paoli, Corte, France

Gatonnou Komla Mensah

Equipe Bois et Forêt du Laboratoire de Recherche Forestière (LRF),
Faculté des Sciences, Université de Lomé, Lomé, Togo

Sodjinou Komlan Edjèdu

Equipe Physiologie-Horticulture-Biotechnologies (PHOBIOT) du
Laboratoire de Recherche Forestière (LRF), Université de Lomé, Togo

Frimousse Soufyane

Tia Jean Claude

Université Corte de Corse-Pascal-Paoli, Corte, France

Abstract

Description of the subject: Coastal zones and estuaries are strategic areas for economic development and environmental preservation. In Togo, these ecosystems deserve regular monitoring for sustainable management and successful development. **Objectives:** To analyse changes in ecosystems along the Togolese coastline and their impact on the coastline over the last 18 years. **Method:** The study is based on an analysis of Landsat images from 2005 to 2022, coupled with digitization of the Togolese coastline. **Results:** The results show an increase in anthropised areas (built-up areas and crops) to the detriment of other types of land cover (forest gallery and savannah). Initially covering 22% of the area in 2005, this anthropised

occupation had risen to 35% by 2022, an increase of 59.09% to the detriment of vegetated areas in 18 years. This uncontrolled expansion has had an impact on the Togolese coast. Over this period, the coastline has undergone three types of change: stability, erosion and accretion. However, erosion predominates, with a rate of up to 9.53 m/year, threatening the safety and development of coastal populations. **Conclusions:** Since preserving the marine and coastal environment is essential to ensuring a viable future for local communities, it is vital to adopt a comprehensive, participatory approach that takes account of the economic, social and ecological needs of local stakeholders. Integrated coastal management is therefore an essential tool for reconciling these different issues and promoting the sustainable development of Togo's coastline.

Keywords: Coastline; Spatial dynamic, Land use; Coastal erosion; Integrated management, Togo

Introduction

La zone côtière est une zone de transition entre les écosystèmes purement terrestres et les écosystèmes purement marins. Elle représente environ 12% de la surface terrestre (Evaluation Française des Ecosystèmes et des Services Ecosystémiques [EFESE], 2019). Elle est le siège de 25% de la production primaire globale apportant près de 70% de la production halieutique mondiale (Intergovernmental science-policy platform on biodiversity and ecosystem services [IPBES], 2019). Actuellement, près de 50% de la population terrestre, soit 2,5 milliards d'habitants, vit à moins de 150 km des côtes. Cette zone de transition est de ce fait considérée comme une composante importante de la biosphère à la fois pour la diversité des types d'écosystèmes et dans la fourniture de ressources et de services (United Nations Environment Programme [UNEP], 2018 ; Tagliarolo et Rousseau, 2022). Ces dernières années, la biodiversité des écosystèmes côtiers a été directement menacée par l'Homme et le changement climatique (Teixido *et al.*, 2022). L'élévation du niveau de la mer due aux changements climatiques représente une menace réelle et sérieuse. Toutefois, l'un des principaux facteurs est l'urbanisation, qui se manifeste par la forte concentration humaine dans les villes côtières, elle-même, résultante de l'exode rural massif que connaissent les pays de l'Afrique depuis un certain nombre d'années. Les activités humaines telles que la pollution, l'utilisation des terres et l'aménagement le long des littoraux peuvent soumettre ces environnements à des pressions susceptibles de freiner les rythmes de croissance et de reproduction de la faune et de la flore côtières, ce qui peut appauvrir la biodiversité dans son ensemble, Thomas (2014). L'érosion côtière est la toute première conséquence néfaste de la construction

d'industries et de la forte concentration humaine dans les zones côtières. Il s'agit d'un phénomène géologique qui se traduit par une perte graduelle de matériaux entraînant le recul des côtes et l'abaissement des plages. Les vagues, courants marins, précipitations et vents sont ainsi à l'origine de ce processus progressif qui façonne les littoraux. L'érosion côtière s'accélère cependant sous l'effet de l'activité humaine (construction de barrages, jetées ou zones portuaires, extractions de granulats dans les fleuves, dragages de sédiments dans les ports) qui contribue fortement à l'altération des équilibres sédimentaires. Le dérèglement climatique participe également à cette érosion qui en se poursuivant fait peser une menace sur les équipements et infrastructures.

L'érosion côtière est un phénomène qui menace le développement durable de l'économie et de la société humaine, car elle affecte les ressources naturelles, les infrastructures et les activités humaines dans la zone côtière. A l'échelle mondiale, 24 % des zones côtières s'érodent à des taux supérieurs à 0,5 m/an (Luijendijk *et al.*, 2018). Ce phénomène est influencé par des facteurs naturels et anthropiques, qui interagissent de manière complexe et souvent imprévisible. Parmi ces facteurs, on peut citer la variabilité climatique, la dynamique océanique, la morphologie du littoral, la construction de barrages, l'urbanisation et l'exploitation des ressources marines.

L'érosion côtière est un problème environnemental majeur dans toute l'Afrique de l'Ouest. Au Togo, le littoral est particulièrement vulnérable à l'érosion côtière, qui affecte environ 40 à 50 kilomètres de côtes, Blivi (1993). La région maritime du Togo, qui est la plus petite et plus peuplée des cinq régions économiques du pays, subit les conséquences néfastes de ce phénomène sur son environnement, son économie et sa population. L'une des principales causes de l'érosion côtière au Togo est la réduction des apports sédimentaires fluviaux, due à la construction de barrages sur les fleuves Volta et Mono, qui alimentent les côtes du Togo et du Bénin. La construction du barrage d'Akosombo sur le fleuve Volta en 1964 a provoqué une forte érosion à l'embouchure du fleuve, qui s'est propagée le long de la côte togolaise, où une érosion moyenne de 5,5 m.an⁻¹ a été observée entre 1895 et 2002 (Boateng, 2012), et de 10 à 12 m.an⁻¹ après la construction du barrage (Rossi, 1991). L'érosion côtière a entraîné la modification de la route internationale côtière Accra – Cotonou, en passant par Lomé-Aného au Togo ; la perte de terres agricoles et le déplacement de populations locales qui dépendent de la pêche.

Dans le cadre du développement durable, qui constitue un cadre de référence largement accepté pour orienter les politiques publiques, les zones côtières sont des espaces stratégiques, qui présentent des intérêts économiques et écologiques majeurs, mais qui sont aussi très fragiles et

complexes. La gestion intégrée de ces écosystèmes est donc essentielle pour préserver leur équilibre et leur résilience face aux aléas naturels ou anthropiques. Il s'avère donc nécessaire de faire une analyse approfondie de l'évolution de ces écosystèmes, avant d'engager toute action de prévention ou d'adaptation aux risques. L'analyse du paysage permet de saisir les changements de représentations sociales qui influencent l'aménagement de l'espace de vie Lefort (2014).

Ce travail a pour objectif d'étudier la dynamique des écosystèmes sur le littoral togolais et ses impacts sur le trait de côte au cours des 18 dernières années, à partir d'images satellitaires. Il s'agit d'analyser la dynamique de l'occupation du sol et le recul du trait de côte sur le littoral togolais.

1. Matériels et méthodes

2.1. Matériels

2.1.1. Zone d'étude

Le littoral togolais s'étend sur 75 km et est composé d'une barrière de dunes qui se prolonge continûment. Le lac Togo, le principal cours d'eau d'un système lagunaire de la région maritime au Togo, est situé derrière cette barrière de dunes et forme un écosystème lagunaire avec le lac Togo et les lagons derrière les dunes côtières. La surface totale de ce système lagunaire est de 64 km² (Figure 1). Le lac Togo a une superficie de 46 km² à l'étiage et une longueur maximale d'environ 15 km et une largeur maximale d'environ 6 km. Il se trouve sur la côte face au golfe de Guinée, à 15 km à l'est de la capitale Lomé et 10 km à l'ouest de Vogan. Les villages de Togoville, Badougbe, Sewati, Goun Kope, Kwenou, Ekpoui, Adjido, Seva-Tonou, Sevagan, Dekpo, Abobo, Amedehoeve, Agomekpota et Kpessi sont situés sur les rives du lac Togo et ses lagons. Le littoral togolais se caractérise essentiellement par l'urbanisation rapide, le développement des grandes infrastructures et des installations industrielles, ainsi que le développement de l'agriculture et du tourisme.

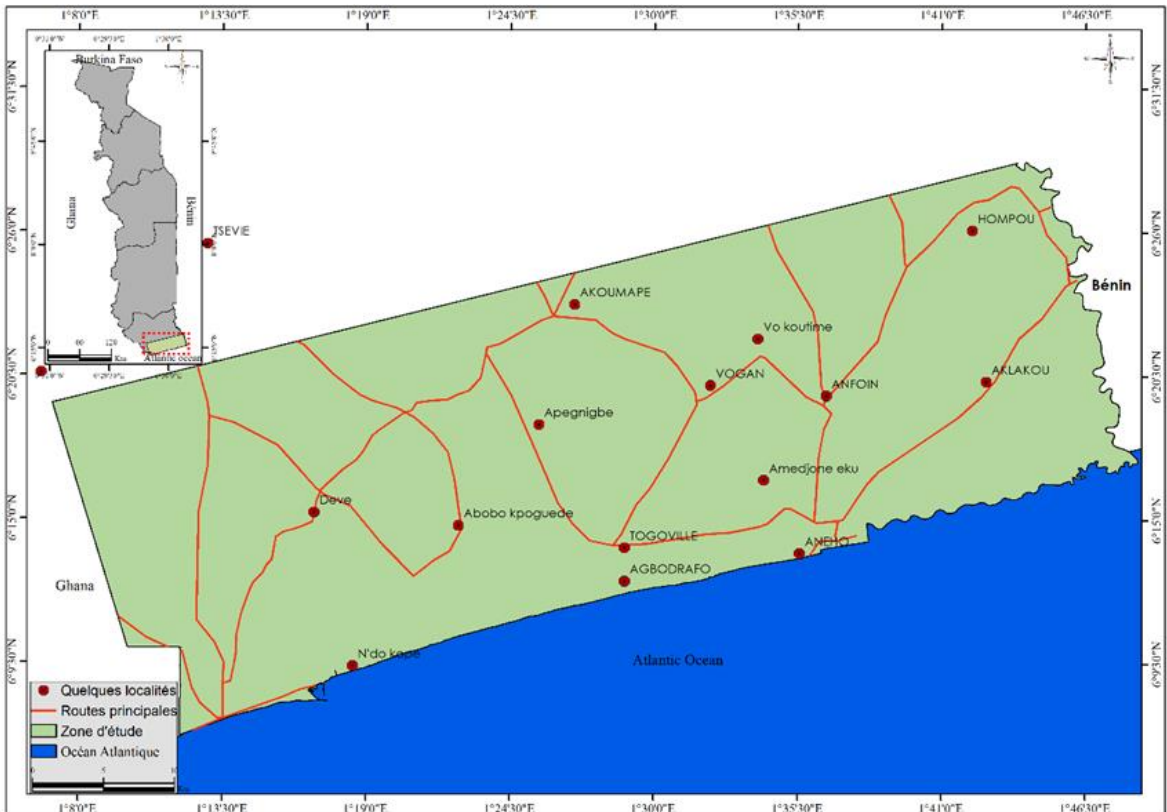


Figure 1: Localisation de la zone d'étude ; *Location of study area*

2.1.2. Données satellitaires utilisées

Les données Landsat de résolution spatiale et spectrale complète (résolution 30 x 30 m) de la fin de la période sèches (Jan – Fév) et avec une couverture nuageuse inférieure à 5% 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/>). Les produits de Level-2 (Surface réflectance), des satellites Landsat 7 et Landsat 8 L1T (2002, 2012 et 2022) ont été choisis pour obtenir des données géométriques et radiométriques corrigées (Tableau 1). Les images Landsat sont retenues pour l'analyse des données pour plusieurs raisons. D'abord, la disponibilité de plusieurs images jusqu'à 1991. Ensuite la gratuité de ces images ainsi que la bonne résolution spectrale (B, G, R, NIR, SWIR1 et SWIR2) qu'elles offrent. Enfin, la résolution spatiale (30 m) est suffisante pour suivre la dynamique forestière limitant ainsi la quantité des données à traiter. Aussi, plusieurs auteurs à l'instar de Gutman *et al.* (2008), ont-ils montré que les images Landsat disposent de qualités radiométriques et géométriques satisfaisantes pour effectuer des analyses de changement d'occupation du sol, notamment l'analyse historique de la déforestation.

Tableau 1: Caractéristiques des images Landsat utilisées pour l'analyse de l'occupation du sol ; *Characteristics of Landsat images used for land cover analysis*

Années	Dates d'acquisition	Capteurs
2022	23/01/2022	Landsat 8 / OLI
2012	04/01/2012	Landsat 7/ ETM+ (SLC-off)
2002	02/02/2002	Landsat 5

2.2. Méthodes d'analyse de données

2.2.1. Types de classification utilisée

L'algorithme *Random Forest* (RF), développé par Breiman (2001), a été choisi pour ses bonnes capacités de prédiction de l'utilisation des sols (Gislason *et al.*, 2006) dans le cas de l'analyse temporelle Schneider (2012). Plusieurs auteurs ont montré que les classifications de couverture du sol avec RF surpassent les classifications avec d'autres types d'algorithmes tels que la classification par maximum de vraisemblance (Gislason *et al.*, 2006). Il fournit un algorithme pour estimer les valeurs manquantes et la flexibilité pour effectuer plusieurs types d'analyse de données, y compris la régression, la classification, l'analyse de survie et l'apprentissage non supervisé (Grinand *et al.*, 2013). Il s'agit d'un algorithme de classification supervisée non paramétrique qui combine l'algorithme de l'arbre décisionnel et une technique d'agrégation. Il est présent dans le package "RandomForest" du logiciel « OTB ». L'algorithme sélectionne au hasard un échantillon d'observation et un échantillon de variables plusieurs fois pour produire un grand nombre de petits arbres de classification Breiman (2001). Ces petits arbres sont ensuite regroupés et une règle de vote majoritaire est appliquée pour déterminer la catégorie finale Breiman (2001). Afin d'améliorer la discrimination des classes étudiées, plusieurs indices dérivés des canaux primaires des images satellitaires ont été calculés en plus des variables radiométriques notamment l'Indice de végétation normalisé (NDVI), l'Indice de différence d'humidité normalisé (NDWI) et le l'Indice de différence de bâti normalisé (NDBI) Rouse *et al.* (1974). Par ailleurs, pour les besoins de la classification, il a été nécessaire d'établir une référence qui définit comment les types d'occupation du sol cible se présentent sur les images. Les parcelles d'entraînement ont alors été prises sur le terrain.

2.2.2. Collecte de données sur les placettes d'entraînement

Des données précises sur les placettes d'entraînement sont essentielles pour la classification avec l'algorithme *Random Forest*. L'échantillonnage des parcelles d'entraînement a été fait sur le terrain. La taille des placettes d'entraînement est plus ou moins inférieure au pixel de Landsat (30m x 30m). Cinq classes d'occupation ont été retenues à cet effet. Il s'agit de : Forêt, Plantation, Culture/jachère, Eau, Sol nu/bâtis).

2.2.3. Méthode de calcul des indices utilisés pour améliorer la classification

- **NDVI** : 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 le proche infrarouge (NIR) et les canaux rouges dans sa formule.

$$NDVI = \frac{NIR - Rouge}{NIR + Rouge}$$

- **NDWI** : Le NDWI est un indicateur basé sur la télédétection sensible au changement de la teneur en eau des feuilles, Gao (1996). Elle est utilisée pour mettre la différence entre les forêts continentales et la mangrove. Sa formule est la suivante : $NDWI = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$.
- **NDBI** : L'indice de différence de bâti normalisé (NDBI) est utilisé pour extraire automatiquement les zones bâties dans les zones urbaines. La formule de calcul est :

$$NDBI = \frac{SWIR - NIR}{SWIR + NIR}$$

Pour Landsat 4-7, $NDBI = (Bande\ 5 - Bande\ 4) / (Bande\ 5 + Bande\ 4)$

Pour Landsat 8, $NDBI = (Bande\ 6 - Bande\ 5) / (Bande\ 6 + Bande\ 5)$

2.2.4. Évaluation de la précision

Une évaluation de la qualité des classifications est effectuée en calculant la matrice de confusion (Sari *et al.*, 2021) et le coefficient de Kappa (K) exprimé comme la probabilité d'une classification correcte (Hansen et Loveland, 2012). Le coefficient de Kappa (K), développé par Cohen (De Sherbinin *et al.*, 2007) est une mesure statistique puissante et largement utilisée pour évaluer la concordance entre les variables d'une grille à l'autre (Alam *et al.*, 2020).

Une méthode d'échantillonnage aléatoire stratifiée a été utilisée pour l'évaluation de la précision sur la base des données observées et d'une interprétation visuelle (connaissances d'experts). En outre, 250 points ont été générés pour chacune des images classées. Chaque point avait une valeur de pixel spécifique, considérée comme une valeur de référence. Tous les points générés de manière aléatoire ont ensuite été identifiés par l'utilisateur et affectés à différentes classes LULC.

2.2.5. Détection des changements

Les cartes classées ont été comparées à l'aide d'une matrice de changement dans les logiciels Orfeo ToolBox (version 8.1.2) et QGIS (version 3.30) afin d'obtenir les changements dans les différentes classes pour les différentes périodes considérées dans cette étude (Munsi *et al.*,

2009). En outre, les résultats de la distribution des occupations ont été utilisés pour calculer les tendances de la dynamique des occupations, les changements nets, le pourcentage de changement et le taux d'évolution entre les années 2005 et 2012, 2012 et 2020 ainsi que 2005 et 2022. Pour calculer le pourcentage de changement, les couvertures initiales et finales de l'occupation ont été comparées à l'aide de l'équation suivante :

$$\text{Taux de variation (\%)} = (\text{Superficie UTC actuelle} - \text{Superficie UTC antérieure}) / (\text{Superficie UTC antérieure}) \times 100$$

Pour obtenir le taux de variation annuel pour chaque type d'UTC, le taux de variation de la dernière année a été soustrait de celui de l'année initiale, puis divisé par le nombre total d'années à l'aide de l'équation suivante :

$$\text{Taux de variation annuel} = (\text{année finale} - \text{année initiale}) / (\text{nombre total d'années})$$

Une matrice de changement post-classification a ensuite été utilisée pour analyser ces changements. Cette technique de détection des changements post-classification fournit des informations importantes sur la distribution spatiale de l'occupation du sol. Une matrice de conversion des terres a été générée à partir des images classifiées de 2005, 2012, et 2022.

2.2.6. Numérisation de la ligne instantanée de rivage

La numérisation de la ligne instantanée de rivage nécessite d'abord un travail d'identification et d'extraction des marqueurs pertinents de trait de côte. Ce travail a été réalisé manuellement sur les images satellitaires. Les marqueurs de trait de côte sont directement visibles sur l'image si celle-ci a une bonne résolution comme c'est le cas des images Landsat. C'est la raison pour laquelle la photo-interprétation et la photogrammétrie sont les techniques les plus utilisées pour extraire les lignes de référence (Boak et Turner, 2005). Par ailleurs, la photo-interprétation assistée par ordinateur couplée à un SIG présente un avantage de coût en matériel (Juigner *et al.*, 2012). Les marqueurs les plus faciles à détecter manuellement sont les lignes instantanées de rivage, les limites d'humectation et les limites de végétation. Pour cette étude, c'est la ligne instantanée de rivage qui a été utilisée comme marqueur du trait de côte. Étant identifiées, la numérisation se fera à l'écran au 1/1500e en suivant ces lignes instantanées de rivage sur les différentes images.

2.2.7. Estimation des marges d'incertitude

Les résultats de mesure des taux d'évolution du trait de côte, quelle que soit l'approche par analyse spatiale, souffrent de plusieurs sources d'erreurs (Crowell *et al.*, 1994 ; Sadio, 2017). La qualité des résultats d'une analyse diachronique est donc intimement liée à la connaissance de la marge d'erreur (Juigner, 2017). En effet, les marges d'erreur permettent de caractériser la situation (érosion, stabilité, accrétion) sur une période bien déterminée. L'estimation de ces risques d'erreurs doit conduire à l'élaboration d'une marge d'erreur qui sera prise en compte dans l'interprétation des résultats (Gould *et al.*, 2015). C'est la raison pour laquelle les erreurs les plus récurrentes en cinématique du littoral, particulièrement en ce qui concerne l'analyse du trait de côte, sont principalement les erreurs de positionnement et les erreurs techniques. L'erreur globale, appelée Erreur de Position globale du trait de côte, est calculée en prenant la racine carrée de la somme des carrés de chaque erreur : erreur de pixel, de géoréférencement, de numérisation, oscillation (Juigner *et al.*, 2012 ; Mathieu, 2014).

Dans cette étude, la source d'erreur a été prise en compte en considérant les autres comme constantes. L'erreur liée à la numérisation fait partie des erreurs aléatoires qu'il faut intégrer dans l'analyse des résultats. Mais il n'existe pas encore à ce jour une méthode objective pour l'évaluer (Morton *et al.*, 2004 ; Thieler *et al.*, 2009). Néanmoins, il est recommandé de l'estimer en effectuant la numérisation plusieurs fois. L'erreur émanant de la numérisation de chaque ligne de rivage étant obtenue par addition de la moyenne des écarts à 2 écarts-types de ces écarts et à la taille du pixel (Sadio, 2017 ; Moore et Griggs, 2002). La marge d'erreur émanant de la numérisation est obtenue en cumulant sa moyenne + 2 écarts-types + taille pixel.

Calcul des statistiques de l'évolution du trait de côte

Le calcul des statistiques relatives à l'évolution du trait de côte sera effectué avec l'application DSAS4.3. En effet, le *Digital Shoreline Analysis System* est une extension du logiciel ArcGis qui permet de faire des calculs sur les écarts des traits de côte déjà digitalisés à partir des images retenues. Développé depuis les années 1990 par l'US Geological Survey, DSAS fournit une méthode normalisée qu'on peut répéter pour le calcul de l'évolution statistique tout en analysant les changements passés, présents et futurs du littoral (Thieler *et al.*, 2009).

Le calcul du taux d'évolution du trait de côte nécessite au préalable la mise en place d'au moins deux traits de côte numérisés à différentes dates. Le principe général de l'outil DSAS est de mesurer les écarts entre les traits de côte d'une même série et de calculer les statistiques des taux d'évolution

(en m/an). Pour cela, l'exploitation de l'outil demande au préalable une mise en forme rigoureuse des données dans une base de données géographique personnalisée, la création d'une ligne de base et de transects équidistants, une estimation de l'incertitude liée à la méthode ainsi que le choix des indices relatifs à l'évolution du trait de côte (Juigner *et al.*, 2012).

3. Résultats

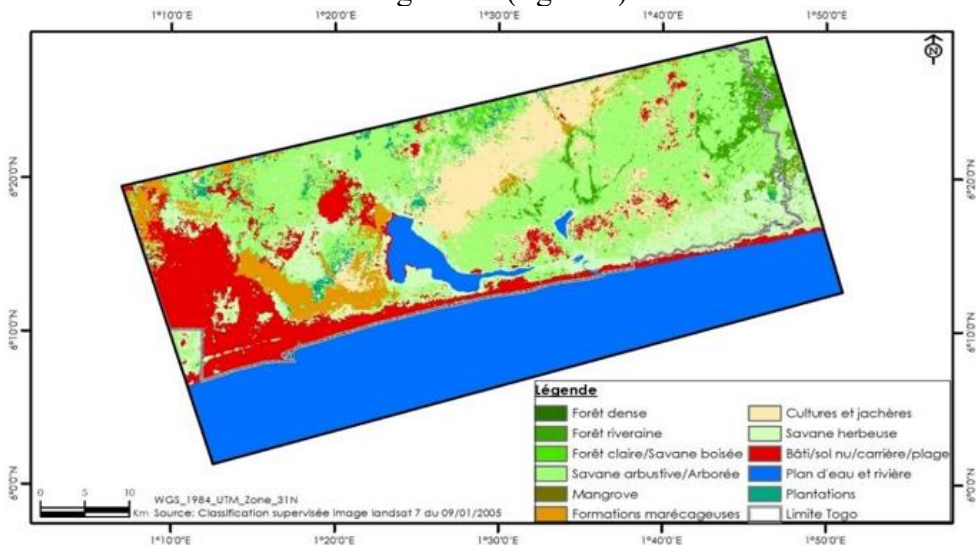
3.1. Dynamique de l'occupation du sol

Le littoral togolais a connu des changements remarquables dans l'occupation du sol entre 2005 et 2022. Le tableau 2 montre les résultats de la validation de la classification par pixel, qui indique une précision globale comprise entre 91 % et 95 %. Ces valeurs sont satisfaisantes pour une étude diachronique de l'occupation du sol.

Tableau 2: Précision de la classification Random Forest ; *Random Forest classification accuracy*

Année	Kappa	Précision globale
2022	0,93	95,62%
2012	0,91	93,45%
2005	0,89	91,19%

Globalement, la superficie des forêts a régressé au détriment des zones urbanisées et des zones agricoles (figure 2).



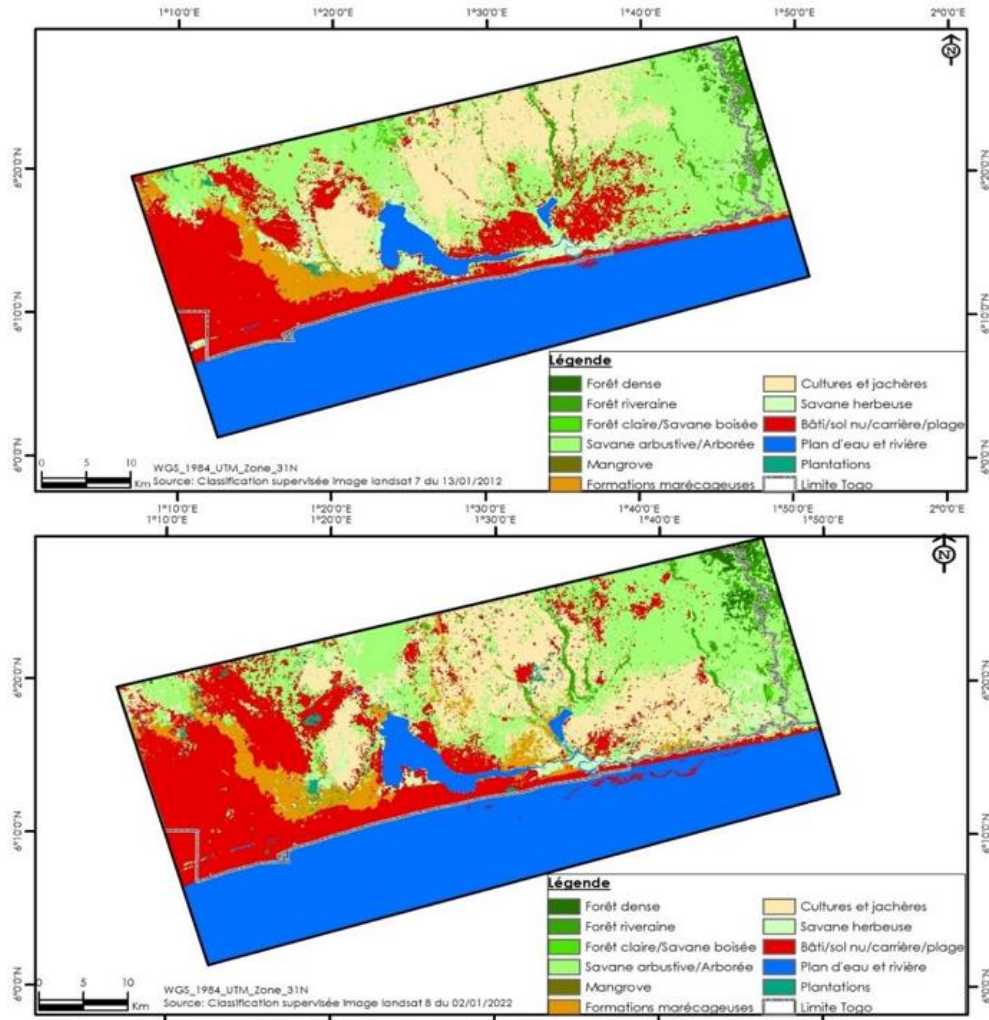


Figure 2: Occupations du sol du littoral togolais entre 2005 et 2022 ; *Land use on the Togolese coast between 2005 and 2022*

Les surfaces occupées par les formations végétales naturelles (forêt riveraine, galerie, savane) ont connu une baisse significative, passant de 31 % à 23 % du territoire. En revanche, les zones cultivées et habitées ont augmenté respectivement de 5 % et 8 % (tableau 3). On note également une légère progression des mangroves, qui représentent 0,07 % du sol en 2022, contre 0,03 % en 2005.

Tableau 3: Statistiques d’occupation du sol du littoral togolais entre 2005 et 2022 ; *Land use statistics for the Togolese coastline between 2005 and 2022*

Occupation	2005		2012		2022	
	ha	%	ha	%	ha	%
Forêt dense	86	0.03	632	0.25	1712	0.68
Forêt riveraine/galerie	6477	2.60	6911	2.77	5907	2.37

Forêt claire/Savane boisée	2093	0.84	719	0.28	521	0.20
Savane arbustive/Arborée	67255	27.04	59443	23.90	48562	19.53
Mangrove	92	0.03	1.3	0.01	183	0.07
Formations marécageuses	11160	4.48	11357	4.56	11908	4.78
Cultures et jachères	24581	9.88	36221	14.56	38341	15.41
Savane herbeuse	25088	10.08	9242	3.71	8764	3.52
Bâti/sol nu/carrière/plage	30933	12.44	45334	18.23	51891	20.86
Plan d'eau et rivière	77639	31.2	78210	31.45	78691	31.64
Plantations	3245	1.30	581	0.23	2170	0.87
Total	248655	100	248655	100	248655	100

(ha : hectare ; % : percent)

La forêt dense a connu une croissance significative entre 2005 et 2022, avec un taux de changement de 18% par an, tandis que la forêt claire a diminué de 8% par an sur la même période (figure 3). L'évolution la plus remarquable concerne les mangroves, qui ont affiché un taux de progression de 49% par an entre 2012 et 2022.

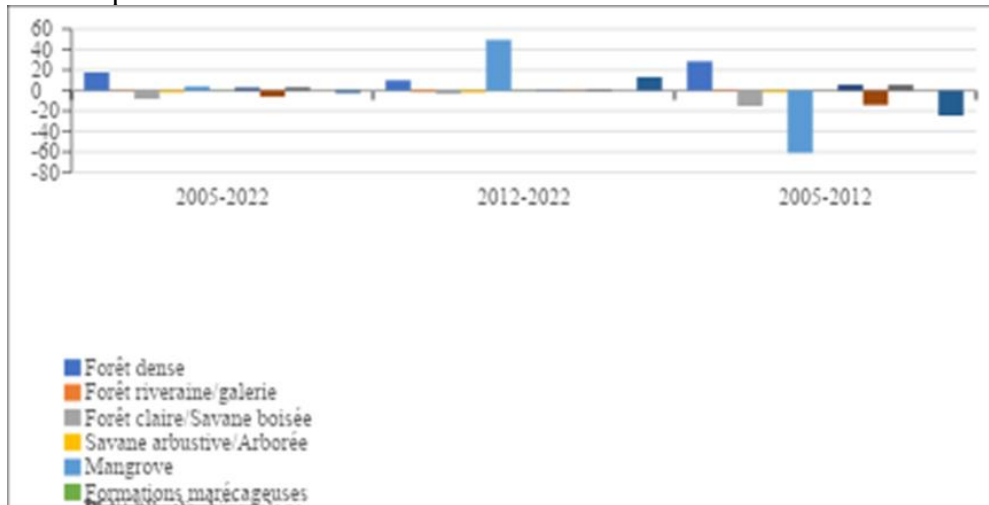


Figure 3: Evolution des classes d'occupations du sol entre 2005 et 2022 du littoral au Togo ; *Evolution of land use classes between 2005 and 2022 on Togo's coastline*

La dynamique du paysage dans la région étudiée montre une tendance à la transformation des écosystèmes naturels en écosystèmes anthropisés. Les principales modifications observées sont l'expansion de la mangrove au détriment des zones marécageuses et de la savane herbeuse, ainsi que l'augmentation de la zone de bâti aux dépens des zones de cultures et des savanes. Entre 2012 et 2022, plus de 4 420 ha de savanes arbustives et arborées ont été converties en zone de cultures. Ces changements reflètent les pressions exercées par les activités humaines sur les ressources naturelles (Tableau 4).

Tableau 4: Matrice de conversion des classes d'occupation ; Occupancy class conversion matrix

Périodes	Occupation du sol	Forêt dense	Forêt riveraine/galerie	Forêt claire/Savane /boisée	Savane arbustive/ arborée	Mangrove	Formations marécageuses	Cultures et jachères	Savane herbeuse	Bâti/sol nu/carrière/plage	Plan d'eau et rivière	Plantations	Total
2005-2012	Forêt dense	216000	195300	11700	486000	0	900	1800	23400	0	1800	0	936900
	Forêt riveraine/galerie	2178000	29937600	214200	22336200	0	1221300	4882500	3244500	964800	79200	89100	65147400
	Forêt claire/Savane boisée	27900	979200	1456200	4257900	0	225000	13280400	241200	1024200	31500	13500	21537000
	Savane arbustive/Arborée	3605400	19077300	2844900	373481100	0	18011700	141886800	23162400	86142600	324000	1354500	669890700
	Mangrove	4500	109800	6300	706500	6300	83700	0	41400	0	1800	34200	994500
	Formations marécageuses	36900	5141700	168300	16422300	1800	56441700	17658900	2495700	11969100	173700	1468800	111978900
	Cultures et jachères	18900	6985800	663300	45234900	900	2751300	147919500	2194200	40424400	100800	297000	246591000
	Savane herbeuse	245700	4554000	218700	103317300	4500	8415000	17577000	54708300	55195200	5559300	810900	250605900
	Bâti/sol nu/carrière/plage	0	94500	37800	16954200	0	3727800	8984700	4466700	271098900	4015800	38700	309419100
	Plan d'eau et rivière	0	34200	0	76500	0	2700	30600	595800	3891600	771731100	900	776363400
	Plantations	144000	2288700	1664100	10251000	0	2753100	9218700	1758600	3191400	43200	1822500	33135300
Total	6477300	69398100	7285500	593523900	13500	93634200	361440900	92932200	473902200	782062200	5930100	2486600100	
2102-2022	Forêt dense	2161800	1804500	20700	2447100	900	0	5400	33300	2700	900	0	6477300
	Forêt riveraine/galerie	3926700	32496300	1348200	22885200	702900	1310400	4144500	2115000	334800	78300	55800	69398100
	Forêt claire/Savane boisée	69300	945000	756900	4223700	25200	291600	748800	105300	116100	0	3600	7285500
	Savane arbustive/Arborée	10717200	13182300	1143000	290255400	854100	17235900	133215300	44246700	74591100	731700	7351200	593523900
	Mangrove	0	900	0	3600	9000	0	0	0	0	0	0	13500
	Formations marécageuses	1800	1676700	1198800	5661000	144900	56945700	6201000	4480200	14863500	158400	2302200	93634200
	Cultures et jachères	45900	6024600	427500	109613700	78300	13253400	176042700	7497900	45647100	72000	2737800	361440900
	Savane herbeuse	226800	1467000	318600	22324500	31500	9268200	4081500	24177600	25275600	3321000	2439900	92932200

Périodes	Occupation du sol	Forêt dense	Forêt riveraine/galerie	Forêt claire/Savane/boisée	Savane arbustive/arboree	Mangrove	Formations marécageuses	Cultures et jachères	Savane herbeuse	Bâti/sol nu/carrière/plage	Plan d'eau et rivière	Plantations	Total
	Bâti/sol nu/carrière/plage	0	1721700	90000	25736400	27000	19332900	57295800	4221000	351712800	8339400	5425200	473902200
	Plan d'eau et rivière	26100	49500	0	306000	0	34200	65700	759600	6321600	774115200	385200	782063100
	Plantations	11700	108900	32400	1519200	11700	1412100	356400	490500	616500	6300	1364400	5930100
	Total	17187300	59477400	5336100	484975800	1885500	119084400	382157100	88127100	519481800	786823200	22065300	2486601000

3.2. Analyse de l'évolution du trait de côte

La numérisation du trait de côte de l'image Landsat 2005 et 2022 a permis de réaliser une cartographie des évolutions du littoral du Togo. Trois situations sont observées : la stabilisation, l'érosion et l'accrétion (figure 4). Cette cartographie offre une vision synthétique de la dynamique côtière à une échelle temporelle donnée. On constate que le secteur situé avant le Port autonome de Lomé (3 à 4 km avant) présente un recul important de la ligne de côte (accrétion) de 10,0 m/an. La zone du port, quant à lui, est marqué par une forte avancée (érosion) d'une moyenne de 29 m/an. À l'Est du port jusqu'à l'embouchure du lac, la ligne de côte avance légèrement (érosion) (4.2 m/an). C'est la zone située à l'Est de l'embouchure qui connaît une avancée significative qui est en moyenne de 9 m/an. Cette variation moyenne (-9,53 m/an) est comprise dans la marge d'erreur.

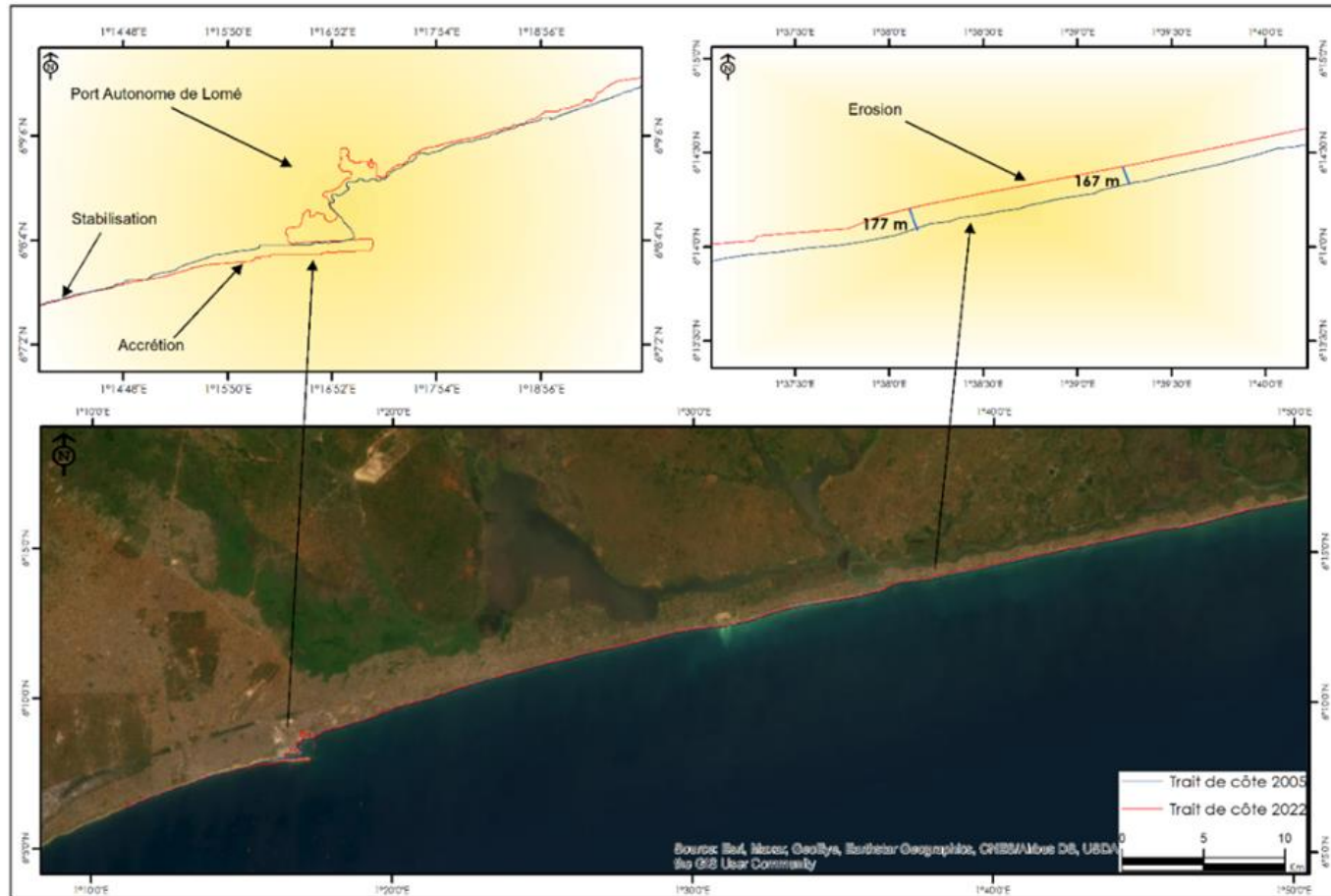


Figure 4: Evolution du trait de côte togolais entre 2005 et 2022 ; *Evolution of the Togolese coastline between 2005 and 2022*

4. Discussions

L'évolution des paysages côtiers est un enjeu mondial, qui suscite l'intérêt de nombreux chercheurs. L'analyse de l'occupation du sol au niveau du littoral togolais entre 2005 et 2022 a révélé une diminution des écosystèmes naturels (forêt, savane) au profit des écosystèmes anthropiques (cultures, constructions). Ces changements sont liés à la croissance urbaine et au développement économique, qui ont des impacts négatifs sur l'environnement et les services écosystémiques. Les activités humaines ont entraîné une exploitation plus intensive et plus diversifiée des terres (Tiamgne *et al.*, 2021). Ainsi, des zones de végétation naturelle du littoral ont été transformées en zones résidentielles ou agricoles. Cette transformation a réduit la biodiversité et fragmenté les habitats naturels. Toutefois, il faut noter que les mangroves ont augmenté pendant cette période. Ceci est dû à la prise de conscience collective sur l'importance de protéger les mangroves, qui a conduit à des actions de restauration de la part des autorités publiques, des comités de développement locaux, des organisations de la société civile et des populations riveraines. Dans le cadre du projet WACA, un programme de reboisement de 31 750 plants de palétuviers a été lancé à Aného au Togo sur 35 hectares en 2019, avec des activités de sensibilisation et d'appui aux riverains.

Ces changements d'utilisation et d'occupation des sols sont l'une des principales forces motrices du changement environnemental global et constituent donc une préoccupation majeure en raison de leurs impacts sur divers secteurs de l'économie. En effet, bon nombre des problèmes rencontrés dans les estuaires et les zones côtières sont le résultat direct de l'accroissement des activités humaines issues de la croissance industrielle et de la croissance démographique sur le littoral. Pour mesurer l'effets de ces pressions anthropiques sur le trait de côte, l'étude cartographique menée sur la période 2005-2022 a révélé trois types d'évolution : la stabilité, l'érosion et l'accrétion. Toutefois, la tendance générale est à une forte érosion, pouvant atteindre 9,53 m par an dans certains secteurs. Cette étude confirme les observations d'Ozer *et al.* (2017) qui ont révélé que plus de la moitié du littoral béninois est affectée par une érosion significative, avec des taux de recul annuels pouvant atteindre 10 mètres ou plus. Dans le même sens, les recherches de Thior *et al.* (2021) ont estimé que le trait de côte dans la partie nord de l'estuaire de la Casamance au Sénégal a reculé en moyenne de 5,3 m/an au cours de la période 2004-2019.

L'évolution du trait de côte est influencée par plusieurs facteurs, qu'ils soient naturels ou humains. Parmi ces facteurs, on peut citer l'installation d'infrastructures importantes sur le littoral, qui modifient les équilibres sédimentaires (Kaki *et al.*, 2011) . On peut aussi mentionner les prélèvements de sable sur la plage, qui réduisent la capacité de résistance de

la côte face à l'érosion (Ayenagbo *et al.*, 2011). Ces prélèvements sont souvent liés à la demande croissante de matériau de construction dans les villes côtières, qui connaissent une forte croissance démographique. Même si ces prélèvements sont réglementés ou interdits, il n'est pas sûr que ces lois soient respectées. Il semble que cette exploitation soit moins visible qu'avant, mais pas moins réelle. Aussi, la construction de barrages et de ports a eu un impact négatif sur le transport sédimentaire le long des côtes du Togo. Le fleuve Mono, qui apportait environ 100 000 m³ de sable par an avant le barrage, va perdre sa capacité à alimenter le littoral en sédiments d'ici 2037 (Blivi, 2000). Les ports de Lomé ont également interrompu le flux naturel des sables sur la côte. Par ailleurs, La disparition de la mangrove a des impacts négatifs sur le plan local. Cette végétation contribue à maintenir la ligne du littoral ou, au minimum, à ralentir l'érosion côtière. De plus, en lien avec le changement climatique, la montée du niveau des mers affecte l'érosion côtière. Selon divers scénarios de réchauffement, le niveau des mers pourrait s'élever de 26 à 82 cm d'ici 2100 (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2014).

La gestion intégrée du littoral est une condition nécessaire pour un développement durable qui respecte l'équilibre entre les dimensions économique, écologique et sociale. Les zones côtières sont des espaces complexes et dynamiques, où se croisent de multiples processus et acteurs, et où se manifestent de forts enjeux de conservation, de valorisation et de gouvernance. Face à la pression démographique et aux risques environnementaux, il est indispensable de renforcer les connaissances scientifiques sur les systèmes littoraux et de favoriser une approche participative et transdisciplinaire pour leur aménagement et leur protection. Le Togo, pays côtier d'Afrique de l'Ouest, a initié ce processus en 2002, en élaborant un plan d'action national qui définit les orientations stratégiques et les principes de gestion de l'eau et de l'environnement, conformément aux normes internationales et aux priorités nationales. Dans ce cadre, le Togo bénéficie du soutien du projet WACA (West Africa Coastal Areas), un programme régional de la Banque mondiale qui a pour objectif de renforcer la résilience des zones côtières face aux risques climatiques et environnementaux. Le projet WACA, lancé au Togo en 2016, appuie la mise en œuvre du plan d'investissement multisectoriel pour la résilience côtière, qui couvre l'ensemble du littoral togolais, long de 56 km ; et au-delà l'ensemble de la région maritime pour des appuis socioéconomiques multiformes, en dehors des solutions environnementales ciblées. Les actions menées par WACA au Togo portent sur la prévention et la réduction de l'érosion côtière et des inondations, la gestion de la pollution et la préservation des écosystèmes côtiers, le renforcement des capacités institutionnelles et juridiques liées au littoral, l'amélioration des

connaissances et leur diffusion, ainsi que les investissements sectoriels. Au Bénin, le programme AGIR-Eau s'inscrit dans cette démarche en relevant de nombreux défis dans le secteur de l'eau, notamment l'intégration des thématiques de la gestion des eaux usées, de genre et des changements climatiques au Plan d'Action National de Gestion Intégrée des ressources en Eau (PANGIRE). Le Sénégal et la Côte d'Ivoire sont aussi deux pays qui ont adopté une approche intégrée pour la gestion de leurs zones côtières, qui sont confrontées à des défis environnementaux et sociaux. Le Sénégal a lancé le Programme d'Aménagement et de Gestion Intégrée des Zones Côtières (PAGIZC), qui vise à renforcer la résilience des écosystèmes côtiers et des communautés qui en dépendent. La Côte d'Ivoire a élaboré un Plan d'Action National de Gestion Intégrée des Ressources en Eau (PANGIRE), qui prend en compte les aspects liés à la pollution des eaux usées, à l'équité de genre et aux changements climatiques. Ces initiatives illustrent l'importance de la gestion intégrée des zones côtières pour le développement durable des pays africains.

La gestion intégrée du littoral est une condition nécessaire pour le développement durable, selon de nombreux chercheurs. La planification spatiale joue un rôle essentiel dans cette gestion, car elle permet de coordonner les actions des acteurs publics et privés sur le littoral, en tenant compte des besoins et des contraintes de la zone côtière. Elle vise à assurer une cohérence entre la gestion des bassins versants et la gestion du littoral, en respectant l'interface entre la mer et la terre. Pour relever les défis liés à la zone côtière, il faut également harmoniser les politiques nationales et sectorielles et appliquer les législations environnementales existantes. Il faut donc renforcer la collaboration entre les différents acteurs impliqués dans la gestion des zones côtières, tels que les ministères, les collectivités locales, les organisations de la société civile, le secteur privé, etc.

Conclusion

L'objectif de cette étude était d'examiner les changements paysagers du littoral togolais et leur influence directe sur l'érosion côtière. Les résultats ont révélé que les changements d'occupation du sol se manifestent par une augmentation des zones anthropisées (bâti et culture) au détriment de la végétation naturelle sur le littoral togolais entre 2005 et 2022. Ils ont permis de comprendre la logique de ces transformations, qui est la conversion des espaces naturels en espaces urbanisés. Toutefois, il faut souligner que les mangroves ont augmenté. En effet de 0.03% du territoire en 2005, elles sont passées à 0.07% soit une augmentation de 133,33%. Cela témoigne de l'effort réalisé par le gouvernement et les collectivités locales pour leur restauration. Par ailleurs, les résultats de cette étude ont montré que le trait de côte togolais présente trois dynamiques d'évolution entre 2005-2022 : la

stabilité, l'érosion et l'accrétion. La gestion intégrée du littoral reste une option plausible pour un développement durable de cet espace dans l'optique de la sauvegarde de l'équilibre aux échelles économique, écologique et sociale au Togo.

Conflit d'intérêts : Les auteurs n'ont signalé aucun conflit d'intérêts.

Disponibilité des données : Toutes les données sont incluses dans le contenu de l'article.

Déclaration de financement : Les auteurs n'ont obtenu aucun financement pour cette recherche.

References:

1. Alam, A., Bhat, M., Maheen, M., (2020). Using Landsat satellite data for assessing the land use and land cover change in Kashmir valley. *GeoJournal* 2020, 85, 1529–1543.
2. Ayenagbo K., Kimatu J.N., Gondwe J. & Rongcheng W., (2011). The transportation and marketing implications of sand and gravel and its environmental impact in Lome-Togo. *Journal of Economics and International Finance*, 3: 125-138.
3. Blivi, A., (1993). Morphology and current dynamics of the coast of Togo. *Geo-Eco-Trop*, 17: 25-40.
4. Blivi A., (2000). Effets du barrage de Nangbeto sur l'évolution du trait de côte : une analyse prévisionnelle sédimentologique. *Journal de la Recherche Scientifique de l'Université du Bénin (Togo)*, 4: 29-41
5. Boak, E.H. and Turner, I.L., (2005). Shoreline definition and detection: a review, *Journal of Coastal Research*, Vol. 21, No. 4, pp. 688–703.
6. Boateng, I. (2012). An application of GIS and coastal geomorphology for large scale assessment of coastal erosion and management: a case study of Ghana. *Journal of coastal conservation*, 16, 383-397.
7. Breiman, L. (2001). « Random forests ». *Machine learning* 45 (1): 5–32.
8. Crowell, M., Leatherman, S. & Buckley, M.-K. (1994). « Shoreline change rate analysis : long term versus short term data », *Shore and Beach*, vol. 61, n° 2, pp. 13-20.
9. De Sherbinin, A.; Carr, D.; Cassels, S.; Jiang, L., (2007). Population and environment, *Annu. Rev. Environ. Res.* 2007, 32, 345–373.

10. EFESE, (2019). L'évaluation française des écosystèmes et des services écosystémiques, *La séquestration de carbone par les écosystèmes en France*. 192 p.
11. Gao, B. C. (1996). NDWI-A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote sensing of environment*, 58(3), 257-266.
12. Gislason, P. O., Jon A. B., et Johannes R. S. (2006). « Random forests for land cover classification ». *Pattern Recognition Letters* 27 (4): 294–300.
13. Gould A I., Kinsman N.E.M., Hendricks M.D., (2015). Guide to Projected Shoreline Positions in the Alaska Shoreline Change Tool, (), Department of Natural Resources, Division of Geological & Geophysical Surveys. *Miscellaneous Publication* 158, 11 p.
14. Grinand, C., Rakotomalala, F., Gond, V., Vaudry, R., Bernoux, M., & Vieilledent, G. (2013). Estimating deforestation in tropical humid and dry forests in Madagascar from 2000 to 2010 using multi-date Landsat satellite images and the random forests classifier. *Remote Sensing of Environment*, 139, 68-80.
15. Gutman, G., Byrnes, R., Masek, J., Covington, S., Justice, C., Franks, S., & Headley, R. (2008). Towards monitoring land-cover and land-use changes at a global scale: The Global Land Survey 2005.
16. Hansen, M. C., et Loveland, T. R. (2012). A review of large area monitoring of land cover change using Landsat data. *Remote sensing of Environment*, 122, 66-74.
17. IPBES (2019): Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. E. S. Brondizio, J. Settele, S. Díaz, and H. T. Ngo (editors). IPBES secretariat, Bonn, Germany. 1148 pages. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3831673>
18. IPCC (2014). Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Farahani, E., Kadner, S., Seyboth, K., Adler, A., Baum, I., Brunner, S., Eickemeier, P., Kriemann, B., Savolainen, J., Schlömer, S., von Stechow, C., Zwickel, T., & Minx, J. C. (Eds.)]. *Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press*.
19. Juigner M., Robin M., Fattal P., Maanan M., Le Guern C., Gouguet L., Baudouin V., Debain F. (2012). « Cinématique d'un trait de côte sableux en Vendée entre 1920 et 2010. Méthode et analyse ». *Dynamiques Environnementales. Journal international des géosciences et de l'environnement*, p. 29-39.

20. Juigner, M. (2017). *La géomatique au service de l'observation du trait de côte : contribution à l'analyse des aléas côtiers sur les littoraux dunaires de la région des Pays de la Loire*. Thèse de l'Université de Nantes, 232 p.
21. Kaki C., Laibi, R.A. et Oyede, L.M. (2011). Evolution of Beninese coastline from 1963 to 2005: causes and consequences. *British Journal of Environment & Climate Change*, 1: 216-231.
22. Lefort, L. (2014). *Le Génie du paysage: l'idéologie paysagère dans la littérature française des années 1800* (Doctoral dissertation, Université de la Sorbonne nouvelle-Paris III).
23. Luijendijk, A., Hagenaars, G., Ranasinghe, R., Baart, F., Donchyts, G., and S. Aarninkhof. 2018. *The state of the world's beaches*. Scientific Report Vol. 8, pp. 6641.
24. Mathieu L., (2014). *Cartographie et analyse de l'aléa instabilité sur les falaises et talus rocheux du littoral vendéen*. Mémoire de Master, institut de géographie et d'aménagement régional de l'Université de Nantes, 109 p.
27. Moore L. J., Griggs G.B. (2002). Long-term cliff retreat and erosion hotspots along the Central shores of the Monterey Bay National Marine Sanctuary. *Marine Geology*, vol. 181, no 1-3, p. 265-283, DOI: [10.1016/S0025-3227\(01\)00271-7](https://doi.org/10.1016/S0025-3227(01)00271-7)
28. Morton. R. A., Miller T. L., Moore L. J. (2004). National assessment of shoreline change: Part 1. Historical shoreline changes and associated coastal land loss along the U.S. Gulf of Mexico. *U.S. Geological Survey Open-file Report 2004-1043*, 45 p. DOI:[10.3133/ofr20041043](https://doi.org/10.3133/ofr20041043)
29. Munsu, M.; Malaviya, S.; Oinam, G.; Joshi, P. A (2009). Landscape approach for quantifying land-use and land-cover change (1976–2006) in middle Himalaya. *Reg. Environ. Chang.* 10, 145–155.
30. Ozer, P., Hountondji, Y., De Longueville, F., (2017). Evolution récente du trait de côte dans le golfe du Bénin. Exemples du Togo et du Bénin. *In Geo-Eco-Trop: Revue Internationale de Géologie, de Géographie et d'Écologie Tropicales*, 41 (3).
31. Rossi, G. (1991). Erosion littorale et acteurs sociaux. L'exemple du Togo (Coastal erosion and man's behavioural response in Togo). *Bulletin de l'Association de géographes français*, 68(3), 225-233.
32. Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *NASA Spec. Publ.*, 351(1), 309.

33. Sadio M. (2017). *Morphodynamique et aménagement des flèches littorales de la côte du Sénégal*. Thèse de doctorat, UCAD/Aix-Marseille Université, 375 p.
34. Sari, I. L., Weston, C. J., Newnham, G. J., & Volkova, L. (2021). Assessing accuracy of land cover change maps derived from automated digital processing and visual interpretation in tropical forests in Indonesia. *Remote Sensing*, 13(8), 1446. <https://doi.org/10.3390/rs13081446>.
35. Schneider, A., (2012). Monitoring land cover change in urban and peri-urban areas using dense time stacks of Landsat satellite data and a data mining approach. *Remote Sensing of Environment* 124: 689–704.
36. Tagliarolo, M., & Rousseau, Y. (2022). *Caractérisation de la biodiversité des habitats côtiers et estuariens*. (BioCotEs: Biodiversité Côtière et Estuarienne). Rapport final. RBE/BIODIVHAL/ 2022-1
37. Teixido, N., Usall, J., et Torres, R. (2022). Insight into a successful development of biocontrol agents: Production, formulation, packaging, and shelf life as key aspects. *Horticulturae*, 8(4), 305.
38. Thieler, E. R., Himmelstoss, E. A., Zichichi, J. L., & Ergul, A. (2009). The Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0-an ArcGIS extension for calculating shoreline change (No. 2008-1278). *US Geological Survey*. <https://doi.org/10.3133/ofr20081278>
39. Thior M., Sy A. Abou, Cisse I. E.H.B., Dieye T., Sane , B. Demba Ba , B. Solly , Luc Descroix L., (2021). Approche cartographique de l'évolution du trait de côte dans l'estuaire de la Casamance, *Mappemonde*, DOI: https://doi.org/10.4000/mappe_monde.5939
40. Thomas, P. (2014). *Trees: their natural history*. Cambridge University Press.
41. Tiamgne, X. T., Kalaba, F. K., & Nyirenda, V. R. (2021). Land use and cover change dynamics in Zambia's Solwezi copper mining district. *Scientific African*, 14, e01007.
42. UNEP, UN. (2018). Legal limits on single-use plastics and microplastics: a global review of national laws and regulations. *United Nations Environment Programme (UNEP), Nairobi*.