

DYNAMIQUE MORPHOGENETIQUE ET VULNERABILITE TERRITORIALE DU TRAIT DE COTE A JOAL-FADIOUTH (SENEGAL) 1995 A 2025

Serigne Aziz, DIOUF

Doctorant en géomorphologie, Département de Géographie, Université Cheikh Anta Diop

serigneaziz.diouf@ucad.edu.sn / serigne98diouf@gmail.com

Résumé

Cette étude examine la dynamique morphogénétique du trait de côte dans la commune de Joal-Fadiouth (Sénégal) sur la période 1995-2025, en mettant l'accent sur les interactions entre processus hydrosédimentaires et vulnérabilité territoriale. L'approche méthodologique repose sur l'exploitation d'images satellitaires Landsat multi-temporelles, le calcul de l'indice NDWI pour l'extraction des lignes de rivage, ainsi que l'analyse diachronique via le module DSAS permettant d'estimer les vitesses d'évolution à partir des indicateurs EPR, LRR et R². Les résultats révèlent une variabilité spatio-temporelle marquée, caractérisée par une dominance des phases érosives, avec des taux de recul pouvant dépasser localement -7 m/an dans les secteurs exposés aux houles atlantiques (façade ouest de Joal). Les zones abritées présentent en revanche des dynamiques plus stables, voire localement accrétives (+3 à +4 m/an). L'évolution globale se traduit par un recul cumulé significatif du trait de côte (60 à 70 m), traduisant un déficit sédimentaire et une rupture progressive des équilibres morphodynamiques. Cette dynamique s'inscrit dans un contexte d'anthropisation croissante du littoral, marqué par l'urbanisation, l'exploitation des ressources sableuses et la pression démographique. L'étude met ainsi en lumière une vulnérabilité territoriale différenciée, très critique dans la zone sud, corrélée à l'intensité des processus d'érosion et à l'exposition de l'urbanisation.

Mots-clés : *trait de côte, érosion, NDWI, vulnérabilité, Joal-Fadiouth.*

Abstract

This study examines the morphogenetic dynamics of the coastline in the municipality of Joal-Fadiouth (Senegal) over the period 1995-2025, focusing on the interactions between hydrosedimentary processes and territorial vulnerability. The methodological approach relies on the use of multi-temporal Landsat satellite images, the calculation of the NDWI index for the extraction of shoreline lines, as well as diachronic analysis via the DSAS module, which allows for the estimation of evolution rates based on the EPR, LRR, and R² indicators. The results reveal marked spatiotemporal variability, characterized by a predominance of erosive phases, with retreat rates that can locally exceed -7 m/year in areas exposed to Atlantic swells (west coast of Joal). Sheltered areas, on the other hand, exhibit more stable dynamics, and in some

places even show accretion (+3 to +4 m/year). The overall trend results in a significant cumulative retreat of the shoreline (60 to 70 m), reflecting a sediment deficit and a gradual breakdown of morphodynamic equilibria. This dynamic occurs within a context of increasing human impact on the coastline, marked by urbanization, sand resource extraction, and population pressure. The study thus highlights a differentiated territorial vulnerability, which is particularly critical in the southern zone, correlated with the intensity of erosion processes and the exposure of urban areas.

Keywords: *shoreline change, erosion, NDWI, vulnerability, Joal-Fadiouth.*

1. Introduction

Les littoraux sableux d’Afrique de l’Ouest constituent des systèmes morphodynamiques particulièrement sensibles aux variations hydroclimatiques et aux pressions anthropiques. Leur fonctionnement repose sur des équilibres sédimentaires fragiles, fortement dépendants des conditions hydrodynamiques (houle, courants, marée) et des apports terrigènes. Depuis plusieurs décennies, ces espaces connaissent une accélération marquée des processus d’érosion côtière, en lien avec la variabilité climatique, l’élévation du niveau marin et l’intensification des houles atlantiques, mais également avec les mutations rapides des usages du sol et des dynamiques d’occupation humaine (Diop, 1990 : 42 ; IPCC, 2021 : 1263). Dans ce contexte, les littoraux ouest-africains apparaissent aujourd’hui comme des espaces à forte vulnérabilité, où les déséquilibres morphosédimentaires tendent à s’amplifier.

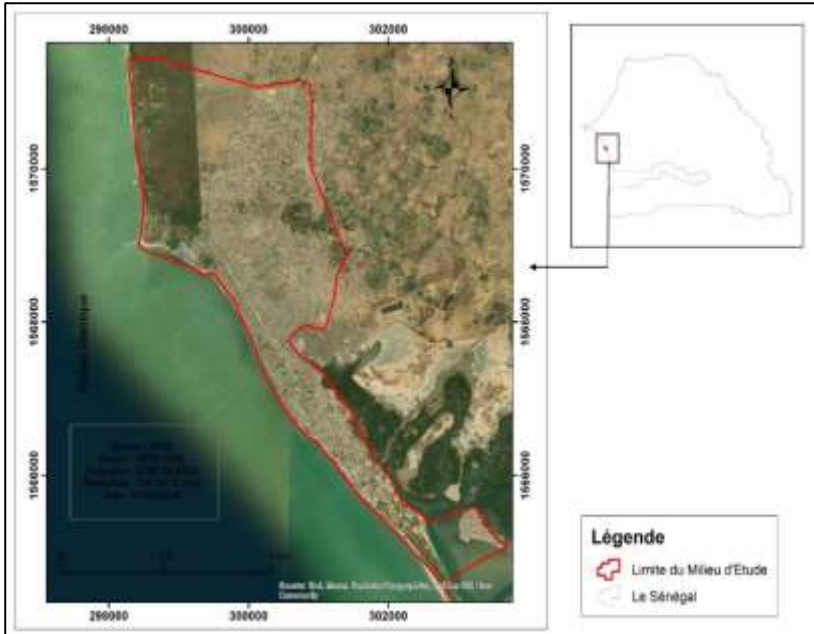
La commune de Joal-Fadiouth s’inscrit pleinement dans ce contexte de forte instabilité morphologique. Située sur la Petite Côte sénégalaise, elle présente une configuration géomorphologique complexe, associant cordons sableux littoraux, zones estuariennes et formations coquillières, héritées de l’évolution du système du Saloum. Cette diversité morphologique induit des réponses différenciées aux forçages marins et estuariens, notamment en termes de mobilité du trait de côte et de redistribution sédimentaire.

Les travaux récents consacrés aux littoraux sénégalais montrent que l’érosion côtière ne constitue pas un phénomène homogène, mais résulte d’un système d’interactions complexes entre

hydrodynamique, sédimentologie et actions anthropiques (Gaye et al., 2025 : 17). L'intensification des pressions humaines (urbanisation littorale, extraction de sable, aménagements côtiers), contribue à perturber les flux sédimentaires et à accentuer les déséquilibres morphodynamiques. Dans ce cadre, l'analyse multitemporelle du trait de côte apparaît comme un outil essentiel pour appréhender les trajectoires d'évolution littorale, identifier les zones critiques et caractériser les dynamiques spatiales de l'érosion. Ainsi, cette contribution a pour objectif d'analyser la dynamique morphogénétique du trait de côte entre 1995 et 2025 et d'évaluer la vulnérabilité territoriale associée dans la commune de Joal-Fadiouth. L'hypothèse centrale repose sur l'idée que la variabilité du trait de côte traduit une recombinaison des équilibres morphodynamiques, sous l'effet combiné des processus naturels (forçages hydrodynamiques, déficit sédimentaire) et des pressions anthropiques croissantes.

Sur le plan physique, le littoral de Joal-Fadiouth est caractérisé par une faible altitude, des formations sableuses mobiles et une exposition directe aux houles atlantiques, notamment de secteur ouest. Le fonctionnement morphosédimentaire repose en grande partie sur une dérive littorale dominante orientée nord-sud, associée à des apports sédimentaires limités. Cette configuration favorise une instabilité structurelle du trait de côte, particulièrement sensible aux perturbations externes. L'ensemble de ces facteurs contribue à faire de Joal-Fadiouth un espace emblématique des dynamiques de vulnérabilité côtière en Afrique de l'Ouest, où les interactions entre systèmes naturels et systèmes socio-territoriaux déterminent les trajectoires d'évolution du littoral.

Carte 1 : Localisation géographique du milieu d'étude



2. Méthodologie

2.1. Données satellitaires

L'étude s'appuie sur des images Landsat multi-dates (1995, 2005, 2015, 2025) provenant des capteurs Landsat 4-5 TM et Landsat 8 OLI, offrant une résolution spatiale de 30 mètres. Elles ont été téléchargées à partir de la plateforme EarthExplorer de l'USGS accessible à l'adresse suivante : <https://earthexplorer.usgs.gov>, permettant une analyse diachronique du littoral.

Tableau 1 : Images satellitaires utilisées

Landsat	Capteurs	Date	Résolution
Landsat 5	TM	1995-04-21	30
		2005-04-24	
		2015-05-29	
Landsat 8	OLI et TIRS	2025-05-27	

Source : USGS

2.2. Extraction du trait de côte

Le trait de côte est extrait à partir du NDWI (Indice d'Eau par Différence Normalisée), indice permettant de discriminer les surfaces en eau. La détection et l'extraction de la ligne de rivage a été faite dans le logiciel Arcgis en déterminant au préalable l'indice de différence normalisée de l'eau ou « Normalized Difference Water Index » (NDWI) avec :

$$\text{NDWI} = \frac{\text{Greenband} - \text{InfraRedband}}{\text{Greenband} + \text{infraRedband}}$$

Le NDWI est reclassé en 2 classes avec eau et terre puis convertit en vecteur afin de digitaliser le trait de côte par ArcGis.

2.3. Analyse DSAS

La dynamique est quantifiée par la génération de transects et le calcul de l'EPR (End Point Rate), LRR (Linear Regression Rate) et R². Cette approche permet de mesurer les vitesses d'évolution du trait de côte.

2.3.1. Préparation des traits de côte

Les lignes de rivages de deux dates sont regroupées en une seule couche par 'Merge' ensuite, après homogénéisation elle constitue la Shoreline. Puis la création de la Baseline ou ligne de référence à partir du Buffer de 200m est effectuée sur ce fichier groupé avant

de les intégrer dans une base de données avec leurs références géographiques. Chaque ligne de côte est associée à une date précise (time-stamp). ‘Attribute Automator’ de Dsas a permis l’ajout des champs ‘Date et Incertitude’ pour les lignes de côte et ‘ID et Group’ pour la Baseline de manière automatique.

2.3.2. Choix des transects et calcul statistique

La génération automatique de transects perpendiculaires qui serviront à mesurer les déplacements successifs du trait de côte est effectuée par ‘Cast Transect’ avant de réaliser le calcul des statistiques d’évolution par l’indicateur EPR (End Point Rate) qui mesure la vitesse de déplacement du trait de côte entre la première et la dernière date et LRR (Linear Regression Rate) qui exprime le taux de changement basé sur une régression linéaire utilisant toutes les dates disponibles. Le coefficient de détermination (R^2) a été aussi utilisé afin d’évaluer la qualité de l’ajustement linéaire entre la position du trait de côte et le temps. Il permet d’estimer la proportion de variance expliquée par le modèle de régression linéaire, offrant ainsi un indicateur de fiabilité du taux de régression (LRR).

La comparaison entre l’End Point Rate (EPR) et le Linear Regression Rate (LRR), couplée à l’analyse du coefficient de détermination (R^2), met en évidence des contrastes spatiaux significatifs. Les secteurs où EPR et LRR convergent avec un R^2 élevé traduisent une dynamique morphologique relativement stable, tandis que leur divergence associée à un faible R^2 révèle une forte variabilité spatio-temporelle, caractéristique de zones morphodynamiquement instables.

3. Résultats

L’analyse diachronique permet de distinguer trois phases morphodynamiques majeures :

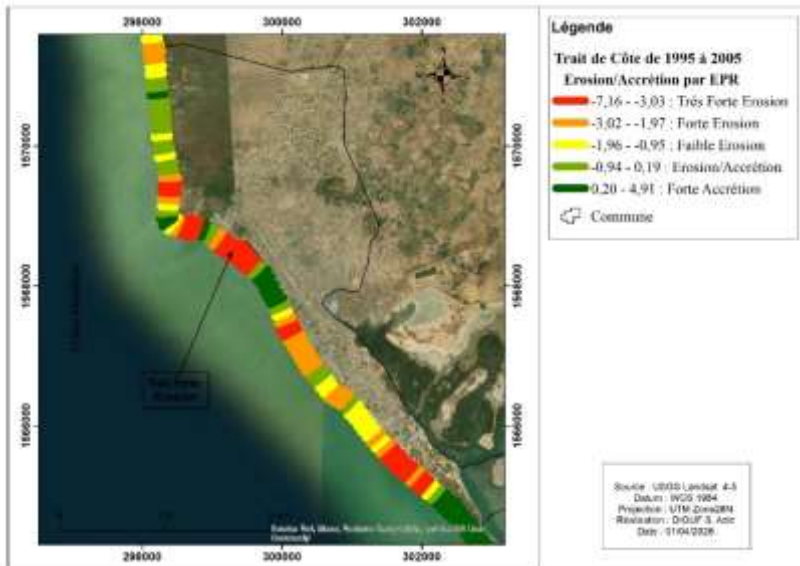
- Une phase d’érosion relativement stable (1995-2005)
- Une phase de stabilité marquée par l’accrétion (2005-2015)

- une phase d'un déséquilibre très marqué (2015-2025)

3.1. Cinématique du trait de côte sur la période 1995-2005

Cette période est marquée par une stabilité relative avec des taux faibles, qui varient de -0,5 à -1 m/an, entraînant un équilibre relatif entre érosion et accrétion. Elle correspond à un système encore proche de l'équilibre morphodynamique. En effet, les valeurs EPR montrent une érosion plus marquée au centre, comprise entre -1,96 et -7 m et une accrétion plus significative de plus en plus vers les extrémités du ligne de rivage de Joal, pouvant atteindre +4,91 m (carte 2).

Carte 2 : Evolution du trait de côte de la Commune de Joal-Fadiouj de 1995 à 2005

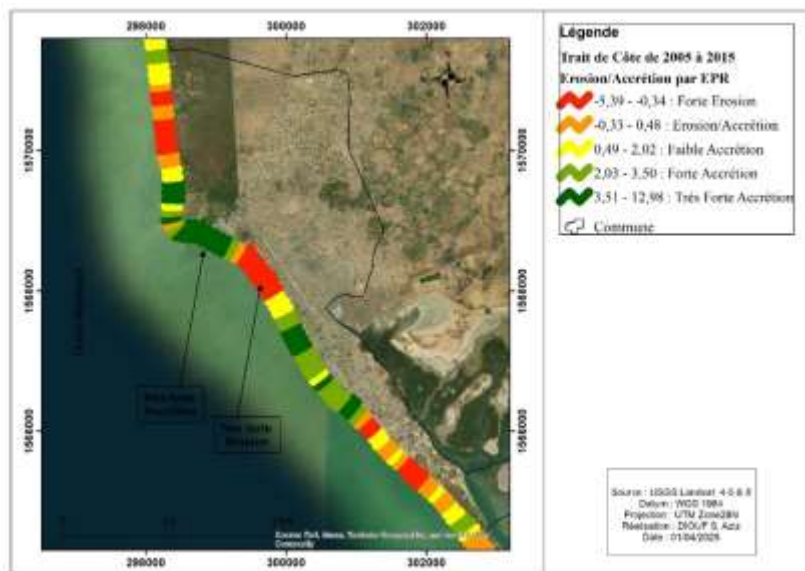


3.2. Cinématique du trait de côte sur la période 2005-2015

La période 2000-2015 est marquée par une accélération de l'accrétion, qui se manifeste par une augmentation des taux

comprises entre +2,03 à +3,5 m/an. En effet, les valeurs EPR révèlent une recomposition sédimentologique du milieu dominée par une accumulation dans sa quasi-totalité. Cette accrétion varie de +0,49 à +3,50 m, et pouvant atteindre jusqu'à plus de +12,90 m. Cependant, la façade ouest de Joal se voit par des valeurs d'érosion plus accentuée (-5,39 m), qui peut être liée à l'intensification de la houle et le début d'anthropisation accrue (urbanisation littorale, extraction de sable) sur cette portion (carte 2).

Carte 3 : Evolution du trait de côte de la Commune de Joal-Fadioudj de 2005 à 2015

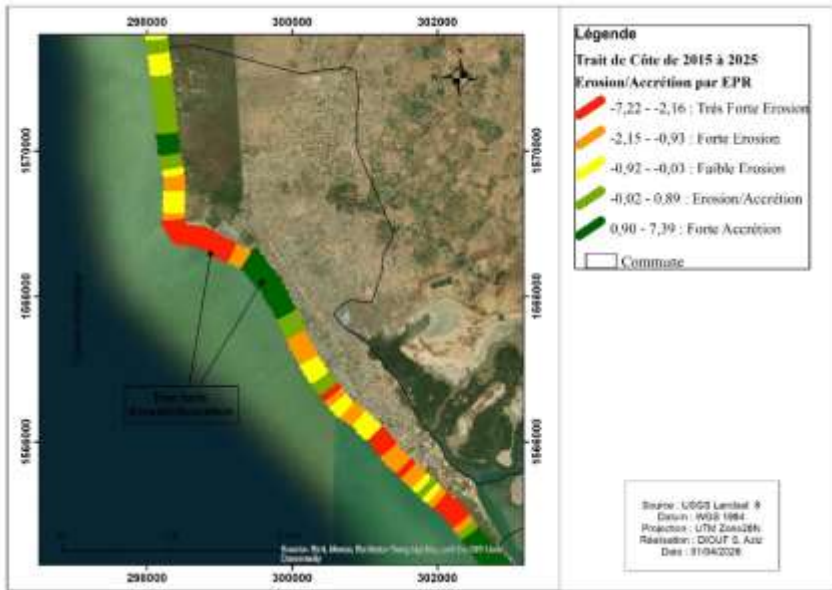


3.3. Cinématique du trait de côte sur la période 2005-2015

La phase 2015-2025 est marquée par un déséquilibre morphosédimentaire avec de taux élevés de -2,16 à -7,22 m/an localement. Cette érosion est plus accentuée sur la partie centrale de la commune ainsi que sur la quasi-totalité de la portion sud. Le

milieu se voit par un léger gain sédimentaire durant cette période (carte 4). Cette phase traduit alors une rupture d'équilibre morphodynamique, une diminution des stocks sédimentaires, une artificialisation du littoral et une amplification des forçages climatiques.

Carte 4 : Evolution du trait de côte de la Commune de Joal-Fadioudj de 2015 à 2025

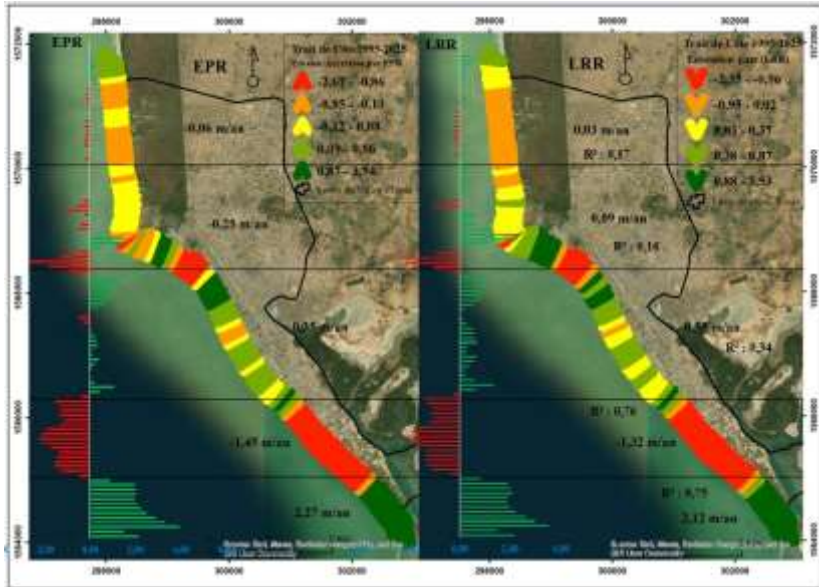


3.4. Bilan global du recul du trait de côte

Dans l'ensemble de la période 1995-2025, l'analyse conjointe des indicateurs EPR, LRR et R^2 , intégrée dans le contexte géomorphologique de Joal-Fadiouth, secteur caractéristique de la Petite Côte sénégalaise marqué par une plaine sableuse littorale basse, une dynamique de dérive littorale active et l'influence du delta du Sine-Saloum, révèle une organisation spatiale contrastée du trait de côte (**carte 5**). En effet, le secteur méridional se distingue par une érosion forte et continue (EPR : -1,45 à -2,27

m/an ; LRR : -1,32 à -2,12 m/an) associée à des valeurs élevées de R^2 ($> 0,75$), traduisant une dynamique linéaire fiable dominée par les processus hydrodynamiques (houle atlantique, dérive littorale et déficit sédimentaire). À l'inverse, la zone centrale, correspondant à un secteur de transition morphologique (coude du littoral et interface avec les systèmes estuariens et bolongs), présente une forte instabilité caractérisée par une divergence entre EPR (0,35) et LRR (0,55) et de faibles valeurs de R^2 ($< 0,35$), révélant des fluctuations importantes liées à la variabilité des apports sédimentaires, aux dynamiques tidales et aux réorganisations locales du rivage. Enfin, la partie septentrionale montre une pseudo-stabilité (EPR faiblement négatif (-0,06), LRR légèrement positif (0,03), R^2 faible (0,17)), indiquant une alternance d'épisodes d'érosion et d'accrétion typique des littoraux sableux sous contrôle hydrosédimentaire complexe. Ainsi, l'ensemble du secteur de Joal-Fadiouth apparaît comme un système côtier en déséquilibre, où coexistent une érosion structurelle au sud et une instabilité morphodynamique marquée au centre et au nord, en lien direct avec le fonctionnement sédimentaire de la Petite Côte et l'influence estuarienne du Saloum.

Carte 5 : Evolution du trait de côte de la Commune de Joal-Fadiouj de 1995 à 2025



La forte corrélation observée entre l'End Point Rate (EPR) et le Linear Regression Rate (LRR) ($R^2 > 0,75$) vers le sud traduit une cohérence globale des dynamiques d'évolution du trait de côte à Joal-Fadiouth, suggérant une dominance de tendances linéaires à l'échelle du système littoral. Toutefois, les écarts notés du centre et plus au Nord, révèlent une sensibilité accrue de l'EPR aux fluctuations extrêmes, révélant des dynamiques locales non linéaires. Cette interaction confirme l'existence d'une vulnérabilité territoriale différenciée, opposant des secteurs méridionaux à érosion structurelle continue à des zones centrales instables, soumises à des variations morphodynamiques complexes (**figure 1**).

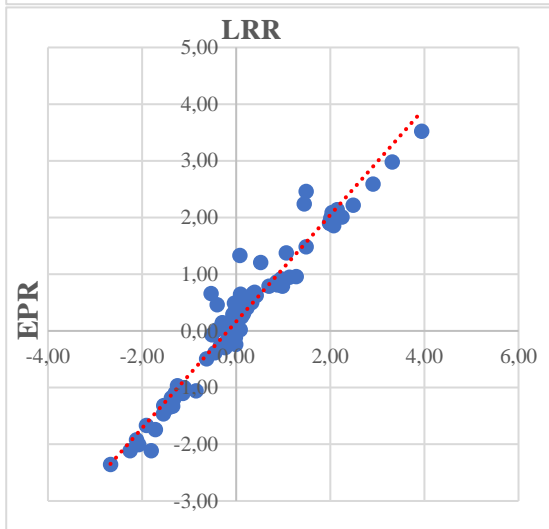
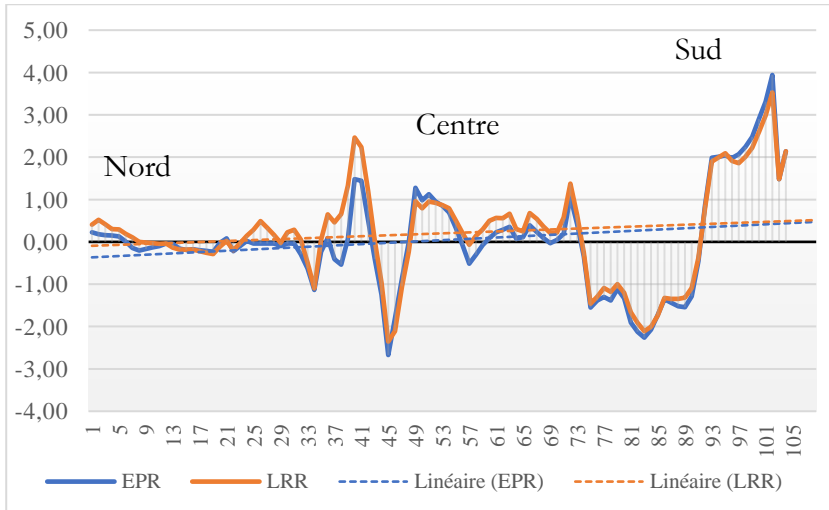
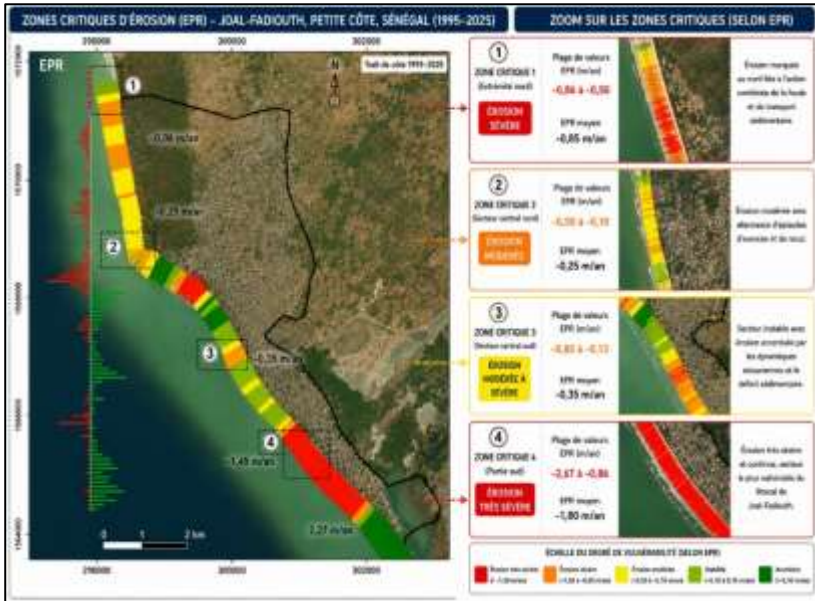


Figure 1 : Corrélation des méthodes statistiques de l'estimation de l'érosion entre 1995 et 2025

3.4. Caractérisation des zones critiques du littoral de Joal-Fadiouth

La cartographie des zones critiques d'érosion à Joal-Fadiouth, fondée sur l'indicateur EPR, met en accent une vulnérabilité territoriale fortement différenciée et spatialement structurée le long du littoral, marquée par un gradient croissant du nord vers le sud. Le secteur méridional apparaît comme une zone de vulnérabilité extrême, avec des taux d'érosion atteignant $-2,67$ m/an, exposant directement les habitats, infrastructures et activités économiques à un recul rapide du trait de côte. Les secteurs centraux, caractérisés par des valeurs intermédiaires ($-0,85$ à $-0,10$ m/an), présentent une vulnérabilité élevée mais instable, liée à l'interaction entre dynamiques marines et estuariennes, favorisant une alternance d'érosion et d'accrétion qui fragilise durablement l'occupation humaine. À l'inverse, le secteur nord, bien que relativement moins affecté, demeure structurellement vulnérable à moyen et long terme, avec des taux d'érosion modérés (jusqu'à $-0,86$ m/an) susceptibles de s'intensifier sous l'effet du changement climatique et de la pression anthropique. Ainsi, l'ensemble du littoral de Joal-Fadiouth s'inscrit dans une dynamique de vulnérabilité territoriale croissante, où les déséquilibres sédimentaires, l'énergie hydrodynamique et l'occupation humaine renforcent l'exposition et la sensibilité des territoires côtiers aux risques d'érosion.

Carte 6 : Répartition spatiale des zones critiques selon le degré d'érosion



4. Discussion

Les résultats obtenus s'inscrivent pleinement dans la continuité des travaux récents consacrés aux littoraux ouest-africains, qui mettent en évidence une tendance généralisée au recul du trait de côte sous l'effet combiné des forçages océaniques, de l'élévation du niveau marin et des déséquilibres sédimentaires (IPCC, 2021 : 1263 ; Edward J. Anthony, 2015 : 16). À l'échelle régionale, plusieurs études récentes confirment l'intensification de l'érosion sur les littoraux du Golfe de Guinée et de l'Atlantique ouest-africain, où près de 56 % des côtes sableuses sont en recul, parfois à des taux supérieurs à 2 m/an (World Bank, 2020 : 33 ; UNESCO, 2022 : 49).

Dans le contexte sénégalais, ces dynamiques régressives sont particulièrement marquées sur la Petite Côte, où les études confirment une accélération des vitesses d'érosion depuis les années 2000 (Gaye et al., 2025 : 24). Les résultats obtenus à Joal-Fadiouth confirment cette tendance, avec des taux d'érosion atteignant localement -2,67 m/an, traduisant un déséquilibre morphodynamique avancé.

Toutefois, l'apport spécifique de cette étude réside dans l'analyse intégrée des interactions entre dynamique morphogénétique et vulnérabilité territoriale, permettant de dépasser une lecture strictement descriptive de l'érosion. En effet, dans le cas de Joal-Fadiouth, l'érosion ne peut être réduite à un simple processus naturel contrôlé par l'hydrodynamique marine. Elle résulte d'un système d'interactions complexes, où les facteurs anthropiques jouent un rôle déterminant (UNEP, 2019 : 69 ; World Bank, 2020 : 42).

L'urbanisation croissante du littoral, l'extraction non contrôlée de sable et la multiplication des aménagements côtiers contribuent à une perturbation des flux sédimentaires, accentuant la discontinuité des transferts et favorisant une amplification des vitesses de recul du trait de côte (Diop, 1990 : 142 ; Robin, 2002 : 65). Ces pressions anthropiques, combinées aux forçages naturels, participent à une déstabilisation structurelle des unités morphologiques, comme observé également dans d'autres secteurs de la Petite Côte et du delta du Saloum (Gaye et al., 2025 : 26).

Dans cette perspective, les résultats confirment que la vulnérabilité côtière procède d'une imbrication étroite entre aléas naturels et enjeux anthropiques, conformément aux approches récentes de la vulnérabilité territoriale, définie comme le produit de l'exposition, de la sensibilité et de la capacité d'adaptation des territoires (IPCC, 2021 : 7 ; Robin, 2002 : 63). Le littoral apparaît ainsi comme un espace de convergence des risques, où la dynamique physique interagit directement avec les formes d'occupation et d'exploitation du territoire.

Dans le contexte sénégalais, cette vulnérabilité est amplifiée par une forte littoralisation des populations et des activités économiques, phénomène largement documenté dans les études sur les dynamiques côtières ouest-africaines (World Bank, 2020 : 51). À Joal-Fadiouth, la concentration des infrastructures, des habitats et des équipements dans des zones à forte mobilité morphologique accroît significativement l'exposition aux risques d'érosion et de submersion marine.

Dès lors, la dynamique observée traduit une transition vers un système côtier en déséquilibre chronique, caractérisé par une baisse progressive de la résilience et une incapacité croissante à absorber les perturbations. Cette évolution est cohérente avec les modèles récents d'évolution des littoraux sableux soumis à un déficit sédimentaire et à la montée du niveau marin (Edward J. Anthony, 2015 : 21 ; IPCC, 2021 : 1272). Elle interroge directement les politiques d'aménagement et met en lumière la nécessité d'une gestion intégrée des zones côtières, fondée sur une meilleure prise en compte des dynamiques morphosédimentaires et des interactions entre systèmes naturels et systèmes socio-économiques.

Conclusion

Cette étude révèle une dynamique morphogénétique caractérisée par un recul généralisé du trait de côte à Joal-Fadiouth entre 1995 et 2025. Les vitesses d'évolution, majoritairement négatives, varient entre -1,5 et -3 m/an, avec des pics atteignant -5,39 m/an dans les secteurs les plus exposés surtout à partir de 2015. Le recul cumulé est estimé entre 30 et 60 m en moyenne, pouvant dépasser 70 m localement, tandis que certaines zones abritées présentent une relative stabilité, voire une accrétion ponctuelle comprise entre +10 et +40 m. Ces dynamiques traduisent un déséquilibre morphosédimentaire sectoriel croissant, lié à la combinaison des processus hydrodynamiques et des pressions anthropiques. Dans l'ensemble de la période 1995-2025, les indicateurs statistiques

EPR, LRR et de validation R^2 montrent que le secteur méridional se distingue par une érosion forte et continue (EPR de -1,45 à -2,27 m/an ; LRR de -1,32 à -2,12 m/an et $R^2 > 0,75$), traduisant une dynamique linéaire fiable dominée par les processus hydrodynamiques. La zone centrale, présente une forte instabilité caractérisée par une divergence entre EPR (0,35) et LRR (0,55) et de faibles valeurs de R^2 ($< 0,35$), révélant des fluctuations importantes liées à la variabilité des apports sédimentaires, alors que la partie septentrionale montre une pseudo-stabilité (EPR faiblement négatif (-0,06), LRR légèrement positif (0,03), R^2 faible (0,17), indiquant une alternance d'épisodes d'érosion et d'accrétion. Dans ce contexte, la vulnérabilité territoriale apparaît comme un enjeu majeur, notamment dans les secteurs sud où les taux d'érosion dépassent -2 m/an, où les infrastructures et habitats sont fortement exposés à l'érosion côtière. L'évolution observée traduit une transition vers un système côtier instable, caractérisé par une baisse de la résilience des unités morphologiques suivant le gradient Sud-Nord.

Bibliographie

ANTHONY Edward Joseph, 2015, « Influence des vagues sur la formation, le modelage et la destruction des deltas fluviaux », Géologie Marine, 1/216, pp. 113-125.

BOAK Elizabeth Helen et TURNER Ian Leonard, 2005, « Définition et détection du littoral : une synthèse », Journal de Recherche Côtière, 4/21, pp. 688-703.

Commission océanographique intergouvernementale, 2022, *Sciences océaniques et vulnérabilité côtière en Afrique de l'Ouest*, Éditions de l'UNESCO, Paris.

DIOP Isabelle Niang, 1995, *L'érosion côtière sur la petite côte du Sénégal à partir de l'exemple de Rufisque*, Passé, Présent, futur, Thèse de Doctorat, Université D'Angers, 474 p.

DIOP Salif, 1990, *La côte ouest-africaine du Saloum (Sénégal) à la Mellacorée (Rép. de Guinée)*, ORSTOM, Paris, 366 p.

GAYE Mar, DIOUF Serigne Aziz, NDIONE Maguette et NIANG Souleymane, 2025, « Impacts des aménagements côtiers sur la cinématique du littoral de la Petite Côte du Sénégal : axe Bargny-Popenguine », *Sahel Gades*, 2/1, pp. 271-297.

GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), 2021, *Changements climatiques 2021 : les bases scientifiques physiques*, Contribution du Groupe de travail I au sixième rapport d'évaluation, Cambridge University Press, Cambridge.

GROUPE DE LA BANQUE MONDIALE, 2020, *Programme de gestion des zones côtières d'Afrique de l'Ouest (WACA) : Rapport sur la résilience côtière intégrée*, DC : Groupe de la Banque mondiale, Washington.

MCFEETERS Stuart Kenneth, 1996, « Utilisation de l'indice de différence normalisée de l'eau (NDWI) pour la délimitation des étendues d'eau libre », *Journal International de la Télédétection*, 7/17, pp. 1425-1432.

Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), 2019, *Érosion côtière et stratégies d'adaptation en Afrique de l'Ouest*, Programme des Nations Unies pour l'environnement, Nairobi.

THIELER E. Robert et HIMMELSTOSS Emily Ann, 2017, *Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 5.0 User Guide*, Reston, U.S. Geological Survey.

ROBIN Marc, 2002, « Étude des risques côtiers sous l'angle de la géomatique », *Annales de Géographie*, 111/624, pp. 61-79.