

## **Impacts environnementaux et socio-économiques de l'évolution morphodynamique du littoral de la ville de Rufisque (Sénégal)**

***Ibra Faye***

***El Hadji Balla Dieye***

Laboratoire de Géomatique et d'Environnement (LGE), Département de Géographie, Université Assane SECK de Ziguinchor (UASZ), Sénégal

***Mamadou Thior***

Enseignant-chercheur, Département de Géographie, Université Cheikh Anta Diop (UCAD), Dakar, Sénégal

***Tidiane Sane***

Laboratoire de Géomatique et d'Environnement (LGE), Département de Géographie, Université Assane SECK de Ziguinchor (UASZ), Sénégal

[Doi:10.19044/esj.2025.v21n35p95](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n35p95)

Submitted: 18 August 2025

Accepted: 03 December 2025

Published: 31 December 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

*Cite As:*

Faye, I., Dieye, El Hadji. B., Thior, M. & Sane, T. (2025). *Impacts environnementaux et socio-économiques de l'évolution morphodynamique du littoral de la ville de Rufisque (Sénégal)*. European Scientific Journal, ESJ, 21 (35), 95. <https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n35p95>

### **Résumé**

Le littoral sénégalais est fortement marqué par le phénomène d'érosion côtière, avec un taux moyen de recul du trait de côte estimé à environ 1 m/an. À Rufisque, la dynamique morpho sédimentaire des plages, résultant d'interactions complexes entre les processus naturels et les pressions anthropiques, engendre des impacts notables sur l'environnement et sur les activités socio-économiques locales. La présente étude analyse les effets environnementaux et socio-économiques liés à l'érosion côtière sur le littoral de Rufisque. Elle s'appuie sur une combinaison de données de terrain et d'informations géospatiales issues de la télédétection et des Systèmes d'Information Géographique (SIG). Les observations in situ ont permis de documenter les effets directs des transformations côtières sur les écosystèmes et les usages littoraux, tandis que les traitements d'images satellites Landsat (30m) ont servi à cartographier les changements spatio-temporels et à

quantifier les taux de mobilité du trait de côte (1979-2024). Les analyses révèlent une érosion littorale marquée, avec un taux moyen de recul de 0,39 m/an dans les secteurs de Rufisque et Thiawlène sur 45 ans. Ce processus s'accompagne d'une dégradation accrue de l'environnement côtier et de perturbations socio-économiques affectant les infrastructures et les activités humaines à Rufisque.

---

**Mots clés :** Evolution morphodynamique, érosion, impacts environnementaux, socio-économiques, Télédétection, trait de côte, Rufisque

---

## **Environmental and Socio-Economic Impacts of the Morphodynamic Evolution of the Coastline of the City of Rufisque (Senegal)**

*Ibra Faye*

*El Hadji Balla Dieye*

Laboratoire de Géomatique et d'Environnement (LGE), Département de Géographie, Université Assane SECK de Ziguinchor (UASZ), Sénégal

*Mamadou Thior*

Enseignant-chercheur, Département de Géographie, Université Cheikh Anta Diop (UCAD), Dakar, Sénégal

*Tidiane Sane*

Laboratoire de Géomatique et d'Environnement (LGE), Département de Géographie, Université Assane SECK de Ziguinchor (UASZ), Sénégal

---

### **Abstract**

Coastal erosion is a major geomorphological issue along the Senegalese coastline, where the shoreline retreats at an average rate of approximately 1 m/year. In Rufisque, the morpho-sedimentary dynamics of the beaches, shaped by complex interactions between natural processes and increasing anthropogenic pressures, generate significant environmental and socio-economic impacts. This study examines the environmental and socio-economic consequences of coastal erosion along the Rufisque shoreline. The analysis draws on a combination of field observations and geospatial data derived from remote sensing and Geographic Information Systems (GIS). In situ observations were used to document the direct effects of coastal transformations on ecosystems and shoreline uses, whereas the processing of Landsat satellite imagery (30 m) enabled the spatial and temporal mapping of coastal changes and the quantification of shoreline mobility rates (1979-2024). The results reveal pronounced coastal erosion, with an average shoreline

retreat of 0.39 m/year across the Rufisque and Thiawllène sectors over the past 45 years. This sustained process is accompanied by increasing environmental degradation and socio-economic disruptions, affecting infrastructures and human activities throughout the city of Rufisque.

---

**Keywords:** Morphodynamic evolution, erosion, environmental impacts, socio-economic impacts, Remote Sensing, shoreline, Rufisque

## Introduction

Les littoraux constituent des espaces de transition particulièrement dynamiques, où s'entrecroisent les influences marines, atmosphériques et continentales. Ces zones, en perpétuelle transformation, subissent des modifications morphologiques importantes sous l'effet combiné des processus naturels et des pressions anthropiques. En effet, la morphodynamique désigne l'étude conjointe des formes et des processus qui façonnent le littoral, notamment les interactions entre les mouvements sédimentaires, les conditions hydrodynamiques et l'évolution des reliefs côtiers (Anthony, 1998 ; Bird, 2008 ; Weissenberger *et al.*, 2016). Autrement dit, elle analyse la manière dont les flux d'énergie (vagues, courants, marées, vents etc.) structurent les paysages côtiers en interaction avec les actions humaines.

Au Sénégal, le littoral s'étend sur environ 700 km, du nord au sud, et constitue un espace à forte densité humaine et économique (Diop *et al.*, 1995 ; Niang-Diop, 1995, Thior, 2020). Ce linéaire côtier est aujourd'hui marqué par une érosion généralisée liée à la montée du niveau marin, à la variabilité climatique et à l'occupation croissante des zones basses (Sadio *et al.*, 2017 ; Ndiaye *et al.*, 2021). Dans la presqu'île du Cap-Vert, où se situe le département de Rufisque, ces transformations sont particulièrement intenses en raison de la concentration des infrastructures portuaires et industrielles, de la pression urbaine et de la fragilité géomorphologique du littoral (Sarr, 1998 ; Diop *et al.*, 2013). La morphodynamique du littoral de Rufisque se manifeste principalement par des processus d'érosion et de sédimentation irrégulière, entraînant une régression du trait de côte et une perte progressive de surface terrestre. Ces dynamiques affectent non seulement les équilibres physiques du littoral, mais également les activités économiques telles que la pêche, le commerce et le tourisme, qui constituent les piliers de la vie locale (Diaw, 1997 ; Kane, 2015). Dans un contexte de changement climatique caractérisé par l'élévation du niveau marin et l'intensification des aléas hydrodynamiques, la vulnérabilité des infrastructures et des populations s'accroît.

Cette étude s'inscrit dans cette tension croissante entre la dynamique morphologique du littoral et la pression anthropique exercée sur un espace côtier à la fois vital et vulnérable. En effet, la dégradation progressive du front

de mer de Rufisque témoigne d'une érosion littorale qui menace les habitats, les activités économiques et la stabilité environnementale de la zone. Ce constat soulève une interrogation centrale : dans quelle mesure les transformations morphodynamiques du littoral de Rufisque influencent-elles l'équilibre environnemental et socio-économique de la ville ? L'hypothèse principale de ce travail postule que les mutations morphodynamiques observées à Rufisque résultent de l'action combinée des forçages naturels et des interventions humaines, et qu'elles engendrent des impacts environnementaux et socio-économiques majeurs, compromettant la durabilité des écosystèmes et des moyens de subsistance littoraux. A cet effet, l'objectif principal de cette recherche consiste à analyser les impacts environnementaux et socio-économiques liés à l'évolution morphodynamique du littoral de Rufisque. Plus spécifiquement, il s'agit de :

- ✓ caractériser les dynamiques d'érosion et de sédimentation à différentes échelles temporelles ;
- ✓ évaluer les effets de ces transformations sur les infrastructures, les activités économiques et les écosystèmes côtiers ;
- ✓ apprécier le niveau de vulnérabilité de la ville de Rufisque face aux risques côtiers.

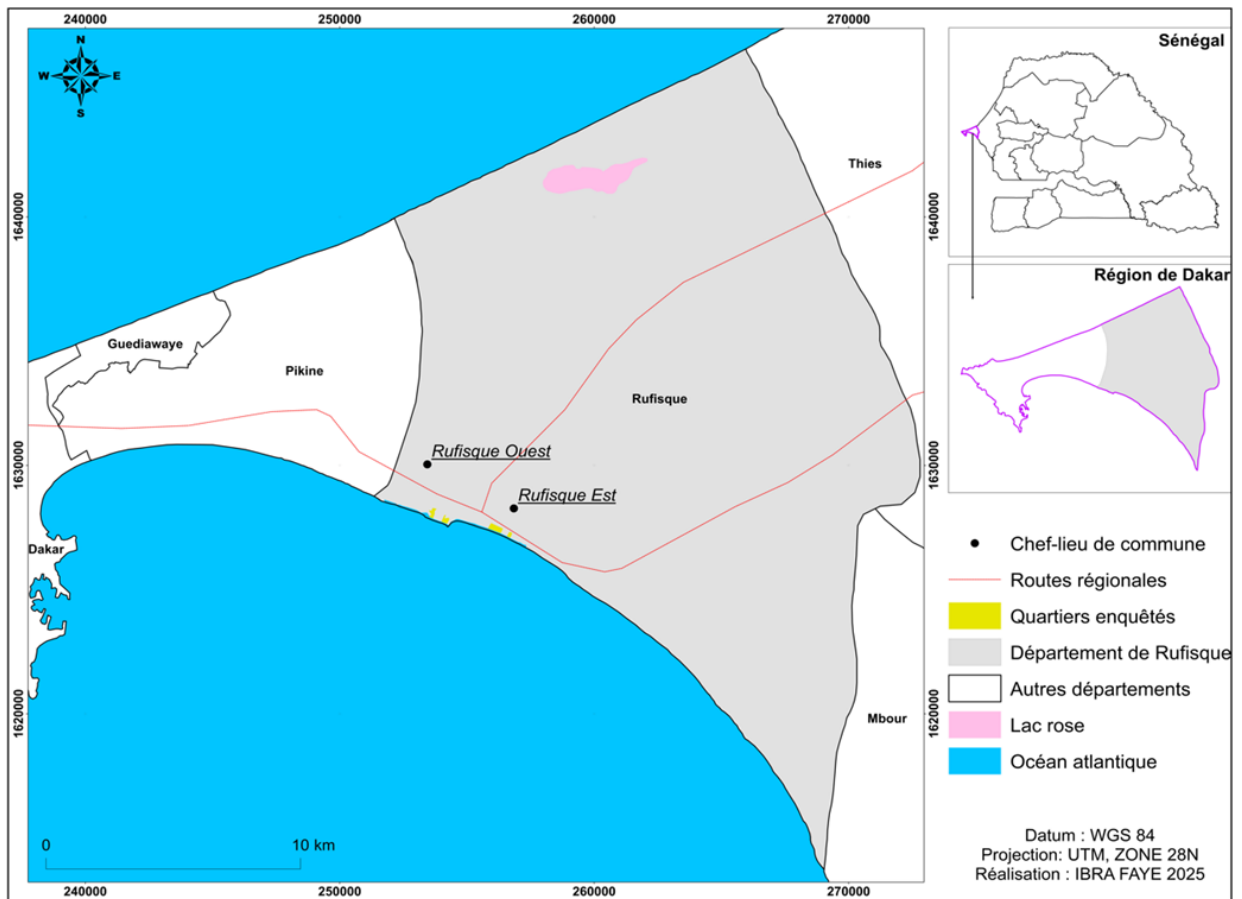
Cet article est structuré en quatre parties principales : la première présente le cadre théorique et conceptuel de la morphodynamique côtière ; la deuxième expose les données et la démarche méthodologique ; la troisième détaille les résultats de l'analyse spatio-temporelle et des enquêtes de terrain ; enfin, la quatrième discute des implications environnementales et socio-économiques des transformations observées, en vue de proposer des orientations pour une gestion durable du littoral de Rufisque.

## **La zone d'étude**

### ***Situation géographique de la zone étudiée***

La presqu'île du Cap-Vert, située à l'extrémité occidentale du Sénégal et de l'Afrique de l'Ouest, s'étend approximativement entre la longitude 17°30' Ouest et la latitude 15° Nord (Diop-Niang, 1995). Elle constitue un espace géographiquement et stratégiquement majeur, exposé aux influences de l'océan Atlantique. Cette péninsule se caractérise par une géologie variée, composée principalement de formations sédimentaires côtières récentes et de roches volcaniques anciennes, qui conditionnent la morphodynamique du littoral (Sarr, 1998 ; Ndiaye *et al.*, 2021). Le département de Rufisque, intégré à cette presqu'île, s'étend sur environ 42 km<sup>2</sup> et se situe à 25 km à l'est de Dakar, la capitale du Sénégal (figure 1). Sa position géographique et son exposition au régime océanique favorisent la présence d'une flore guinéenne adaptée à un climat côtier, caractérisé par des températures modérées en

janvier et février et une pluviométrie saisonnière concentrée entre juillet et octobre (Diallo, 2009).



**Figure 1 : Localisation de la zone d'étude**

Le littoral de Rufisque, objet de cette étude, est fortement influencé par les processus hydrodynamiques et sédimentaires, notamment l'action des vagues, des courants littoraux et des marées, qui combinés aux pressions anthropiques, façonnent continuellement le trait de côte. Cette zone présente également une forte densité d'infrastructures urbaines, portuaires et industrielles, ce qui accentue sa vulnérabilité aux phénomènes d'érosion et aux risques côtiers (Diop *et al.*, 2013). Ainsi, Rufisque constitue un site représentatif de l'interaction entre dynamiques naturelles et pressions humaines sur le littoral sénégalais, offrant un cadre idéal pour l'analyse des impacts morphodynamiques sur l'environnement et les activités socio-économiques locales.

## **Méthodologie**

Dans cette étude, l'approche méthodologique combine la cartographie géospatiale, les enquêtes de terrain et l'évaluation des impacts environnementaux et socio-économiques. Cette combinaison permet de documenter à la fois les dynamiques morphodynamiques du littoral, leurs effets sur les écosystèmes et les activités humaines. La première étape consiste à analyser les images satellites Landsat et à produire des cartes spatio-temporelles du littoral, afin de quantifier les taux d'évolution du trait de côte et de visualiser les zones soumises à l'érosion, à la sédimentation ou la stabilité. Ces données cartographiques sont ensuite complétées par des enquêtes de terrain, incluant des observations directes et des entretiens avec les acteurs locaux, pour valider les informations issues de la télédétection et pour documenter les impacts concrets sur les infrastructures, les écosystèmes et les activités socio-économiques. Cette approche favorise ainsi une compréhension globale des interactions entre processus naturels et pressions anthropiques, et fournit une base robuste pour évaluer la vulnérabilité du littoral de Rufisque face aux risques côtiers.

## ***Données et traitement cartographique***

### ***Données***

Pour analyser l'évolution morphodynamique du littoral de Rufisque, des images satellites Landsat ont été exploitées sur la période 1979-2024 ainsi que des fichiers shapefiles (limites administratives, réseau hydrographique etc.) obtenues dans les structures nationales comme l'Agence Nationale de l'Aménagement du Territoire (ANAT) et la Direction des Travaux Géographiques et Cartographiques (DTGC). L'analyse diachronique a été réalisée par tranches de 10 ans ou plus, afin d'évaluer finement les changements spatiaux et temporels du trait de côte. Les capteurs suivants ont participé à la capture des images :

- Landsat MSS (*Multispectral Scanner*) pour 1979, avec une résolution spatiale de 60 m ;
- Landsat TM (*Thematic Mapper*) pour 1989, 1999 et 2009, avec une résolution de 30 m ;
- Landsat OLI (*Operational Land Imager*) pour 2024, avec une résolution de 30 m et une meilleure sensibilité radiométrique, permettant de détecter les variations du trait de côte (tableau 1).

Ces images ont été sélectionnées en période exempte de nuages et de marées extrêmes (saison sèche), afin de réduire les biais liés aux conditions atmosphériques et hydrodynamiques.

**Tableau 1 : Caractéristiques des données cartographiques**

Données	Séries	Numéro de scène	Capteurs	Résolution spatiale	Date de prise de vue	Sources
<i>Images Landsat</i>	L3	path221_row050	MSS	60m	18/11/1979	Earth explorer
	L5	path205_row050	TM	30m	11/12/1989	
					11/12/1999	
					04/12/2009	
	L9		OLI_TIRS		10/01/2024	

Le choix de cette période (1979-2024) est justifié par l'indisponibilité de certaines données aux échelles temporelles souhaitées. Quant à celui des dates, il se justifie tout d'abord par le fait que l'année 1979 appartient à la période de la grande sécheresse des années 1970. En plus, les années 1970-80 sont très illustratives de l'avancée de la mer dans la zone d'étude selon Koulibaly et al. (2021). En effet, la sécheresse des années 1970-80, aurait entraîné une forte réduction des apports sédimentaires des systèmes fluviaux côtiers avec des conséquences sur les zones littorales (Diop, 1995). Ainsi, l'année 2024 correspond à la période où l'étude est réalisée, notamment avec la mise en place et l'amélioration des dispositifs de protection (digues) dans certaines parties du littoral étudié (Rufisque).

### ***Prétraitement des images Landsat***

Les images Landsat ont été soumises à un prétraitement rigoureux comprenant :

- ✓ La correction radiométrique et atmosphérique pour normaliser les valeurs de réflectance et faciliter les comparaisons diachroniques (Lu et al., 2004) ;
- ✓ Le géoréférencement des images sur le système de coordonnées WGS84, UTM zone 28N afin d'assurer la cohérence spatiale entre les différentes années ;
- ✓ Le découpage (*subsetting*) de la zone d'étude pour se concentrer sur le littoral de Rufisque.

### ***Traitement cartographique du trait de côte***

L'analyse diachronique de la dynamique littorale de Rufisque a été conduite à partir de l'outil *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS), développée par le U.S. Geological Survey (USGS), qui permet de calculer l'évolution du littoral ou des limites côtières au fil du temps. Cet outil constitue une approche robuste et scientifiquement éprouvée pour la quantification des déplacements du trait de côte à différentes échelles temporelles (Thieler et al., 2009). Le DSAS offre une méthode automatisée pour établir les transects de mesure, effectue les calculs de taux et fournit les incertitudes associées à ces



taux. L'utilisateur utilise un Système d'Information Géographique pour préparer au préalable les données destinées au DSAS. Dans cette logique, nous avons d'abord extrait les Traits de Côte (TDC) à partir des images satellitaires. Les entités linéaires (TDC) représentant la limite entre le milieu marin et le milieu terrestre ont été digitalisées de manière homogène pour chaque période d'observation, conformément aux recommandations méthodologiques de Boak et Turner (2005). Ces traits ont ensuite été intégrés dans l'environnement DSAS pour la génération de transects perpendiculaires à la côte, espacés de manière régulière (10m), permettant la mesure systématique des déplacements. L'évaluation quantitative des dynamiques côtières a reposé sur le calcul de l'End Point Rate (EPR), indicateur fondé sur la distance linéaire entre deux positions successives du trait de côte divisée par l'intervalle temporel correspondant de 10 ans (m/an). Cette métrique, couramment mobilisée dans les travaux d'évolution côtière (Crowell et al., 1997), a permis de distinguer les segments soumis à un processus d'érosion (valeurs négatives) de ceux en accrétion (valeurs positives). L'interprétation des résultats a été renforcée par une validation spatiale et thématique sur le terrain, réalisée sur des transects représentatifs des différents types de dynamiques observées (érosion, stabilité, sédimentation). Ces observations in situ ont permis de confirmer la fiabilité des indices calculés et d'apprécier les impacts environnementaux et socio-économiques associés aux variations du trait de côte, notamment sur les activités halieutiques et les infrastructures côtières (Dolan et al., 1991).

### ***Traitement et analyse des données d'enquêtes***

Pour mieux se documenter sur les impacts environnementaux et socio-économiques de l'évolution morphodynamique du littoral de Rufisque, une enquête combinant données quantitatives et qualitatives a été menée dans les communes de Rufisque Est et Rufisque Ouest, choisies pour leur proximité avec le littoral et leur exposition aux phénomènes d'érosion. La collecte des données quantitatives a été réalisée à l'aide d'un questionnaire structuré, administré auprès des ménages afin de recueillir des informations sur :

- l'ampleur des impacts liés à l'érosion côtière sur les infrastructures et les habitations ;
- les pertes ou modifications des activités économiques (pêche, commerce etc.) ;
- les stratégies d'adaptation ou de protection déjà mises en œuvre par les populations ou l'Etat.

Quatre quartiers ont été retenus pour l'enquête : Thiawllène Digue et Merina I dans Rufisque Est, Diokoul Kaw et Diokoul Wague dans Rufisque Ouest (tableau 2). La sélection s'appuie sur la technique d'échantillonnage au jugé, qui consiste à choisir les unités les plus pertinentes pour répondre aux



objectifs de l'étude, ici les zones les plus vulnérables face à l'érosion littorale (Diatta, 2013 ; Barry, 2017). Cette approche a été soutenue par une phase d'observation préliminaire permettant d'identifier les quartiers exposés et représentatifs. Pour assurer une représentativité proportionnelle des ménages, la technique d'échantillonnage par quota a été appliquée : un échantillon de 252 ménages a été interrogé, soit 25 % de la population totale des quatre quartiers (1 008 ménages) selon les données de l'Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie en 2023. Cette méthode garantit que la structure de l'échantillon reflète celle de la population mère selon des critères définis, tels que la localisation dans le quartier et la proximité du littoral (Ndam et al., 2019). L'utilisation de la technique de quota permet de combiner efficacité opérationnelle et représentativité statistique dans un contexte de terrain où un tirage aléatoire complet est difficile à mettre en œuvre.

**Tableau 2** : Nombre de ménages enquêtés dans les communes de Rufisque (Est et Ouest)

Communes	Quartiers retenus	Nombre de ménages	Nombre de ménages Interrogés	Pourcentages
Rufisque EST	Thiawllène digue	77	19	7,6
	Mérina I	329	82	32,6
Rufisque OUEST	Diokoul Kaw	370	93	36,7
	Diokoul wague	232	58	23,0
TOTAL		1008	252	100

Source des données : ANSD, 2023

En revanche, des entretiens semi-directifs ont été conduits avec des acteurs clés comme les chefs de quartiers (4), pêcheurs (94), agents communaux (7) afin de compléter les données quantitatives et d'identifier des informations qualitatives sur les perceptions, les pratiques et les adaptations des communautés face aux risques côtiers.

## Résultats

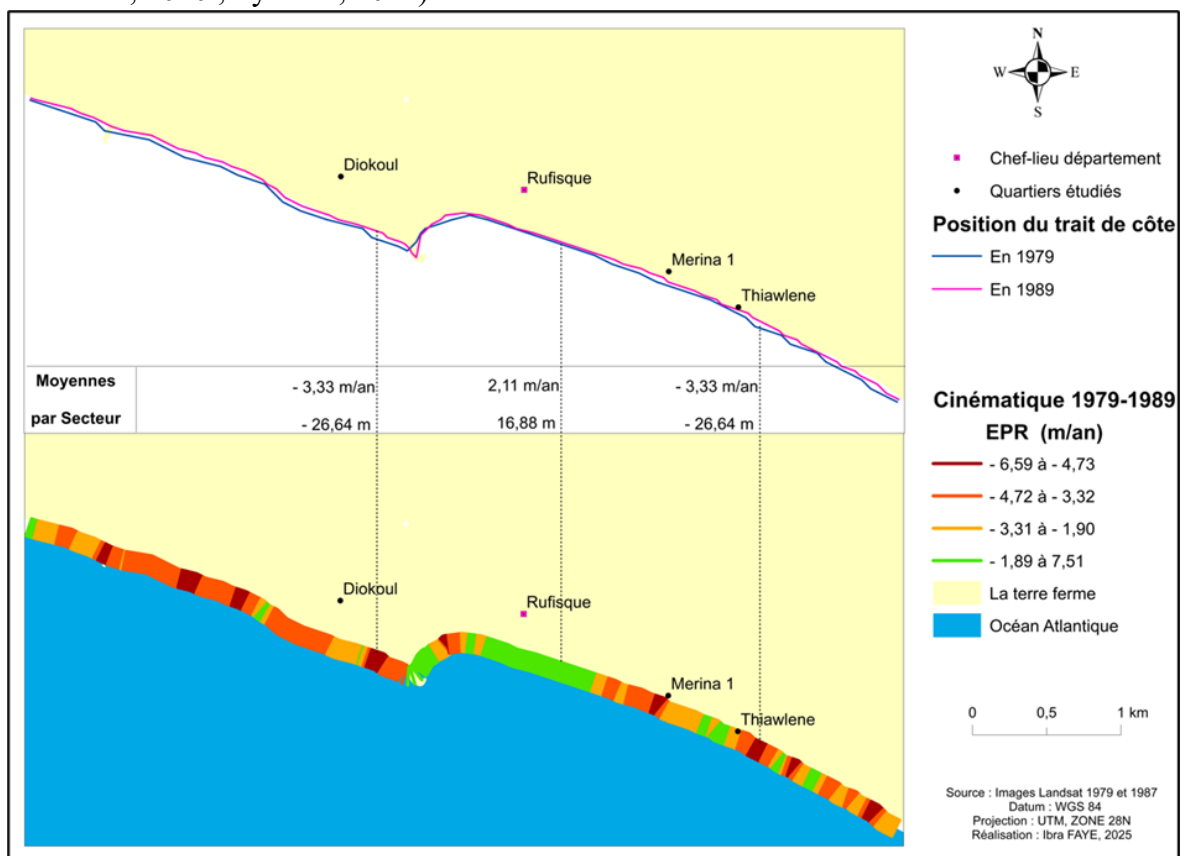
Les résultats présentés dans cette section traduisent les principaux enseignements issus de l'analyse morphodynamique du littoral de Rufisque. Ils sont le fruit du croisement entre les traitements cartographiques des images Landsat, les mesures du trait de côte effectuées à l'aide de l'outil DSAS et les travaux de terrain. L'objectif est de mettre en évidence l'évolution spatio-temporelle du littoral sur plusieurs décennies, d'identifier les tendances dominantes (érosion, accrétion ou stabilité) et d'en évaluer les impacts environnementaux et socio-économiques.

### *Analyse de l'évolution du trait de côte*

À partir des images satellitaires Landsat (1979, 1989, 1999, 2009 et 2024), les différentes positions du trait de côte ont été extraites et comparées grâce à l'outil Digital Shoreline Analysis System (DSAS). Cette approche a permis de quantifier les déplacements du linéaire côtier au moyen des indicateurs tels que le *End Point Rate* (EPR), traduisant les vitesses moyennes d'évolution entre deux dates.

### *Analyse morphodynamique du littoral de Rufisque entre 1979 et 1989*

L'analyse diachronique du littoral de Rufisque entre 1979 et 1989 met en évidence une dynamique côtière contrastée, marquée par une alternance de secteurs en érosion active et de zones en accrétion localisée (figure 2). Sur l'ensemble du linéaire étudié, la tendance générale demeure érosive, avec une vitesse moyenne d'érosion estimée à -3,33 m/an dans les secteurs de Diokoul et de Thiawllène, soit un recul cumulé d'environ 26,64 m sur la décennie. Ces zones, exposées directement à la houle dominante et à un déficit sédimentaire chronique, traduisent une vulnérabilité morphodynamique élevée (Dacosta et al., 2020 ; Sy et al., 2021).

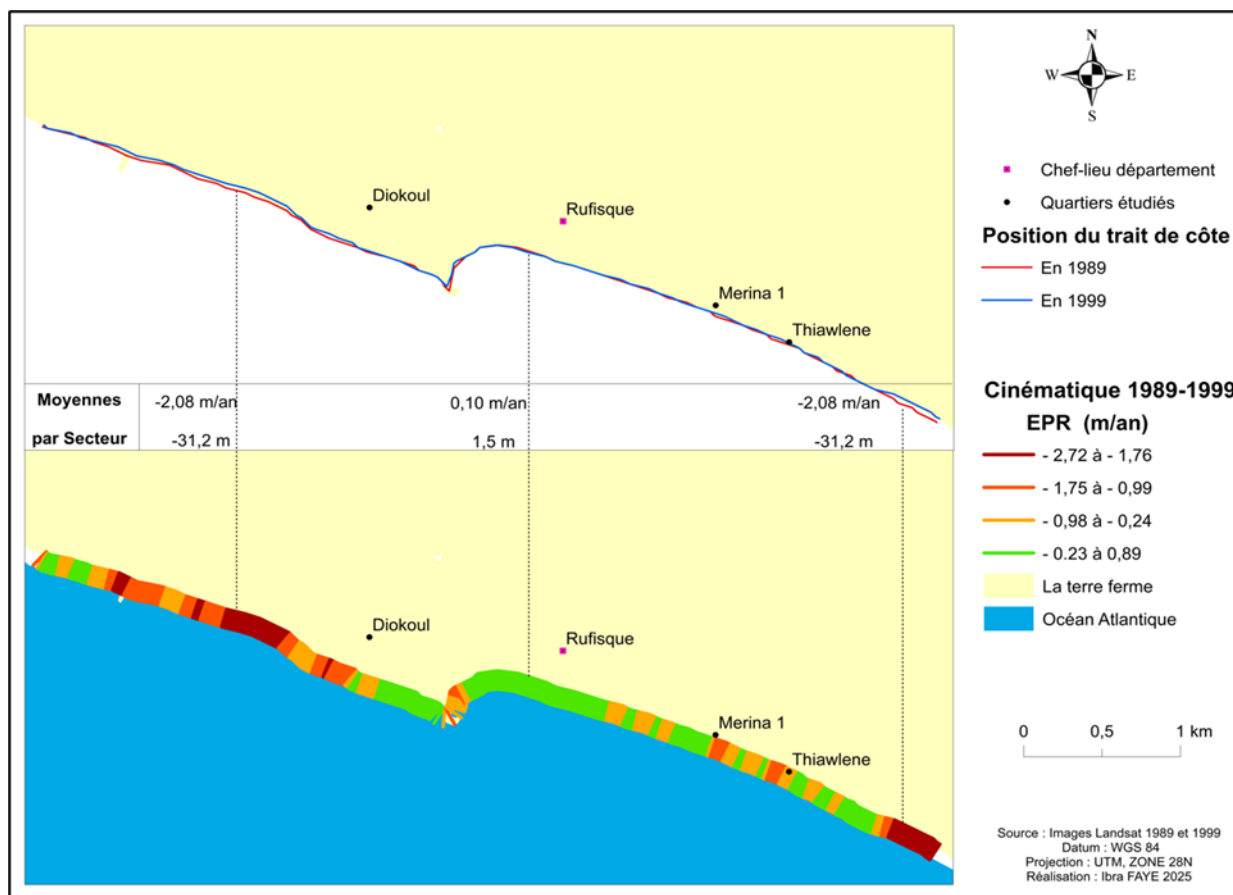


**Figure 2 :** Evolution spatio-temporelle du trait de côte sur la période 1979-1989

À l'inverse, la portion centrale du littoral, correspondant au secteur urbain de Rufisque, présente une tendance légèrement accrétée, avec un taux moyen positif de 2,11 m/an (soit environ 16,88 m sur la période). Cette stabilisation relative s'expliquerait par la présence d'ouvrages portuaires et de structures artificielles favorisant la rétention sédimentaire, mais aussi par la configuration morphologique de la baie qui atténue localement l'énergie des vagues (Sadio et al., 2017 ; Ndour et al., 2023). La répartition spatiale des vitesses d'évolution (EPR) confirme cette hétérogénéité : la classe de forte érosion (-6,59 à -4,73 m/an) domine à l'ouest de Diokoul et à Thiawllène, tandis que les indices d'accrétion (-1,89 à 7,51 m/an) se concentrent autour du centre urbain (Rufisque). Cette configuration illustre le déséquilibre sédimentaire du système côtier de Rufisque, où les dynamiques naturelles sont accentuées par les pressions anthropiques (urbanisation, extractions de sable, artificialisation des berges) (Udo & Hinkel, 2021). Ces tendances traduisent à la fois l'influence des forçages hydrodynamiques régionaux et la faiblesse de la résilience géomorphologique face aux activités humaines croissantes.

#### ***Analyse morphodynamique du littoral de Rufisque entre 1989 et 1999***

Entre 1989 et 1999, l'évolution du littoral de Rufisque traduit une poursuite des dynamiques régressives lors de la décennie précédente, mais avec une intensité légèrement atténuée (figure 3). Les résultats de l'analyse diachronique, montrent une érosion moyenne de -2,08 m/an dans les secteurs de Diokoul et de Thiawllène, soit un recul cumulé d'environ 31,2 m sur la période. En revanche, la zone centrale de Rufisque demeure relativement stable, avec un taux de variation quasi nul (0,10 m/an, soit 1,5 m). Les secteurs occidentaux et orientaux présentent des classes d'érosion comprises entre -2,72 et -1,76 m/an, correspondant aux zones les plus exposées à la houle atlantique et à la dérive littorale dominante.



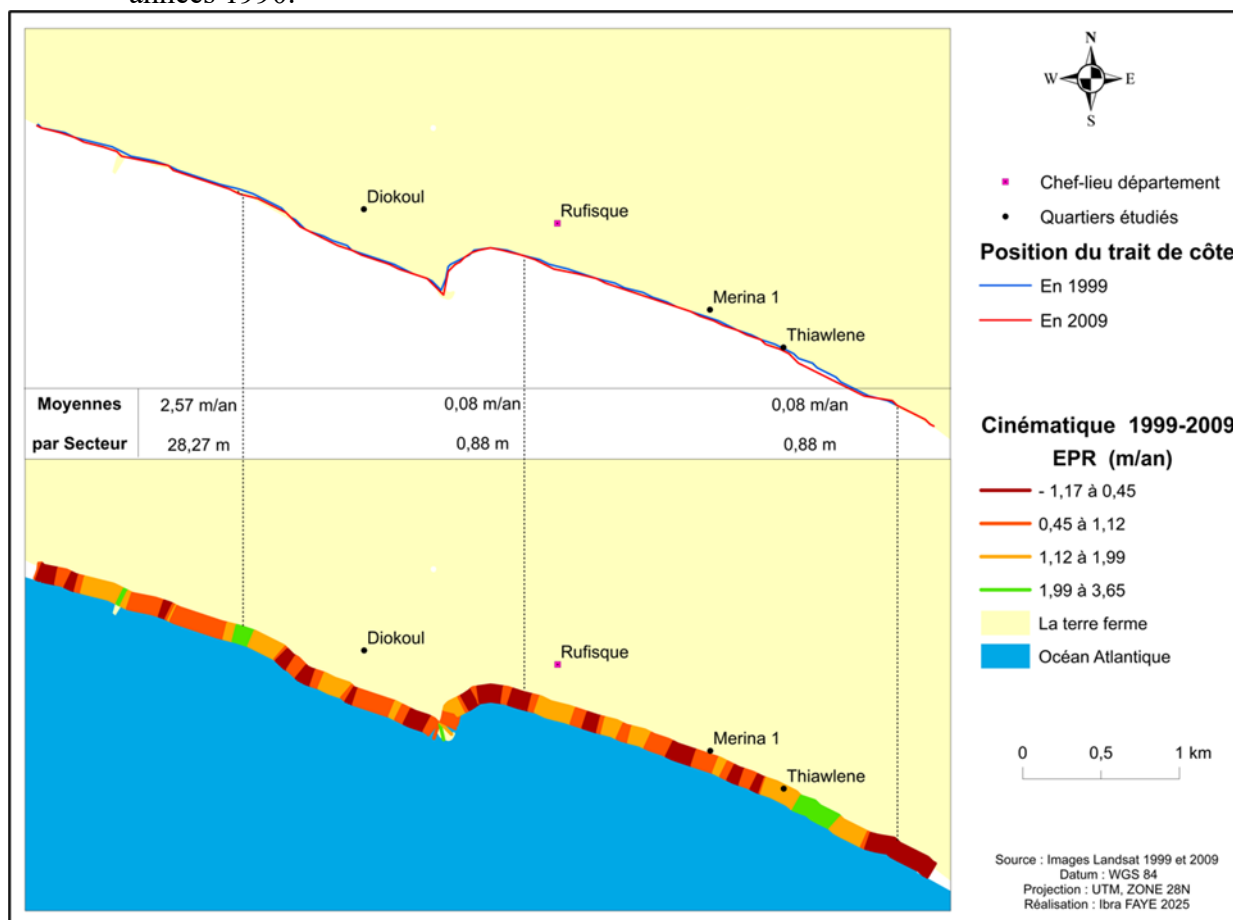
**Figure 3 :** Evolution spatio-temporelle du trait de côte sur la période 1989-1999

Ces dynamiques régressives s'expliquent principalement par un déficit sédimentaire chronique, accentué par la réduction des apports fluviaux, l'urbanisation croissante du front de mer et les extractions de sable observées durant cette période (Sy et al., 2021). La stabilité apparente de la baie centrale de Rufisque pourrait résulter d'un effet de piégeage sédimentaire local, lié à la morphologie en demi-cuvette du rivage et à la présence d'ouvrages portuaires et de digues qui limitent localement la dérive littorale (Ndour et al., 2023). Néanmoins, cette accalmie reste fragile, car les structures de protection ont souvent pour effet de transférer les processus érosifs vers les zones adjacentes, aggravant la régression côtière en périphérie (Dacosta et al., 2020).

### ***Analyse morphodynamique du littoral de Rufisque entre 1999 et 2009***

La période 1999-2009 marque une inflexion notable dans la dynamique du littoral de Rufisque, caractérisée par une stabilisation globale du trait de côte, voire une tendance à l'accrétion localisée dans certains secteurs (figure 4). Les résultats issus du traitement DSAS montrent en effet

une progression moyenne de 2,57 m/an dans la zone de Diokoul, une quasi-stabilité du rivage dans les secteurs de Rufisque (0,08 m/an) et Thiawllène (0,08 m/an). Sur l'ensemble de la période, cela représente un gain cumulé de 28,27 m à Diokoul, contre seulement 0,88 m dans les deux autres zones. Cette dynamique positive, s'expliquerait par une redistribution sédimentaire locale et par les effets cumulatifs des aménagements côtiers mis en place à la fin des années 1990.



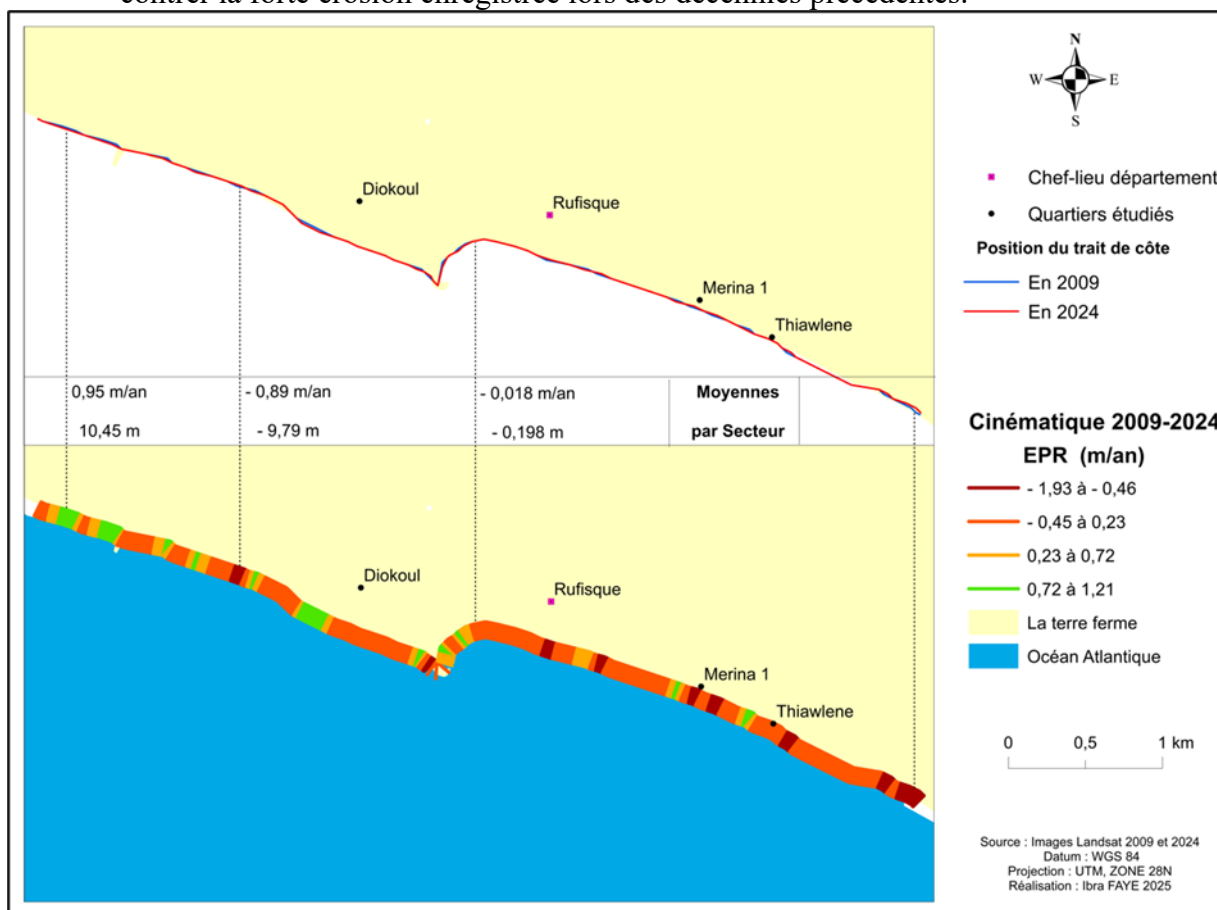
**Figure 4 :** Evolution spatio-temporelle du trait de côte sur la période 1999-2009

Les ouvrages de protection (épaves, digues, murs de soutènement) auraient favorisé une accumulation temporaire de matériaux sableux dans les zones protégées, en réduisant localement l'énergie de la houle (Ndour et al., 2023). Toutefois, cette stabilisation apparente demeure spatialement hétérogène, car plusieurs segments restent marqués par des vitesses négatives (jusqu'à -1,17 m/an), notamment aux marges non protégées de la côte. D'un point de vue morphodynamique, cette période peut être interprétée comme une phase de réajustement sédimentaire, où les apports naturels et les effets

d'aménagements artificiels se combinent pour produire une accalmie temporaire dans le processus érosif. Toutefois, les études menées sur les littoraux ouest-africains suggèrent que ces tendances d'accrétion localisée sont souvent éphémères et réversibles, dépendant fortement de la maintenance des ouvrages et de l'évolution du climat marin (Udo & Hinkel, 2021).

### *Analyse morphodynamique du littoral de Rufisque entre 2009 et 2024*

La période 2009-2024 s'inscrit ainsi dans la continuité d'un processus d'érosion depuis les années 1970, mais avec des intensités variables selon la présence ou non d'infrastructures de protection. La vitesse moyenne de  $-0,018$  m/an observée sur le tronçon de Rufisque traduit une stabilité relative du rivage, correspondant à une faible dynamique érosive (figure 5). Cette stabilité apparente pourrait résulter de la présence d'ouvrages de protection (digues, enrochements, murs de soutènement) mis en place dans la zone urbaine pour contrer la forte érosion enregistrée lors des décennies précédentes.



**Figure 5 :** Evolution spatio-temporelle du trait de côte sur la période 2009-2024

En revanche, les secteurs de Thiawllène et Diokoul présentent des vitesses de recul de -0,89 m/an (soit un recul cumulé de 9,79 m sur la période). Ces valeurs témoignent d'une érosion côtière active et d'une instabilité morphodynamique accrue dans ces portions du littoral. Ces zones, plus exposées à la houle atlantique et faiblement protégées par des infrastructures côtières, subissent une dissipation énergétique importante des vagues, accentuée par la déficience en sédiments. Cette tendance confirme la vulnérabilité structurelle du littoral de Rufisque, déjà identifiée dans plusieurs études (Anthony et al., 2015), où les pressions anthropiques (occupation urbaine anarchique, extraction de sable, constructions en bordure immédiate de la plage) conjuguées aux forçages climatiques (élévation du niveau marin, intensification de la houle, modification des régimes de vent) accélèrent le recul du trait de côte.

L'analyse comparative des quatre périodes chronologiques révèle une évolution contrastée du trait de côte à Rufisque, marquée par une alternance entre phases d'érosion intense et phases de relative accrétion (tableau 3). Ces dynamiques traduisent à la fois la variabilité des forçages océaniques et l'accroissement des pressions anthropiques tout au long du littoral.

**Tableau 3** : Bilan morpho sédimentaire du littoral de Rufisque : comparaisons inter-décennales des dynamiques côtières (1979-2024)

Périodes	Moyennes par période (m/an)		Nombre de transect		Total érosion par période en m	Total accrétion par période en m
	Erosion	Accrétion	En érosion	En accrétion		
1979-1989	-3,33	2,11	630	17	-2102,52	36,03
1989-1999	-1,04	0,17	446	187	-464,46	31,79
1999-2009	-0,46	0,97	19	616	-8,78	600,29
2009-2024	-0,63	0,25	129	508	-81,34	128,42
Evolution globale (1979-2024)	-0,39	0,13	507	126	-279,20	17,07

La période 1979-1989 se distingue nettement comme la phase la plus critique de l'évolution côtière. Le taux moyen d'érosion atteint -3,33 m/an, soit un niveau largement supérieur aux seuils couramment rapportés dans les littoraux sableux d'Afrique de l'Ouest (Faye, 2010). Sur les 630 transects en érosion (contre seulement 17 en accrétion), le recul cumulé atteint -2102,52 m, révélant une dynamique régressive massive. Le caractère dominant de l'érosion suggère un déficit sédimentaire, renforcé par l'absence de structures de dissipation de l'énergie hydrodynamique. L'accrétion demeure marginale (36,03 m), indiquant que les apports sédimentaires naturels étaient insuffisants pour compenser la forte dérive littorale.



Entre 1989 et 1999, le taux moyen d'érosion chute à  $-1,04$  m/an, traduisant une atténuation notable par rapport à la décennie précédente. Toutefois, la dynamique reste dominée par l'érosion (446 transects en recul contre 187 en accrétion), avec un total de  $-464,46$  m de pertes sédimentaires. L'accrétion augmente légèrement ( $31,79$  m), mais demeure insuffisante pour compenser l'érosion dominante. Cette période révèle un ralentissement mais non une inversion des tendances régressives. La période 1999-2009 marque un tournant majeur avec l'apparition d'une tendance globalement constructive. Le taux moyen d'accrétion atteint  $0,97$  m/an, tandis que l'érosion reste faible ( $-0,46$  m/an). Cette phase est caractérisée par 616 transects en accrétion contre 19 en érosion, avec un gain cumulé de  $600,29$  m. Cette décennie représente une fenêtre de stabilisation relative, probablement induite par des changements hydrodynamiques ou anthropiques (piégeage sédimentaire lié à la construction ou à la consolidation d'ouvrages de protection). Après la phase constructive de 1999-2009, la période 2009-2024 présente un retour à l'érosion, avec un taux moyen de  $-0,63$  m/an. Malgré un nombre élevé de transects en accrétion (508), l'érosion (129 transects) domine en intensité, avec  $-81,34$  m de pertes cumulées. L'accrétion enregistrée ( $128,42$  m) n'équilibre pas les secteurs les plus exposés, ce qui suggère une reprise des conditions énergétiques défavorables (houles plus fréquentes), les limites des ouvrages de protection existants, parfois dépassés, une artificialisation accrue du littoral réduisant les capacités naturelles de résilience. Cette période indique une vulnérabilité persistante, malgré la présence d'apports sédimentaires localisés.

Sur l'ensemble de la période d'étude, le taux global d'évolution du trait de côte est de  $-0,39$  m/an, confirmant la prédominance d'une dynamique régressive à long terme. Les 507 transects en érosion concentrent un total de  $-279,20$  m, nettement supérieur aux gains limités de l'accrétion ( $17,07$  m pour 126 transects). Sur 45 ans, l'érosion domine, malgré une phase d'accrétion notable au début des années 2000.

### ***Impacts environnementaux de l'évolution du littoral de Rufisque*** ***Modifications environnementales observées***

Les agents hydrodynamiques entraînent des modifications sur les différentes unités paysagères dans la côte de Rufisque. En effet, on observe globalement une érosion favorisée par la nature sableuse de ces plages marquées par un décapage des microfalaises dunaires bordant une bonne partie de la plage de Bata ainsi qu'un recul de la végétation qui les colonise (photographie 1). Par ailleurs, la côte de Rufisque est bordée par des dunes noires, sensibles aux mouvements de masse. Ces mouvements peuvent se manifester par des effondrements, des éboulements, des dérochements et des

ravinements. Ces phénomènes affectent généralement les côtes à cordons sableux avec une hauteur qui varie selon la cohérence du substrat.

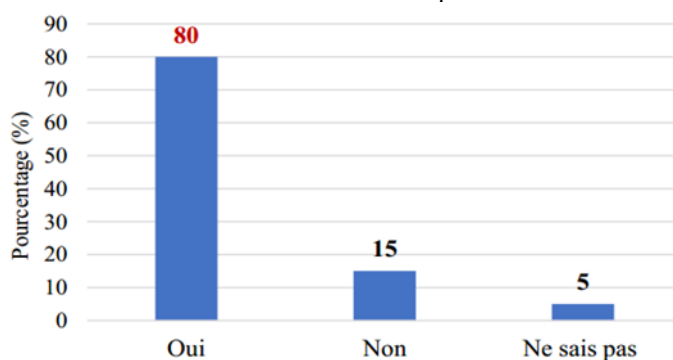
**Photographie 1** : Erosion par sapement de microfalaises dunaires sur la plage de Bata



Source : Cliché Faye, Septembre, 2023

En revanche, les littoraux marqués par un recul de la végétation subissent des éboulements suite à un ruissellement issu d'une forte précipitation. Ce qui se manifeste par des changements environnementaux bien perçus par les habitants de la zone d'étude. Ainsi, 80% de la population interrogée confirment avoir observé des changements environnementaux sur le littoral de Rufisque (figure 6).

**Figure 6** : Perception de la population sur les changements environnementaux observés sur le littoral de Rufisque



Source : Enquêtes de terrain, 2023

De ce fait, le littoral de Rufisque est caractérisé par une morpho dynamique côtière, ce qui laisse apparaître une modification de son environnement naturel.

### ***Une régression de la végétation littorale***

La côte de Rufisque est aussi soumise à une perte importante de sa végétation naturelle, étant donné que celle-ci marque la limite supérieure de la

plage (photographie 2). Ce qui traduit une vulnérabilité progressive de la côte, car la végétation naturelle joue un rôle de grande capacité de résistance face aux agressions marines. En plus, la croissance démographique et le développement industrielle dans la zone littorale de Rufisque accentue entre autres le déséquilibre de l'environnement du littoral de Rufisque, traduisant ainsi un déficit sédimentaire et de matières organiques de la plage. Ce qui augmente davantage la sensibilité des formations végétales face aux impacts de l'avancée de la mer.

**Photographie 2 :** (A) Recul de la végétation par sapement des vagues ; (B) mortalité de la végétation par la pression anthropique



Source : Cliché Faye, Septembre, 2023

### ***Des submersions marines sur le littoral de Rufisque***

En plus de ce recul de la végétation naturelle, certains événements se produisent lorsqu'il y a un débordement du jet de rive ou une rupture des digues ou autres types d'ouvrages de protection. Dans certains segments caractérisés par une faible pente, on observe des zones submergées lors des phénomènes extrêmes (photographie 3).

**Photographie 3 :** Des phénomènes de submersion marine à Diokoul



Source : Cliché Faye, Septembre, 2023

Ces événements sont principalement liés à l'action du vent sur le plan d'eau et de la pression atmosphérique. En effet, la chute de la pression atmosphérique entraîne une surélévation du niveau de la mer plus connu sous le phénomène de baromètre inverse (Sarr, 1998). Ainsi, les vagues générées au large par le vent, se propagent vers la côte et déferlent. Elles transfèrent leurs énergies au plan d'eau, ce qui entraîne une surélévation moyenne du niveau de la mer « *wave set-up* » ou une surcote liée aux vagues, pouvant s'élever à plusieurs dizaines de centimètres de hauteur. Ces perturbations et modifications environnementales se produisent dans un milieu dans lequel des activités socioéconomiques sont développées. Ces activités sont également impactées.

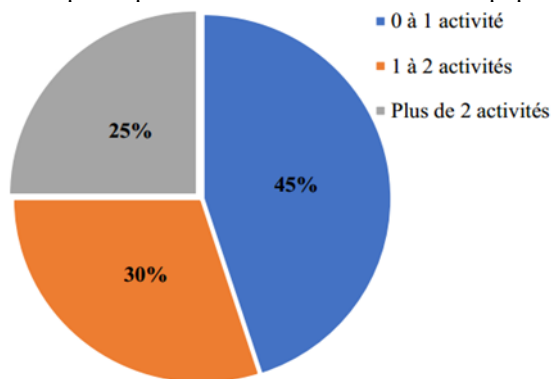
### ***Impacts socio-économiques issus de l'évolution du littoral***

D'importantes activités socio-économiques se développent sur les plages de Rufisque. Mais celles-ci sont menacées par l'érosion côtière.

### ***Impacts sur les activités liées à la pêche***

Les activités liées à la pêche sont plus exercées sur le littoral de Rufisque. Elles sont pratiquées par plus 60 % de la population locale. Les pêcheurs autochtones sont confrontés à d'énormes problèmes liés au recul du trait de côte. Les débarcadères des pirogues sont envahis par la menace des vagues, ce qui entraîne leur déplacement à plusieurs reprises. Ces déplacements rendent plus difficiles les conditions d'accès à la mer et l'amarrage des pirogues (figure 7). Les enquêtes auprès des populations ciblées révèlent une perte importante d'activités et matériels de pêche. La figure 14 nous révèle que 45 % de la population interrogée confirme avoir perdu au moins une activité exercée au bord de la mer à cause de l'érosion côtière.

**Figure 7 :** Nombre d'activités perdu par l'avancée de la mer selon les populations interrogées



Source : Enquêtes de terrain, 2023



### ***Destruction des biens sociaux, des impacts de l'avancée de la mer***

Ainsi, les populations riveraines de la ville de Rufisque voient certains de leurs biens détruits par l'érosion côtière sous leurs regards impuissant (photographie 4). Ce qui constitue un manque à gagner pour la population qui y travaille étant donné que leurs activités sont menacées.

**Photographie 4 :** Érosion et dégâts associés sur l'école primaire de Mérina 1 et de l'usine Bata



Source : Cliché Faye, Septembre, 2023

Ainsi, en période de haute marée, l'eau déborde et envahit toute l'école primaire de Mérina (photographie 5.A) qui est déjà érodée en grande partie. Il en est de même pour l'usine Bata (photographie 5.B), à la sortie de Rufisque qui est déjà envahie par l'eau de mer. Ce qui constitue un manque à gagner pour la population qui y travaille étant donné que leurs activités sont menacées. En plus des dégâts matériels, l'érosion côtière a des conséquences sur l'habitat.

### ***La destruction des habitations***

L'avancée de la mer touche aussi les infrastructures d'habitations à l'image des maisons, des mosquées et des églises (photographie 5). Ce qui a incité les autorités administratives à envisager des mesures compensatrices à l'égard des familles les plus touchées. D'où le transfert des populations vers d'autres zones. C'est à ce sens que de nouveaux quartiers (Arafat I et Arafat II) ont été créés pour reloger les sinistrés ou les quartiers qui sont susceptibles de l'être contre les agressions des vagues.

**Photographie 5 :** Destruction des habitations sur la plage de Rufisque



Source : Cliché Faye, Septembre, 2023

Même si d'importants efforts de protection littorale ont été faits, l'avancée de la mer reste toujours un fardeau pour les communautés comme le montrent ces bâtiments effondrés et abandonnés. Ainsi, les rejets industriels et domestiques notés sur le littoral de Rufisque perturbent son équilibre biologique. Cela contribue à une augmentation de la biomasse et à la diminution de l'oxygène sur la plage.

### ***Des plages polluées, une entrave des activités socioéconomiques dans la zone côtière de Rufisque***

L'utilisation des plages de Rufisque comme exutoires naturels des ordures ménagères et industrielles engendre une pollution sur le littoral et dont les conséquences sont énormes. Celles-ci touchent les activités socioéconomiques, les conditions écologiques du milieu marin, mais aussi la santé publique. Non seulement ces déchets constituent une entrave pour les activités socioéconomiques, mais aussi ils inhibent le développement de la faune marine. Il est donc nécessaire de prendre des dispositions pour la gestion et la protection du littoral, pour rendre ce milieu côtier sain, esthétiquement viable et vivable.

### **Discussion**

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer la dynamique spatio-temporelle du trait de côte à Rufisque sur la période 1979-2024, afin de comprendre les mécanismes physiques et anthropiques qui gouvernent son évolution et d'en mesurer les implications sur la durabilité du littoral. Cette approche diachronique vise à mettre en évidence les tendances érosives et accrétées, en les confrontant aux dynamiques environnementales et socio-

économiques locales. L'analyse diachronique révèle une tendance générale à la régression du trait de côte, avec un taux moyen de recul estimé à 0,39 m/an. Ce rythme de recul traduit une érosion littorale persistante, confirmant la forte vulnérabilité de ce segment du littoral sénégalais. Ces résultats convergent avec ceux de Koulibaly et Ayoade (2021), qui ont observé un recul atteignant -6,25 m/an entre 1978 et 1988, suivi d'une phase d'accrétion modérée (1,43 m/an entre 2008 et 2018). Malgré des divergences de périodes, ces tendances confirment la prévalence du processus érosif sur le long terme.

## **Les déterminants naturels de la régression côtière**

### ***Le rôle de l'hydrodynamisme marin***

Les modifications morphodynamiques observées à Rufisque résultent largement de l'action combinée des houles, des vagues, des marées et des courants côtiers (Diop-Niang, 1995 ; Sarr, 1998). Ces forçages météo marins, dont la direction et l'intensité varient selon les saisons, gouvernent le transport sédimentaire et conditionnent la stabilité du rivage.

#### ***a) Les houles du nord-ouest***

Les houles du nord-ouest, générées par les alizés (maritime et continentale) et prédominantes durant la saison sèche, atteignent la côte sénégalaise après une rotation autour de la presqu'île du Cap-Vert (Diop-Niang, 1995). Ce phénomène de réfraction et de diffraction, observé aux pointes des Almadies, de Bel-Air et de Cap Manuel, entraîne une dissipation progressive de l'énergie des vagues, mais provoque également un déplacement des sédiments vers le sud de la presqu'île. Cette redistribution différentielle du stock sédimentaire contribue au déséquilibre du budget sédimentaire des plages de Rufisque.

#### ***b) Les houles du sud-ouest***

À l'inverse, les houles du sud-ouest, plus actives durant la saison humide (juillet à octobre), sont associées à de fortes précipitations et à une turbulence accrue du plan d'eau (Faye, 2010). Leur incidence sur le littoral de Rufisque est amplifiée par l'ouverture directe de la baie sur l'océan Atlantique. Ces houles génèrent une érosion frontale intense, entraînant des pertes sédimentaires notables et des dommages matériels dans les quartiers côtiers tels que Thiawène et Diokoul.

#### ***c) L'action des vagues et des courants côtiers***

Les vagues, issues de la transformation des houles, exercent une pression mécanique directe sur les matériaux de la plage, accentuant le déchaussement sédimentaire (Stafford & Langfelder, 1971). Les travaux de terrain réalisés en Août 2023, nous permettent d'affirmer que les courants littoraux orientés de l'Ouest vers l'Est sont responsables d'un transit sédimentaire longitudinal qui, en l'absence d'apports suffisants, accélère la régression du trait de côte. Ces mécanismes hydrodynamiques, couplés à la



faible topographie et à la nature meuble des dépôts (Sarr, 1998), rendent le littoral particulièrement instable.

### **Les pressions anthropiques et leurs effets cumulatifs**

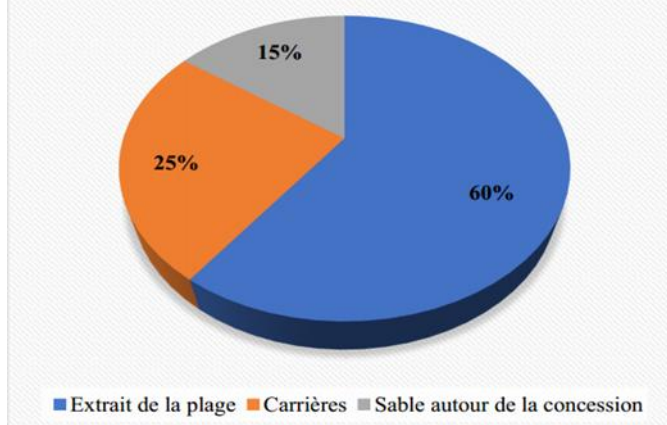
#### ***L'urbanisation et l'artificialisation du littoral***

La croissance urbaine rapide de Rufisque, conjuguée à l'absence de planification côtière, a entraîné une occupation anarchique du domaine public maritime. Les extensions d'habitats et infrastructures au bord de mer ont réduit l'espace tampon naturel, amplifiant les effets des houles et favorisant le recul du trait de côte (Cissé, 2022).

#### ***L'extraction illégale de sable et de coquilles***

Les enquêtes de terrain (2023) révèlent que 60 % des ménages utilisent du sable prélevé directement sur les plages pour la construction, contre seulement 25 % provenant de carrières réglementées (figure 8). Cette exploitation massive modifie les apports sédimentaires et déséquilibre le budget littoral, favorisant la régression de la plage.

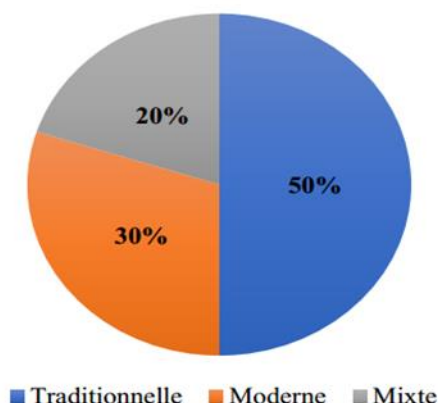
**Figure 8 :** Origine du sable utilisé pour la construction des maisons



Source : Enquêtes de terrain, 2023

Les coquilles extraites sont également utilisées pour la fabrication de briques locales et d'ouvrages traditionnels de protection, accentuant ainsi la déstructuration morpho-sédimentaire du rivage. Cette extraction du sable de plage s'explique par le fait que 50 % de la population rencontrée disposent des constructions traditionnelles dont le sable utilisé est extrait des plages ; 30 % des maisons sont de type moderne, contre 20 % de constructions mixtes (figure 9).

**Figure 9 :** Types de construction des concessions dans la zone littorale de Rufisque



Source : Enquêtes de terrain, 2023

### ***Les ouvrages côtiers et la perturbation du transit sédimentaire***

Les structures perpendiculaires au rivage (épis, canaux, digues) modifient la dynamique naturelle des plages. Parmi les plus significatives, on note : la digue de la pointe de Bel-Air (environ 350 m de longueur) ; les canaux d'alimentation en eau des centrales du Cap des Biches et des Industries Chimiques du Sénégal (200 m chacun) et la digue frontale de Thiawllène récemment construite. Ces aménagements, en interrompant la dérive littorale, provoquent une accumulation sédimentaire en amont (effet de piège) et une érosion accrue en aval (effet de déficit sédimentaire). Ce phénomène est bien documenté par Duvat (2001), Balouin et al. (2012) et Poate et al. (2013), qui démontrent que les ouvrages rigides, loin de stabiliser durablement les côtes, déplacent spatialement l'érosion et accentuent les déséquilibres sédimentaires.

### ***Conséquences socio-environnementales***

L'érosion affecte directement les infrastructures, les activités économiques (pêche artisanale, tourisme), mais aussi les espaces patrimoniaux, tels que les cimetières côtiers de Diokoul et Thiawllène. La dégradation du cadre de vie entraîne une perte progressive des activités maritimes et une vulnérabilité accrue des populations face aux aléas de submersion marine.

Le recul du trait de côte à Rufisque apparaît comme le résultat d'interactions complexes entre dynamiques naturelles (forçages météo marins, hydrodynamisme, déficit sédimentaire) et pressions anthropiques (urbanisation, extractions, aménagements). Ces interactions entraînent un déséquilibre sédimentaire chronique, déjà évoqué par Niang-Diop (1995), qui soulignait la difficulté de caractériser un fonctionnement morphodynamique régulier à partir de séries temporelles discontinues. Cette situation met en

évidence la nécessité d'une gestion intégrée du littoral, articulée autour de la restauration sédimentaire, du contrôle des activités extractives et d'une planification spatiale adaptée aux aléas côtiers. Une telle approche, fondée sur la connaissance fine des processus morphodynamiques, constitue la condition essentielle pour renforcer la résilience écologique et socio-économique du littoral de Rufisque.

## **Conclusion**

L'analyse morphodynamique du littoral de Rufisque sur la période 1979-2024 met en évidence une évolution régressive du trait de côte, démontrée par les mesures issues du traitement diachronique des images satellitaires. Le traitement des images montre en effet que le segment mesuré est en recul, avec des taux moyens variant entre -0,35 et -1,2 m/an dans les secteurs de Thiawlène et de Diokoul. Ces taux traduisent une érosion active confirmée par les observations de terrain (structures effondrées, perte de sable en pied de plage). Cette dynamique régressive résulte de l'interaction entre des facteurs hydro sédimentaires et anthropiques, dont les effets cumulatifs modifient profondément la répartition et le transit des sédiments. Sur le plan naturel, l'action combinée des houles dominantes du nord-ouest et du sud-ouest, la faible topographie et la mobilité du substrat sableux expliquent la vulnérabilité accrue du littoral. Ces contraintes naturelles sont amplifiées par des pressions anthropiques croissantes : urbanisation non planifiée, extraction de sable, ouvrages rigides (digues, canaux, épis) perturbant la dérive littorale, et réduction des espaces végétalisés. Les résultats montrent également une variabilité spatiale des dynamiques : les plages de Thiawlène présentent les taux de recul les plus élevés, tandis que les secteurs occidentaux (proximité du Cap des Biches) conservent une relative stabilité, grâce à un haut de plage plus large et à un volume sédimentaire plus conséquent, capables de dissiper l'énergie des vagues. Sur le plan environnemental, cette évolution entraîne une fragilisation des écosystèmes côtiers, notamment la disparition progressive des herbiers et la dégradation des habitats. Sur le plan socio-économique, l'érosion se traduit par la perte d'infrastructures côtières, la réduction des espaces habitables et la menace directe sur les activités de pêche, de commerce et de tourisme, piliers de l'économie locale. Les mesures d'adaptation existantes (ouvrages de protection, rechargement en sable, initiatives communautaires) restent insuffisantes au regard de l'ampleur et de la vitesse des transformations observées. Ces actions, souvent curatives, n'abordent pas les causes structurelles du déséquilibre sédimentaire. Ainsi, les résultats de cette étude démontrent que l'érosion du littoral de Rufisque n'est pas un phénomène ponctuel, mais un processus morphodynamique continu nécessitant une réponse intégrée. Il apparaît impératif de promouvoir une gestion concertée et anticipative du littoral, fondée sur la restauration des

apports sédimentaires naturels, la planification urbaine adaptée aux risques côtiers et la mise en œuvre de solutions fondées sur la nature (stabilisation végétale, dunes artificielles, reconstitution des zones humides). Une telle approche, soutenue par des dispositifs de suivi géospatial et participatif, permettra de renforcer la résilience des communautés littorales et de contribuer à un développement durable du territoire côtier.

**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. Anthony, E. J. (1998). *Sediment dynamics and coastal morphodynamics*. Progress in Physical Geography, 22 p.
2. Anthony, E. J., Almar, R., & Aagaard, T. (2015). Recent advances in the understanding of nearshore processes and their controls on beach and shoreface morphodynamics. *Earth-Science Reviews*, pp. 1-36. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2015.09.004>
3. Balouin, Y., Duvat, V., & Anthony, E. (2012). *Les ouvrages côtiers : efficacité, impacts et durabilité*. *Revue de Géographie de l'Environnement Littoral*, 13 p.
4. Barry, I. (2017). *Vulnérabilité des zones côtières sénégalaises face à l'érosion marine* (Mémoire de Master, Université Cheikh Anta Diop, Dakar, 123 p.).
5. Bird, E. (2008). *Coastal geomorphology: An introduction*. John Wiley & Sons, 411 p.
6. Boak, E. H., & Turner, I. L. (2005). Shoreline definition and detection: A review. *Journal of Coastal Research*, 21p, <https://doi.org/10.2112/03-0071.1>
7. Cissé, M. (2022). *Urbanisation et vulnérabilité côtière dans la presqu'île du Cap-Vert* (Mémoire de Master, Université Assane Seck de Ziguinchor, 98 p.).
8. Crowell, M., Leatherman, S. P., & Buckley, M. K. (1997). Historical shoreline change: Error analysis and mapping accuracy. *Journal of Coastal Research*, 13p.
9. Dacosta, H., Ndiaye, P., & Sadio, M. (2020). *Évolution récente du trait de côte sur la Petite Côte sénégalaise* (Rapport de recherche, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 28 p.).

10. Diallo, A. (2009). *Climat et végétation de la presqu'île du Cap-Vert* (Mémoire de Master, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 95 p.).
11. Diatta, M. (2013). *Méthodes d'échantillonnage en géographie humaine*. Université de Ziguinchor, 76 p.
12. Diaw, A. T. (1997). *Dynamique urbaine et risques environnementaux à Rufisque* (Mémoire de DEA, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 110 p.).
13. Diop, E. S. (1995). *Le littoral sénégalais : évolution et dynamique*. Dakar: IFAN, 152 p.
14. Diop, E. S., Niang, A. D., & Sarr, A. (2013). *Les littoraux d'Afrique de l'Ouest : Entre risques et aménagements*. Dakar: Enda Éditions, 210 p.
15. Diop-Niang, A. D. (1995). *La morphodynamique du littoral sénégalais* (Thèse de Doctorat, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 317 p.).
16. Dolan, R., Fenster, M. S., & Holme, S. J. (1991). Temporal analysis of shoreline recession and accretion. *Journal of Coastal Research*, 7p.
17. Duvat, V. (2001). *Les littoraux tropicaux : dynamiques, pressions et gestion*. Paris: Armand Colin, 189 p.
18. Faye, I. (2010). *Étude morphodynamique du littoral sénégalais : cas de la baie de Hann* (Mémoire de Master, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 137 p.).
19. Kane, A. (2015). *Activités économiques et mutations urbaines à Rufisque* (Mémoire de Master, Université Cheikh Anta Diop, Dakar, 121 p.).
20. Koulibaly, A., & Ayoade, J. O. (2021). Analyse diachronique du trait de côte sur le littoral sénégalais. *Revue Africaine de Géosciences*, 14p.
21. Lu, D., Mausel, P., Brondizio, E., & Moran, E. (2004). Change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 25p, <https://doi.org/10.1080/0143116031000139863>.
22. Ndam, J. P., Sarr, A., & Barry, I. (2019). *Méthodes quantitatives et qualitatives d'échantillonnage en géographie*. Dakar: L'Harmattan, 202 p.
23. Ndiaye, P., Sarr, A., & Diop, E. (2021). Dynamiques sédimentaires et risques côtiers sur la presqu'île du Cap-Vert. *Revue Ouest-Africaine des Sciences de la Mer*, pp. 55-70.
24. Ndour, A., Sadio, M., & Faye, I. (2023). Analyse morphodynamique et gestion intégrée du littoral sénégalais. *Revue de Géomatique et Environnement*, 12p.
25. Niang-Diop, I. (1995). *Vulnérabilité du littoral sénégalais face aux changements climatiques* (Thèse de Doctorat, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 477 p.).

26. Poate, T. G., Masselink, G., & Russell, P. (2013). Morphodynamic variability on high-energy macrotidal beaches. *Marine Geology*, pp. 53-68, <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2013.09.001>.
27. Sadio, M., Dacosta, H., & Ndiaye, P. (2017). Stabilité du trait de côte et ouvrages de protection au Sénégal. *Revue Sénégalaise de Géographie*, 15p.
28. Sarr, K. (1998). *Les dynamiques littorales du Cap-Vert : morphologie, processus et impacts* (Thèse de Doctorat, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 117 p.).
29. Stafford, D. B., & Langfelder, J. (1971). Coastal processes and beach morphology. *Coastal Engineering Proceedings*, 12p.
30. Sy, O., Dacosta, H., & Ndiaye, P. (2021). Érosion côtière et gestion intégrée sur la côte sénégalaise. *Revue Ouest-Africaine de Géographie*, 9p.
31. Thieler, E. R., Himmelstoss, E. A., Zichichi, J. L., & Ergul, A. (2009). Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0: An ArcGIS extension for calculating shoreline change. U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278, <https://doi.org/10.5066/P13WIZ8M>, 50p.
32. Thior M. (2020) : *Dynamique du littoral de la Casamance : caractéristiques morphodynamiques, changements environnementaux et impacts socioéconomiques* (Thèse de Doctorat, Université Assane Seck de Ziguinchor, 388p).
33. Udo, K., & Hinkel, J. (2021). Impacts of sea-level rise on coastal erosion: Global and regional assessments. *Sustainability*, 13(5), pp. 1-23. <https://doi.org/10.3390/su13052678>.
34. Weissenberger, S., Morand, P., & Thumerelle, P. J. (2016). *Géographie et environnement : concepts et méthodes*. Paris: Armand Colin, 59 p.