

UNIVERSITÉ ASSANE SECK DE ZIGUINCHOR



UFR Des Sciences et Technologies

Département de Géographie

Master : Espaces, Sociétés et Développement

Spécialité : Environnement et Développement

MEMOIRE DE MASTER

THÈME :

**ÉVOLUTION MORPHODYNAMIQUE DU LITTORAL DE LA PRESQU'ILE DU CAP-VERT
ET SES IMPACTS : L'EXEMPLE DE LA VILLE DE RUFISQUE DE 1973 A 2022 (SENEGAL)**

Présenté par :

Ibra FAYE

Sous la direction de :

El Hadji Balla DIEYE (UASZ)

Co-direction de :

Mamadou THIOR (UCAD)

Sous la supervision de :

Tidiane SANE (UASZ)

Présenté et soutenu publiquement le 17 avril 2023 devant le jury composé de :

Prénom (s) et Nom	Grade	Qualité	Établissement
Oumar SY	Professeur Titulaire	Président	UASZ
Tidiane SANE	Maitre de Conférences	Superviseur	UASZ
El Hadji Balla DIEYE	Maitre-Assistant	Encadreur	UASZ
Mamadou THIOR	Assistant	Encadreur	UCAD
Alvares Gualdino Foufoué BENGA	Maitre-Assistant	Examineur	UASZ

Année académique 2021-2022

RÉSUMÉ

L'évolution morphodynamique des littoraux est une problématique qui affecte toutes les côtes du monde entier, en particulier celles d'Afrique de l'Ouest. Le phénomène est plus alarmant du fait de la faiblesse des moyens de résilience. La dynamique du littoral de Rufisque, dans la presqu'île du Cap-Vert est régie par divers facteurs à la fois naturels et anthropiques qui s'expriment par une mobilité du trait de côte à l'origine des impacts environnementaux et socioéconomiques. Le but de cette étude est de mettre en évidence l'évolution morphodynamique du trait de côte, ses impacts environnementaux et socioéconomiques sur le littoral de la ville de Rufisque, siège de plusieurs activités économiques et industrielles. L'approche méthodologique utilisée dans cette étude se base sur une démarche cartographique et statistique à partir d'une série d'images géospatiales (*Landsat* et *Google Earth*) et des travaux de terrain, afin de suivre et de calculer les taux de variations du trait de côte. Les résultats obtenus après le calcul de l'indice de mobilité entre deux traits de côte successifs *End point Rate (EPR)*, ont montré un recul global de la plage entre la période (1973-1990), aucune situation de progradation n'a été observée sur le littoral de Rufisque. En revanche, pendant les périodes (1990-2009) et (2009-2022), le littoral de Rufisque a connu une évolution contrastée marqué par des situations d'érosion et d'accrétion. Ainsi, le *Linear Regression Rate (LRR)* a permis de mettre en évidence l'évolution globale du trait de côte sur le littoral de la ville de Rufisque de 1973 à 2022. Les résultats ont montré que la côte de Rufisque est soumise à une tendance globalement régressive avec un taux de recul de 1,24m/an. Ce qui nous a permis de voir que la dynamique du trait de côte affecte généralement l'environnement littoral et la vie socioéconomique des populations. En effet, cette dynamique, globalement érosive, a poussé les populations à entreprendre des stratégies d'adaptations face aux agressions marines. Elles sont jugées insuffisantes face aux effets du changement climatique, d'où la proposition de mesures d'aménagement durable du littoral de Rufisque, au regard de la dynamique en cours.

Mots-clés : Littoral, Morphodynamique, Trait de côte, Impact, Aménagement, Rufisque, Presqu'île du Cap-Vert, Sénégal.

ABSTRACT

The morphodynamic evolution of coastlines is an issue that affects all coasts around the world; especially those in West Africa. The phenomenon is more alarming due to the lack of resources. The dynamics of the Rufisque coastline in the Cape Verde peninsula, is governed by various factors, both natural and anthropogenic, which are expressed by the mobility of the coastline, which is the source of environmental and socio-economic impacts. The purpose of this study is to highlight the morphodynamic evolution of the coastline, its environmental and socio-economic impacts on the coastline of the town of Rufisque, the seat of several economic and industrial activities. The methodological approach used in this study is based on a cartographic and statistical approach based on a series of geospatial images (Landsat and *Google earth*), in order to monitor and calculate the rates of coastline variations. The results obtained after calculating the mobility index between two successive coastlines End point Rate (EPR), showed an overall decline in the beach between the period (1973-1990), no situation of progradation was observed on the Rufisque coast. On the other hand, the periods (1990-2009) and (2009-2022), the Rufisque coastline experienced a contrasting evolution marked by situations of erosion and accretion. Thus, the Linear Regression Rate (LRR) made it possible to highlight the overall evolution of the coastline on the coast of the town of Rufisque from 1973 to 2022. The results showed that the coast of Rufisque is subject to a trend globally regressive with a decline rate of 1.24m/year. These results have shown that the dynamics of the coastline generally affects the coastal environment and the socio-economic life of the populations. This globally erosive dynamic to push populations to undertake adaptation strategies in the face of marine aggression. They are considered insufficient in the face of the effects of climate change, hence the proposal for prospects for sustainable development of the Rufisque coastline, in view of its current dynamics.

Keywords: Coastline, Morphodynamic, Shoreline, Impact, Planning, Rufisque, Cape Verde Peninsula, Senegal.

DÉDICACES

Louage à Allah, le tout puissant qui m'a accordé la santé, la force et le courage de réaliser ce travail. Je me soumetts également envers lui afin qu'il me facilite tout travail qui me sera donné.

Je dédie ce mémoire à :

- mes très chers parents pour leur éducation, leur encadrement irréprochable, leur prières, leur affection immesurable ;
- mes défunts grands-parents, que la terre leur soit légère ;
- mes grands-parents, mes oncles et mes tantes qui ont fait de moi ce que je suis aujourd'hui, en m'inculquant une bonne éducation dès le bas âge que je n'ai jamais regretté ;
- mes frères et sœurs, cousins et cousines de Silane, de Thiaroye-Sur-Mer et de Bambey Sérère, pour leurs conseils et soutien constat ;
- tous mes amis et frères d'enfances du CEM et du Lycée Bambey Sérère ;
- la famille Dianbang depuis Ziguinchor, plus particulièrement Ousmane Dianbang pour son accueil chaleureux depuis mon séjour ;
- mes amis Djiby Yade, François Ngor Sène, Boubacar Diallo et Khady Diouf ;
- toute la famille Faye;
- ma chère Sokhna khadijatou Sall, Maimouna Gueye ;
- toute la jeunesse de Silane ;
- la mémoire de Diéthié Sène ;
- la mémoire de Saliou Sène ;
- la mémoire de Saliou Faye ;
- la mémoire de maman Isseu Mbaye.

REMERCIEMENTS

C'est avec joie et gratitude que j'exprime mes sincères remerciements à toutes les personnes qui, de près et de loin ont contribué à l'aboutissement de ce travail.

Tout d'abord, je remercie :

- Dr El Hadji Balla Dièye qui malgré ses tâches administratives a toujours trouvé du temps pour nous donner des conseils précieux et des critiques forts constructives pour ces années de recherches. Un grand merci à vous cher Docteur, que la paix et la bénédiction d'Allah soit avec vous ;
- Dr Mamadou Thior, qui m'a toujours guidé, orienté et accompagné surtout dans les épreuves difficiles depuis le début de mes recherches. Merci pour votre disponibilité et votre rigoureuse démarche que vous nous avez toujours incitée à adopter.

J'adresse mes remerciements :

- aux membres du jury pour avoir accepté de juger ce travail de recherche ;
- à tout le corps enseignant du département de Géographie de l'Université Assane Seck de Ziguinchor : Pr. Tidiane Sané, Pr. Ibrahima Mbaye, Dr. El Hadji Balla Dièye, Dr. Omar Sall, Dr Alvares Gualdino Fougoué Benga, Pr. Oumar Sy, Pr. Aïdara Cherif Amadou Lamine Fall, Pr. Cheikh Faye, Dr. Abdourahmane Mbade Sène, Dr. A. Baldé, Dr. Cheikh Tidiane Wade, Mme Dabo et Dr. Alla Manga. Merci de nous avoir fait suivre une formation de qualité et rigoureuse au cours de notre cursus universitaire ;
- aux Dr. Boubacar Demba Ba et Dr. Boubacar Solly de m'avoir aidé sur la manipulation des outils d'analyse spatiale ;
- à Mr. Félix Diouf qui a fait de moi un passionné de la géographie depuis le lycée ; soyez spécialement remercié Professeur ;
- aux maires de Rufisque Ouest M. Mar et de Rufisque Est M. Sembène pour leur soutien et leur disponibilité toujours manifesté durant mes travaux de terrain ;
- à M. Mamadou Sène, M. Ass Mbengue, M. Déthié Wane, M. Etou Ndoye, M. Baytir Ciss pour leurs soutien et accompagnements ;
- à toute la population de Rufisque auprès de laquelle j'ai pu recueillir des informations très précieuses pour la réalisation de ce travail ;
- à Mamadou Diop Thioune, président administrateur de la société Green marine pour son soutien et sa disponibilité durant les travaux de terrain ;

- à mes oncles Moussa Sène, Sadio Sène, Fallou Ndiaye, Diène Samb qui ont beaucoup investi pour la continuité de mes études ;
- à mes amis Saliou Sène, Aliou Sène, Cheikh Sène, Barra Ndiaye, Abdou Ndiaye pour leurs conseils et leurs considérations envers moi ;
- à mon ami Mamadou Ndom qui m'a aidé et soutenu dans la réalisation de mes travaux de terrain, sans lui je n'aurais pas pu les réaliser dans les délais ;
- à mon fidèle ami et compagnon François Ngor Sène pour son inestimable soutien moral et ses conseils qui m'ont été bénéfiques ;
- à l'endroit de mes amis, frères et sœurs Djiby Yade, Ibrahima Barro, Saliou Fall, Idrissa Diouf, Ameth Ka, Sokhna Khadidiatou Sall, Yaram Nar Diop, Fatou Gueye, Amie Thiam, Aminata Samb, Adama Sarr, Adama Dianko, Amina Keita, Yamadjiguène Diouf, Ngoumbe Gaye, Ousmane Mbaye, Fatou Tanor Gaye, Moustapha Diop, Bamba Sow et Awa Gaye pour leurs accompagnements ;
- à Ndèye Fama Diop pour ses conseils ainsi que ses encouragements dans les moments difficiles ;
- à Khady Diouf, une amie qui n'a jamais cessé de me motiver pour la réalisation de ce travail ;
- à mon tuteur de Ziguinchor, Ousmane Dianbang et sa formidable famille en particulier Awa Diagne, Adama Diagne et Matta Diatta ;
- à toute ma famille qui m'a toujours soutenu depuis mon enfance. Les dédicaces et les remerciements ne suffiront pas pour honorer mes deux parents ;
- à tous les doctorants du LGE, en particulier Henry Marcel Seck qui s'est beaucoup investi dans la lecture et la correction de ce travail ;
- à tous mes amis et camarades de la 12^{ième} promotion, je veux nommer, Mamadou Faye, Issa Diop, Babacar Ndao, Pierre Mbar Faye, Cheikh Ahmadou Bamba Mbacké Niang, Boubacar Diallo, Fatoumata Seck, Fatoumata Binetou Sané, Houlèye Touré, Djibril Samb, Moussa Ba, ainsi que tous les étudiants du département de Géographie.

Je ne saurais terminer mes remerciements sans les adresser à tous mes amis et frères, je veux nommer, Abdou Ndiaye, Daouda Ndiaye, Modou Faye, Bassirou Diouf, Abdoulaye Diouf, Daouda Gning, Saliou Sène, Cheikh Gueye, Ablaye Ndiaye, Ibrahima Faye, Gorgui Diouf, Baboucar Faye, Sérigne Fallou Sarr, Saliou Diouf, Yacine Diouf, Mbène Gueye et Pa. Amadou Traoré.

SOMMAIRE

RÉSUMÉ	ii
ABSTRACT	iii
DÉDICACES	iv
REMERCIEMENTS	v
SOMMAIRE	vii
SIGLES ET ACRONYMES	viii
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
PREMIÈRE PARTIE : CADRE THÉORIQUE ET MÉTHODOLOGIQUE DE LA RECHERCHE	3
Chapitre 1 : Cadre théorique.....	4
Chapitre 2 : Cadre méthodologique.....	26
DEUXIÈME PARTIE : LES CARACTÉRISTIQUES MORPHODYNAMIQUES ET ÉVOLUTION DU LINÉAIRE CÔTIER DU LITTORAL DE RUFISQUE	62
Chapitre 3 : Les facteurs explicatifs de l'évolution morphodynamique du littoral de la ville de Rufisque.....	63
Chapitre 4 : Évolution du linéaire côtier du littoral de Rufisque.....	89
TROISIÈME PARTIE : IMPACTS DE L'ÉROSION CÔTIÈRE ET PERSPECTIVES D'AMÉNAGEMENTS DU LITTORAL DE RUFISQUE	100
Chapitre 5 : Impacts de l'érosion côtière sur le littoral de Rufisque.....	101
Chapitre 6 : Stratégies de protection contre l'avancée de la mer et perspectives d'aménagements du littoral de Rufisque.....	115
CONCLUSION GÉNÉRALE	124
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	126
WÉBOGRAPHIE	132
ANNEXES	133
LISTES DES ILLUSTRATIONS	140

SIGLES ET ACRONYMES

AMP : Aires Marines Protégées

ANAT : Agence Nationale de l'Aménagement du Territoire

ANSD : Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie

CRODT : Centre de Recherche Océanographique de Dakar-Thiaroye

CSE : Centre de Suivi Ecologique

DPM : Domaine Public Maritime

DSAS : *Digital Shoreline Analysis System*

DTGC : Direction des Travaux Géographiques et Cartographiques

EPR : *End Point Rate*

ETM+ : *Enhanced Thematic Mapper Plus*

GCP : *Ground Control Point* (Point de contrôle au Sol)

GIEC : Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat

GREEN : Groupe de Recherches et d'Études Environnementales

ICS : Industries Chimiques du Sénégal

IGN : Institut Géographique National

ISP : Indice Standardisée des Précipitations

LRR : *Linear Regression Rate-of-change*

MNT : Modèle Numérique de Terrain

MOLOA : Mission d'Observation du Littoral Ouest-Africain

MSS : *Multi Spectral Scanner*

NASA : *National Aeronautics and Space Administration*

OLI_TIRS : *Operational Land Imager and Thermal Infrared Sensor*

ONAS : Office National d'Assainissement du Sénégal

ONG : Organisation Non Gouvernementale

PNAE : Plan National d'Actions pour l'Environnement

PNUE : Programme des Nations Unies Pour l'Environnement

PRCM : Programme Régional de Conservation des Zones Côtières et Marines en Afrique de l'Ouest

RMSE : *Root Mean Square Error*

SIG : Système d'Information Géographique

SES : Situation Economique et Sociale

SRTM : *Shuttle Radar Topography Mission*

TDC : Trait de Côte

TM : *Thematic Mapper*

UASZ : Université Assane Seck de Ziguinchor

UCAD : Université Cheikh Anta Diop de Dakar

UCG : Unité de Coordination et de Gestion des déchets solides

USGS : *United States Geological Survey*

WACA : *West Africa Coastal Areas programm*

WGS 84 : *World Geodetic System 1984* (Système Géodésique Mondial)

INTRODUCTION GÉNÉRALE

La variation du niveau de la mer est l'une des conséquences majeures du réchauffement climatique. Elle est principalement due à l'expansion thermique des océans, à la fonte des glaciers de montagne ainsi qu'aux marges des calottes glaciaires du Groenland et de l'Antarctique (Cazenave, 2010 ; Faye, 2010 ; Weissenberger *et al.*, 2016 ; Thior, 2020). Cependant, à mesure que le taux d'élévation du niveau de la mer s'accélère, il peut devenir de plus en plus le moteur des changements côtiers (GIEC, 2001). Avec plus de 700 km de côtes, le Sénégal est situé à la pointe occidentale du continent africain. En plus de l'immense biodiversité qui caractérise le littoral sénégalais, d'importants biens et services s'y concentrent (Thior *et al.*, 2021). Cette importance environnementale et socio-économique des zones côtières, largement reconnue, est actuellement menacée (Thior, 2020). Or, la demande en ressources y est devenue plus accrue. Les impacts sur les côtes le long de la capitale sénégalaise sont une préoccupation majeure, car 3,1 millions de la population soit 23,2% vit à Dakar qui est une ville côtière (ANSD, 2013). De nombreuses activités économiques y trouvent un cadre favorable, la pêche artisanale et les activités connexes y occupent une position centrale que ce soit sur la grande ou petite côte. Ces 700 km de zones côtières largement ouvertes sur l'océan Atlantique peuvent être décrites comme suit : 300 km de côte sableuse ; 234 km de zones de mangroves et d'estuaires et 174 km de côte rocheuse (Diaw, 1997). Cette situation rend la zone côtière vulnérable face aux phénomènes d'inondations et d'érosion côtière. Les caractéristiques de la zone côtière traduisent la vulnérabilité de chaque type de côte et de surcroît la vitesse d'érosion. Les taux d'érosion du littoral observés varient selon les endroits, mais sont en moyenne entre un (1) et deux (2) m/an pour les plages de sable, et de 0,1 à 0,7 m/an pour les côtes rocheuses au Sénégal (Banque Mondiale, 2011). L'analyse du recul du trait de côte au Sénégal a impliqué deux grandes approches dans le temps. La première était principalement orientée vers l'interprétation de la géologie ancienne avec référence au niveau de la mer (transgression et régression marine). La deuxième approche a porté sur l'analyse à partir des outils géospatiaux modernes impliquant des photographies aériennes, des plans cadastraux et, plus récemment, des images satellitaires et *Google Earth*. A Rufisque, les études d'évolution du trait de côte se sont essentiellement appuyées sur l'analyse de documents iconographiques (photographies aériennes, cartes topographiques, cartes cadastrales, cartes marines, images satellites haute résolution) (Sarr, 1998 ; Koulibaly *et al.*, 2021). Ce travail d'étude et de recherche est structuré en trois parties :

- La première partie présente le cadre théorique et la démarche méthodologique de recherche utilisée ;
- La deuxième partie est consacrée aux caractéristiques morphodynamiques et l'évolution du linéaire côtier du littoral de Rufisque ;
- La troisième partie aborde les impacts de l'érosion côtière ainsi que les perspectives d'aménagements du littoral de la ville de Rufisque.

PREMIÈRE PARTIE : CADRE THÉORIQUE ET MÉTHODOLOGIQUE DE LA RECHERCHE

Dans ce travail d'étude et de recherche, le cadre théorique, méthodologique ainsi que la revue bibliographique sont exploités pour analyser et comprendre les questionnements et les hypothèses scientifiques existantes en rapport avec la thématique de recherche. Ce qui a permis de formuler nos hypothèses qui ont été évaluées lors des travaux de terrain. Dans cette partie, il est question de présenter le cadre théorique de notre travail de recherche, la méthodologie utilisée pour aboutir à des résultats et la zone d'étude.

CHAPITRE 1 : CADRE THÉORIQUE

Dans ce chapitre, il est question d'aborder la problématique de la recherche en rappelant le contexte dans lequel le thème s'inscrit avant de justifier son choix, ensuite discuter les concepts qui régissent les questions abordées pour terminer avec la présentation de la zone d'étude.

1. Problématique

1.1. Contexte

Le recul du trait de côte s'inscrit dans la tendance régressive générale à l'échelle de la planète (Faye, 2010 ; Thior, 2020). L'Afrique de l'Ouest, avec ses 4400 km de côte connaît d'importantes dynamiques observables à travers le recul du trait de côte très variable par endroits (Cuq, 2002 ; Abé, 2005 ; Jonah *et al.*, 2016), dont les impacts pèsent lourdement sur le développement local. Les littoraux ouest-africains constitués en grande partie d'estuaires et de plages sableuses n'échappent pas à cette tendance. Les zones côtières ont depuis longtemps revêtu un intérêt particulier pour les humains, en tant que lieux de peuplement, d'échanges, de passages, ou générateurs de ressources (Weissenberger *et al.*, 2016). Aujourd'hui, les littoraux sont les espaces les plus densément peuplés de la Terre (Diaw, 1997 ; Diop-Niang, 1995). Ainsi, l'érosion côtière reste l'un des principaux problèmes environnementaux auxquels est confronté le littoral de l'Afrique de l'Ouest (Ibe et Quelennec, 1989 ; Faye, 2010). Cette tendance s'accroîtra avec l'élévation attendue du niveau moyen de la mer selon les prédictions du Groupe Intergouvernemental des Experts pour l'Etude du Climat (GIEC, 2007).

Le littoral est un espace dynamique, qui évolue avec le temps, suivant les cycles saisonniers, les marées (Diaw *et al.*, 1992). Les dynamiques se manifestent par d'énormes problèmes liés à l'érosion côtière. Ce phénomène est récurrent. Depuis longtemps le trait côtier a toujours subi des changements et la plupart des zones côtières connaissent des modifications profondes suite aux phénomènes naturels accentués par les actions anthropiques (Thior, 2020). Depuis quelques décennies, la zone côtière sénégalaise est devenue un espace particulièrement attractif sur le plan économique, démographique et social (Mbow *et al.*, 2008). L'érosion et les submersions temporaires sont des phénomènes naturels auxquels les écosystèmes côtiers sont confrontés (Thior, 2014). De manière générale, on constate que les plages reculent davantage, alors que la population ne cesse d'augmenter sur cette bande côtière qui constitue un espace spécifique par sa position géographique qui lui impute un privilège exerçant un fort attrait sur les hommes et un point de convergence de beaucoup de secteurs d'activités (Barry, 2017 ; Diatta, 2020). La zone côtière et ses ressources représentent une composante importante du développement des pays dans le monde (Diaw *et al.*, 1992). De nombreuses activités économiques y trouvent un

cadre favorable. La pêche artisanale et le tourisme y occupent une position centrale. Le processus d'érosion côtière est accentué dans les années 80 au Sénégal, mais celui-ci n'a pas suffisamment été pris en considération au début (Thior, 2014). La hausse du niveau de la mer est l'une des principales causes de l'érosion, aggravée par la variation climatique et les activités humaines, en particulier les aménagements, les prélèvements inopinés de sables de plages effectués le long de la côte, mais également la mauvaise exploitation des ressources naturelles des écosystèmes côtiers. En plus de ces effets, il y a son exposition à l'océan Atlantique, combinée à la fragilité morphologique de la côte sableuse. Le littoral sénégalais demeure un milieu vulnérable face à l'érosion côtière. La vulnérabilité des zones côtières sénégalaises montre que le taux d'augmentation du niveau marin pourrait conduire à une accélération de l'érosion côtière, à des inondations des zones côtières basses, à une salinisation accrue des sols et des eaux superficielles et souterraines. L'envahissement d'une partie du littoral par la mer, consécutif à une élévation du niveau marin entraînera une plus grande intrusion d'eau salée dans les zones côtières, aggravant ainsi les problèmes de salinité des sols et des eaux douces. Les impacts physiques dus aux changements climatiques dans les zones côtières ou marines peuvent toucher plusieurs secteurs d'activités notamment :

- le tourisme avec la destruction des infrastructures hôtelières et la réduction des plages ;
- la pêche maritime touchée surtout avec l'élévation du niveau marin ainsi que le réchauffement des eaux océaniques suite aux modifications induites dans les communautés de pêche ;
- l'agriculture est aussi impactée par la salinisation des terres et des nappes, entraînant ainsi une accélération des processus des formations des tannes engendrant une réduction des surfaces cultivables.

Les facteurs naturels ne sont pas les seuls agents responsables des modifications notées dans les écosystèmes littoraux sénégalais. Les actions anthropiques sur les côtes sénégalaises ont un effet accélérateur, car le littoral de Rufisque subit une pression anthropique sans équivoque. Parmi les activités incriminées, on peut noter le prélèvement de sable pour la construction des maisons. En effet, le développement des infrastructures artisanales et la croissance démographique rapide augmentent le besoin en construction d'équipements sociaux et d'habitations dont l'une des matières premières est le sable marin, jugé localement de meilleure qualité. La pêche est la principale activité génératrice de revenus au niveau de la ville de Rufisque. Depuis longtemps, la bande littorale est devenue une zone d'implantation très prisée d'activités, un lieu de transformation des ressources et des aménagements parfois inappropriés

qui y provoquent des déséquilibres. La destruction de cette bande côtière pour l'implantation des infrastructures (industrielles) entraîne une fragilisation de la côte et son exposition face aux pressions liées à la dynamique marine ainsi qu'à ses impacts (Faye, 2010).

La problématique de la dynamique du littoral sénégalais a en effet intéressé de nombreux chercheurs (Sall, 1982 ; Diop, 1995 ; Diaw, 1997 ; Adjoussi, 2001 ; Bird, 2007 ; Faye, 2010 ; Sakho, 2011 ; Sy, 2013, Diagne, 2015 ; Niang, 2017 ; Thior, 2020) l'ayant abordé avec diverses approches. Ces auteurs ont globalement montré que plus de 70% des côtes sableuses du monde subissaient le phénomène d'érosion côtière qui se traduit, entre autres, par le recul de la ligne de rivage variant en moyenne de 1 à 4 m par an. Les études antérieures sur la dynamique du littoral sénégalais (Faye, 2010 ; Diatta, 2020) estiment que ces taux varient entre -1 et -2,5m/an avec de fortes variations spatio-temporelles. Ces dernières permettent de qualifier certains secteurs très vulnérables à l'érosion côtière comme la zone de Dakar, la langue de Barbarie, la pointe de Sangomar, la petite côte, la baie de Hann, l'île de Gorée, etc. (Ba, 2013). Les nombreux auteurs qui ont travaillé sur les côtes du Sénégal (Diop 1990 ; Cormier-Salem 1992, 1999 ; Diaw 1997 ; Andrieu, 2008 ; Conchedda, 2009 ; Faye, 2010 ; Sané, 2017 ; Thior, 2020) insistent, en effet, sur les facteurs responsables de cette dynamique tels que les changements climatiques, les tempêtes, les variations du niveau marin, la variation des apports sédimentaires naturels sur les côtes et les actions anthropiques. Dans ce présent travail, il s'agit de mettre en évidence une cinématique du trait de côte à Rufisque et ses conséquences afin d'analyser les stratégies de protection déjà développées pour lutter contre l'avancée de la mer.

1.2. Justification du choix de la thématique et de la zone d'étude

Ce travail s'inscrit dans le cadre d'un mémoire de Master. Le choix de la thématique et de la zone d'étude n'est pas fortuit. À l'instar de plusieurs disciplines qui s'intéressent aux dangers qui guettent l'environnement, la géographie s'intéresse ici au processus de peuplement de l'espace ainsi qu'aux facteurs responsables de l'évolution morphodynamique littoral. Cependant, cette dynamique marine est plus intense dans les côtes sableuses à l'image du sud de la presqu'île du Cap-Vert dont les impacts pèsent lourdement sur le développement local. En effet, la presqu'île du Cap-Vert est sous l'influence des agents hydrodynamiques (houles, vagues, vents, courants de marée etc.). Ainsi, la ville de Rufisque est située au sud-est de la presqu'île du Cap-Vert, caractérisée en grande partie par des plages sableuses. Par ailleurs, l'érosion côtière constitue un problème incontestable pour le développement durable des littoraux et se traduisant parfois par des phénomènes brutaux ayant un certain retentissement dans la presse sénégalaise comme ce fut le cas lors de la submersion des cimetières de Rufisque

en juillet 2007 (Dia, 2007 ; Faye, 2007). De ce fait, les murs de protection ont intensifié les taux de recul du littoral de Rufisque, en particulier aux extrémités de ces structures, provoquant une érosion rapide du front de mer des cimetières locaux et menaçant les maisons et autres infrastructures économiques. C'est ce qui justifie le choix de la zone d'étude. Le choix des quartiers enquêtés se justifie par le fait que la ville de Rufisque est composée de trois (3) communes à savoir : Rufisque Nord, Est et Ouest. Or, seulement les communes de Rufisque Est et Ouest sont concernées par le littoral de la ville du même nom. Ainsi, ces dernières sont considérées comme les plus susceptibles de fournir des informations relatives à l'évolution morphodynamique du littoral de la zone d'étude.

L'étude de l'évolution morphodynamique littorale appliquée sur la zone de Rufisque, permet d'analyser les dégâts environnementaux que l'érosion côtière a engendré, de cerner les caractéristiques morphodynamiques littoral, d'énumérer les conséquences d'ordres économiques et sociales qui en découlent. Malgré les efforts du Sénégal dans la mise en place des politiques stratégiques nationales de gestion intégrée des zones côtières et de son implication dans l'élaboration du schéma directeur du littoral de l'Afrique de l'Ouest (MOLOA, WACA), les outils de gouvernance, parfois très globaux, semblent se heurter à de nombreuses insuffisances, tant dans la législation que dans l'application (Thior *et al.*, 2021). Cette analyse critique permet de proposer des orientations pour des aménagements durables afin de lutter contre cette menace. C'est ce qui justifie le choix de cette thématique de recherche et de la zone d'étude.

1.3. Etat de l'art

Il existe un bon nombre d'ouvrages qui s'intéresse à la problématique de la dynamique du littoral en Afrique de l'ouest. Le littoral de la ville de Rufisque, tout comme les autres parties littorales de l'Afrique de l'ouest, ont déjà fait l'objet de beaucoup d'études. La recherche documentaire nous a permis de faire une synthèse des études antérieures déjà consultées portant sur les questions de dynamique littorale à travers le monde, en Afrique de l'Ouest, mais aussi le littoral Sénégalais, sur lequel porte cette étude.

Des auteurs comme Weissenberger *et al.* (2016) abordent la dimension historique des risques côtiers résultant des aléas météo-marins, c'est à dire de l'érosion côtière et de la submersion marine et dans quelle mesure la vulnérabilité des communautés côtières est déterminée par le développement passé et futur, et c'est dans un contexte de changements climatiques tendant à accroître la fréquence et l'amplitude de ces aléas. Ainsi, en Casamance, Thior (2013) montre des dégradations sur l'environnement côtier et les activités socioéconomiques. Avec l'avancée

de la mer, le cimetière de Cachouane est envahi par les eaux et certaines infrastructures touristiques détruites (le campement de Gnikine). Sur le plan environnemental, Tall (2013), à partir des images satellitaires multi-dates, indique une dégradation de l'environnement côtier de l'ordre de 2417,8 ha entre 1979 et 1986 et une régénération de 1179 ha entre 1986 et 2010. En plus de cela, Diaw (1997) met en évidence le renouvellement de l'approche géocinématique rendue possible par la télédétection pour y apporter une réponse satisfaisante. Ainsi, cette technique lui a permis d'établir les modalités d'évolution de la flèche littorale de Sangomar et des Fronts dunaires de la côte nord. Dans son mémoire de Master 2, Barry (2017) analyse les facteurs de l'érosion côtière de la commune de Kafountine et ses impacts. Ainsi, son approche méthodologique se base sur une analyse diachronique de l'évolution du trait de côte à partir d'une série de quatre images du satellite *Landsat* des capteurs différents (MSS en 1979, TM en 1986, ETM+ en 2000 et OLI_TIRS en 2015).

Par ailleurs, Thior (2020) met en évidence les caractéristiques morphodynamiques, la cinématique du trait de côte, les impacts à la fois environnementaux et socioéconomiques relatifs à la dynamique du littoral de la Casamance et propose aussi des orientations pour un aménagement durable. Il affirme que la morphodynamique du littoral de la Casamance, marquée par des phénomènes d'érosion, de stabilité et d'engraissement serait dans une tendance régressive. Ainsi, il montre que le littoral de la Casamance, moins étudié que les autres parties du littoral sénégalais, s'explique par le fait qu'il subit, depuis plusieurs décennies, des dynamiques importantes liées aux changements globaux dont les conséquences se manifestent de diverses manières sur ce littoral. Faye (2010), dans la composante recherche du PRCM (Programme Régional de Conservation des Zones Côtières et Marines en Afrique de l'Ouest) intitulée « Bilan prospectif des changements à long terme de l'environnement côtier d'Afrique de l'Ouest », a pour objectif de décrire les changements à long terme des littoraux, leurs caractéristiques physiques, biologiques et leurs modes d'utilisation. Ce travail s'intéresse à l'étude de la dynamique des littoraux sableux d'Afrique de l'Ouest, qui s'étendent de la Mauritanie à la Guinée-Bissau. Il a centré son étude à deux échelles spatiales : d'une part, sur une synthèse régionale des côtes sableuses et, d'autre part sur une étude à grande échelle de sites répartis dans plusieurs pays concernés par le PRCM (Mauritanie, Sénégal, Gambie, Guinée-Bissau), pour mettre en évidence et mesurer les phénomènes d'érosion et d'accumulation intervenus depuis plusieurs décennies à ces deux échelles. Ainsi, Diop (1995) montre que la dérive littorale faible n'interviendrait dans l'évolution du littoral qu'à l'échelle séculaire pour déterminer le tracé de la baie de Rufisque qui n'aurait pas encore atteint sa forme

d'équilibre. Entre Bargny et Joal, le mécanisme majeur de l'érosion côtière serait la dérive littorale. Or, ce que l'on appelle communément érosion côtière selon elle, correspond à des réalités et des processus différents. Selon les échelles de temps et d'espace considérées, les facteurs de contrôle de l'évolution de la zone littorale n'interviennent pas tous aux mêmes échelles. C'est ainsi qu'elle peut notamment distinguer des phénomènes d'érosion côtière à long terme (échelle pluridécennale) qui se traduisent par un recul du littoral et des phénomènes d'érosion côtière à court terme, saisonniers, qui sont temporaires, car en général contre balancés par des périodes d'engraissement. D'après Sy (2013), l'économie de ce secteur jadis dynamique connaît actuellement une série de contraintes physiques et anthropiques, se traduisant par la dégradation du cadre physique en tant que support des activités productives, ce qui constitue la cible de sa recherche structurée en 9 chapitres répartis dans trois grandes parties. On peut ajouter aussi les prévisions globales (GIEC, 2007) et nationales (Gaye *et al.*, 2008) qui présagent la dégradation des conditions climatiques dont les conséquences pourraient être une augmentation du niveau de la mer avec des impacts non négligeables, car affectant plusieurs ressources et activités économiques (Barry, 2017).

L'importance attribuée à la zone côtière, caractérisée par une forte concentration d'individus et une panoplie d'activités socioéconomiques, montrent qu'il est nécessaire d'insister sur l'importance de protéger les écosystèmes littoraux pour la biodiversité. En effet, il existe un bon nombre de bénéfices générés par les ressources halieutiques notamment dans les activités de pêche et le tourisme, dépendant ainsi du bon état (fonctionnement) du milieu. Or, ce milieu subit de nos jours des menaces d'origines naturelles exacerbées par les actions anthropiques.

L'ensemble de ces travaux montre qu'il existe une panoplie de travaux de recherche justifiant ainsi la pertinence de la question de dynamique littorale. Mais l'approche utilisée dans le cadre de cette étude contribue à renforcer les connaissances sur la morphodynamique et les véritables facteurs de forçage du littoral de Rufisque.

1.4. Analyse conceptuelle

Dans l'optique de mieux comprendre le fonctionnement des littoraux face à l'évolution notée au niveau des plages, notre thématique de recherche prend en compte plusieurs concepts ayant chacun une importance capitale pour la compréhension du sujet dans sa globalité. Ainsi, nous avons discuté les concepts suivants :

Littoral :

Le littoral est un concept ambigu, dont la définition varie selon les spécialités. De ce fait, le littoral est le lieu de rencontre de la terre et de la mer. Le concept de littoral peut revêtir plusieurs définitions selon les approches et le regard que l'on y porte. En géomorphologie, le littoral est défini comme une zone de contact entre l'hydrosphère, l'atmosphère et la lithosphère, incluant les domaines de la côte, l'estran et l'avant côte. Selon le dictionnaire Larousse (2012), le littoral est une zone sinueuse où s'établit le contact entre la mer ou un lac et la terre (le terme a un sens plus large que rivage et côte, qui désignent respectivement les domaines du littoral soumis directement ou indirectement à l'action de la mer). D'après George et Verger, 2013 : « le littoral est le domaine géographique où se déplace la ligne de rivage qui est la ligne de contact instantanée entre l'atmosphère, la lithosphère et l'hydrosphère. On considère par-là que l'aspect privilégié est en quelque sorte le physique au détriment de l'humain ». Ainsi, le littoral est un espace fragile, en évolution constante. En géographie, le littoral correspond à la zone d'influence de la mer sur la terre mais également de la terre sur la mer.

En synthétisant ses définitions, nous retenons que le littoral est l'espace qui se situe entre la terre ferme et la mer ; autrement dit c'est la zone de basculement entre le niveau des plus hautes mers et celui des plus basses mers. Elle correspond aussi à la bande d'influence réciproque des activités maritimes et terrestres.

Dynamique littorale :

La dynamique est un concept qui peut avoir plusieurs sens en fonction de l'adjectif qui l'accompagne. Le terme dynamique traduit l'idée de changement au fil du temps. Généralement la dynamique littorale est souvent associée au concept d'évolution qui peut se traduire de façon soit progressive ou régressive. En effet, la dynamique est en quelque sorte un ensemble de facteurs, qui corrélés créent une évolution, elle est le processus qui marque l'évolution. Cette définition peut être assimilée à la problématique de la dynamique littorale, qui traduit les changements induits suite aux contacts entre les différentes entités du littoral (terre, mer, atmosphère et l'homme). De ce fait, les facteurs explicatifs de la dynamique littorale se résument aux éléments tels que les courants de marées, les variations du niveau de la mer, le vent, les houles, mais aussi aux pratiques sociétales (Marobin, 2009). Ainsi, le concept ne doit pas être interprété uniquement en termes de croissance positive. Une dynamique, dans telle situation socio-spatiale, peut-être négative, elle peut traduire le déclin, la déshérence, la déprise (Géo confluences, 2013).

En synthétisant l'ensemble de ces définitions, nous retenons que la dynamique littorale est un processus d'évolution, déclenché par une combinaison de facteurs naturels et humains dont les impacts peuvent se traduire de diverses manières (progressive ou régressive). Dans notre zone d'étude la dynamique du littoral a engendré un recul de la ligne de rivage, ce qui se traduit par une érosion côtière qui impacte négativement sur la biodiversité et menace les activités socioéconomiques de la population locale.

Trait de côte :

La définition du trait de côte n'est pas une chose facile. En effet, c'est un milieu qui évolue dans le temps. La position exacte au trait de côte mobile fait que plusieurs auteurs peuvent travailler sur le même thème, mais ils n'ont pas la même définition, alors ils font des estimations probablement différentes (Thior, 2020). Dans ce sillage, le trait de côte est la ligne qui marque la limite des eaux de mer. Il représente symboliquement la limite entre la mer et la terre, mais tout en sachant que cette limite n'est pas stable, car elle peut avancer ou reculer à cause des effets de l'influence des facteurs hydrodynamiques. Ce qui rejoint la définition de Baulig (1956), pour qui le trait de côte est la « limite entre la côte et le rivage qui se déplace avec l'état de la mer et de la marée ». Selon George et verger, (2013), dans « le dictionnaire de la géographie », le trait de côte est défini comme « une limite entre la bande de terre qui confine à la mer et la zone soumise directement à l'action des vagues en fonction des marées ». Quant à Mbodj (2012), il définit le trait de côte comme étant « une ligne qui marque la limite jusqu'à laquelle peuvent parvenir les eaux marines ». Il ajoute que « c'est le bord de l'eau calme des plus hautes mers possibles ». Cette complexité à définir le trait de côte justifie que c'est un espace très dynamique et complexe dont chacun pourrait apporter sa propre identification. Ainsi, Morissette (2007) nous propose aussi d'autres critères d'identification du trait de côte qui se rapportent aux éléments tels que la ligne de démarcation terre-eau, la ligne du niveau moyen des mers, la ligne des pleines mers supérieures de marée moyenne et pour finir la ligne des pleines mers supérieures de grande marée. En revanche, l'IGN (Institut Géographique National) en (2022) de son côté définit le trait de côte comme « une référence mesurée par rapport à leur zéro, déterminé à partir des mesures marégraphiques à Marseille ». Cela explique la différence entre Bourles (1998) et Boak et Turner (2005). En effet, pour le premier auteur, la limite est très mouvante d'autant plus qu'il s'agit de celle entre la côte et le rivage qui se déplace en fonction de l'état de la mer et de la marée. Il qualifie donc la marée de facteur déterminant du trait de côte. Pour Boak et Turner (2005), on pourrait avoir une multitude de traits de côte ; ce qui expliquerait d'ailleurs la possibilité pour eux de recenser 19 traits de côte à partir de 45

indicateurs relevés dans environ 80 publications. Le trait de côte n'a donc pas une définition, mais plusieurs définitions, selon les indicateurs que les opérateurs lui attribuent pour l'identifier (Juigner, 2012). Donc, retenons que le trait de côte est la limite selon laquelle peuvent atteindre les eaux marines notamment en période de hautes mers, que l'on peut considérer ici comme la limite de la végétation et qui marque aussi la jonction entre la mer et le continent (terre).

Vulnérabilité :

La vulnérabilité se définit de manière générale comme une faiblesse. Ce mot peut définir le caractère de quelque chose, que l'on considère fragile ou sensible. Au sens le plus large, elle exprime le niveau de conséquences prévisibles d'un phénomène naturel sur les enjeux (les sociétés humaines et leurs activités). En sciences des risques, la vulnérabilité prend un sens particulier puisqu'elle établit le niveau de risque d'un phénomène naturel, appelé aléa, sur des enjeux géographiques. La vulnérabilité peut donc être aussi définie comme la probabilité pour toute chose à être contrariée sous l'action d'une autre chose. A noter également qu'une définition de la vulnérabilité a été proposée par le *DRI (Disaster Reduction Institute)*, qui combine les notions de susceptibilité, exposition et capacité d'adaptation :

$$\text{Vulnérabilité} = (\text{Exposition} \times \text{Susceptibilité}) / \text{Capacité d'adaptation}$$

Dans le cadre de notre étude, la vulnérabilité désigne l'aptitude du milieu à subir un dommage à la suite d'un événement, naturel ou anthropique. Ainsi, le degré de vulnérabilité dépend de la sensibilité face aux événements dommageables et de la capacité d'adaptation face à ceux-ci. Le terme vulnérabilité s'applique ici aux groupes humains, aux objets et aux écosystèmes etc., situés sur la côte de Rufisque.

Impact :

Le terme impact traduit l'influence de quelque chose sur le déroulement d'une situation quelconque. C'est donc l'effet opérée dans un changement significatif qu'il soit prévu ou imprévu. Nous pouvons considérer donc le terme impact comme étant une conséquence qui découle d'un fait particulier dont les effets peuvent être positifs ou négatifs à la fois. A ce sens, un impact peut également se définir comme l'effet, pendant un temps donné et sur un espace défini, d'une activité humaine sur une composante de l'environnement pris dans le sens large du terme (c'est-à-dire englobant les aspects biophysiques et humains), en comparaison de la

situation probable advenant de la non-réalisation du projet (Wathern, 1998). Dans le dictionnaire Encyclopédie (édition 2004), un impact est une « conséquence, un ralentissement d'une action forte ». En effet, le mot impact est un emprunt au latin *impactum*, supin de *impingere* « frapper contre », « jeter contre », dérivé de *pangere* « enfoncer », qui se rattache à une racine indoeuropéenne « enfoncer, fixer » (André, 1999). Cette définition met en exergue l'étymologie du terme impact dans plusieurs sens : de venir heurter quelque chose ou en collision, le choc entre deux corps ; la trace ou le trou laissé lors d'un choc ; et par extension une conséquences violente d'une action.

Ainsi dans le cadre de ce travail, la définition du terme impact s'applique sur l'action de la dynamique du trait de côte sur l'environnement et les activités socioéconomiques de la population locale.

Erosion côtière :

L'érosion côtière est un phénomène qui frappe la majorité des côtes du monde. L'érosion proprement dite est définie par Brunet *et al.*, 2005, comme un « enlèvement de matières aux sols et aux roches par des agents naturels : les eaux courantes (érosion fluviales torrentielle), les glaciers et leur fonte (érosion glaciaire), le vent (érosion éolienne), la mer (érosion marine ou littorale), ainsi que les éboulements et les glissements ». Cette définition montre donc l'érosion dans son sens globale, il dévoile plusieurs types d'érosions notamment avec leurs facteurs explicatifs. Ainsi, l'érosion côtière est le résultat d'une combinaison de facteurs, à la fois naturels et anthropiques dont les impacts pèsent sur l'environnement et peut participer à la modification de la vie des écosystèmes tout au long de la côte. Lô (2012), affirme que « l'érosion côtière est un recul structurel du rivage, qui représente ainsi, non seulement une menace pour le développement touristique, mais aussi une forte atteinte à la pérennité des infrastructures ». Ainsi, Barry (2017), définit l'érosion côtière comme résultat de conjonctions de facteurs d'origines naturelles et humaines qui causent de profondes perturbations du rivage et des écosystèmes littoraux. Ces perturbations agissent conjointement et placent les plages dans une situation précaire. Dans cette perspective, Thior (2014), identifiait deux types d'érosion côtière. Il s'agit de l'érosion latérale (ou rupture de pente), caractérisée par des plages qui reculent continuellement d'une année à l'autre et de l'érosion verticale, caractérisée par un abaissement de la pente du profil de plage. D'après Boudjéra (2010), l'érosion côtière est un phénomène naturel, d'observation courante essentiellement caractéristique de l'évolution superficielle de la croûte terrestre sous l'effet de déplacement des sédiments par les vagues. Elle est surtout due à une pénurie en sédiments. Cette pénurie qui a commencé à se manifester à la

fin de la transgression postglaciaire, a été accentuée à l'époque contemporaine par les actions anthropiques, en particulier la construction de barrages sur les fleuves, l'artificialisation des côtes, la déforestation, etc. cette définition paraît un peu semblable à celle de Blivi, 2001 en disant que l'érosion côtière marque les plages dont le processus lie les paramètres d'océanographie côtière, le volume sédimentaire, la configuration du rivage et les facteurs anthropiques. Ainsi, pour CORIMAT (*Costal Risks Management-Atlantic Stakeholders Network*), l'érosion côtière est le processus naturel responsable de l'abaissement des plages, du recul des dunes et des falaises. Elle façonne les côtes par des vagues, des courants et du vent. Sur les côtes rocheuses, elle se manifeste par le creusement du pied des falaises fragilisées par l'infiltration d'eaux pluviales dans la roche, conduisant à leur éboulement. Sur les côtes de sédiments meubles, elle dépend du bilan entre la quantité de matériaux qui se dépose sur le rivage en provenance d'autres sources (bancs de sable, autres plages, falaises érodées, etc.) et celle qui s'en échappe. Si ce bilan sédimentaire est positif, les rivages s'avancent vers la mer (accrétion) ; s'il est négatif, les côtes reculent (érosion).

Dans cette définition, nous comprenons que l'érosion côtière peut se traduire de manière différente selon la nature de la côte. De ce fait, l'érosion côtière est un phénomène qui suscite à la fois la crainte et le défi chez les populations qui y sont exposées. Crainte, car elle représente une menace importante pour les personnes et les enjeux économiques de la frange côtière. Défi, tant les sociétés côtières sont attachées à leur cadre de vie soit parce qu'il leur est essentiel pour subvenir à leurs besoins, soit du fait de l'agrément qu'il leur procure, et acceptent mal qu'il ne puisse pas à tout prix être préservé. Ainsi, il est encore souvent préféré de protéger les côtes au prix coûteux d'ouvrages de défense qui souvent ont des effets collatéraux, voire sont accélérateurs du phénomène érosif.

Résilience :

D'après Floodsite (2005), la résilience traduit l'aptitude d'un milieu, d'un système ou d'une communauté à réagir et à récupérer des suites d'un événement dommageable. De ce fait, la résilience est donc la capacité d'une communauté, d'un milieu potentiellement exposé à des aléas, à s'adapter, en résistant ou en transformant, afin d'atteindre et de maintenir une structure et un niveau acceptable de fonctionnement. Elle est déterminée par le degré d'organisation que le système social est capable d'atteindre à partir des leçons de catastrophes passées (augmentation de sa capacité) pour améliorer la protection future, ainsi que les mesures de réduction du risque (Rose, 2007).

Dans le cas de notre étude, la résilience renvoie à la capacité des sociétés à être préparée aux chocs et aux crises, ainsi qu'à la capacité à les surmonter. Par exemple, dans les sociétés soumises à des phénomènes érosives, les communautés ont su progressivement s'adapter en adoptant des constructions (barrages) réduisant les dégâts en cas d'avancée de la mer.

Pour bien mener notre étude, des objectifs ont été fixés.

1.5. Objectifs de recherche

Ce mémoire porte sur l'évolution morphodynamique du littoral de la Presqu'île du Cap-Vert. L'objectif principal de cette étude consiste à comprendre l'évolution morphodynamique, ses impacts sur le littoral de la ville de Rufisque. Ainsi, trois objectifs spécifiques sont fixés dans cette étude :

- montrer les facteurs responsables de l'évolution morphodynamique du littoral de la ville de Rufisque ;
- analyser les impacts environnementaux et socioéconomiques de l'évolution morphodynamique du littoral de la ville de Rufisque ;
- évaluer l'efficacité des stratégies de lutte contre l'avancée de la mer dans la ville de Rufisque.

1.6. Questions de recherche

À l'instar des côtes ouest-africaines, celles du Sénégal sont touchées par des agents hydrodynamiques (houles, vagues, courants, etc.) ayant une incidence sur l'évolution des plages qui, elles aussi, impactent sur la vie des populations locales. La problématique à laquelle s'intéresse notre recherche s'articule autour d'un certain nombre de questions. Au regard des objectifs fixés, la question principale est de savoir : comment les facteurs responsables de l'évolution morphodynamique se manifestent-ils sur le littoral de la ville de Rufisque ?

- quels sont les facteurs responsables de l'évolution morphodynamique du littoral de la ville de Rufisque ?
- comment l'évolution morphodynamique du littoral de la ville de Rufisque impact-elle l'environnement et la vie socioéconomique de la population locale ?
- quelle est l'efficacité des stratégies de lutte élaborée par la communauté et / ou par l'Etat au regard de sa dynamique actuelle ?

Ce sont là autant de questions que cette étude tente de répondre en se fixant un certain nombre

d'hypothèses.

1.7. Hypothèses de recherche

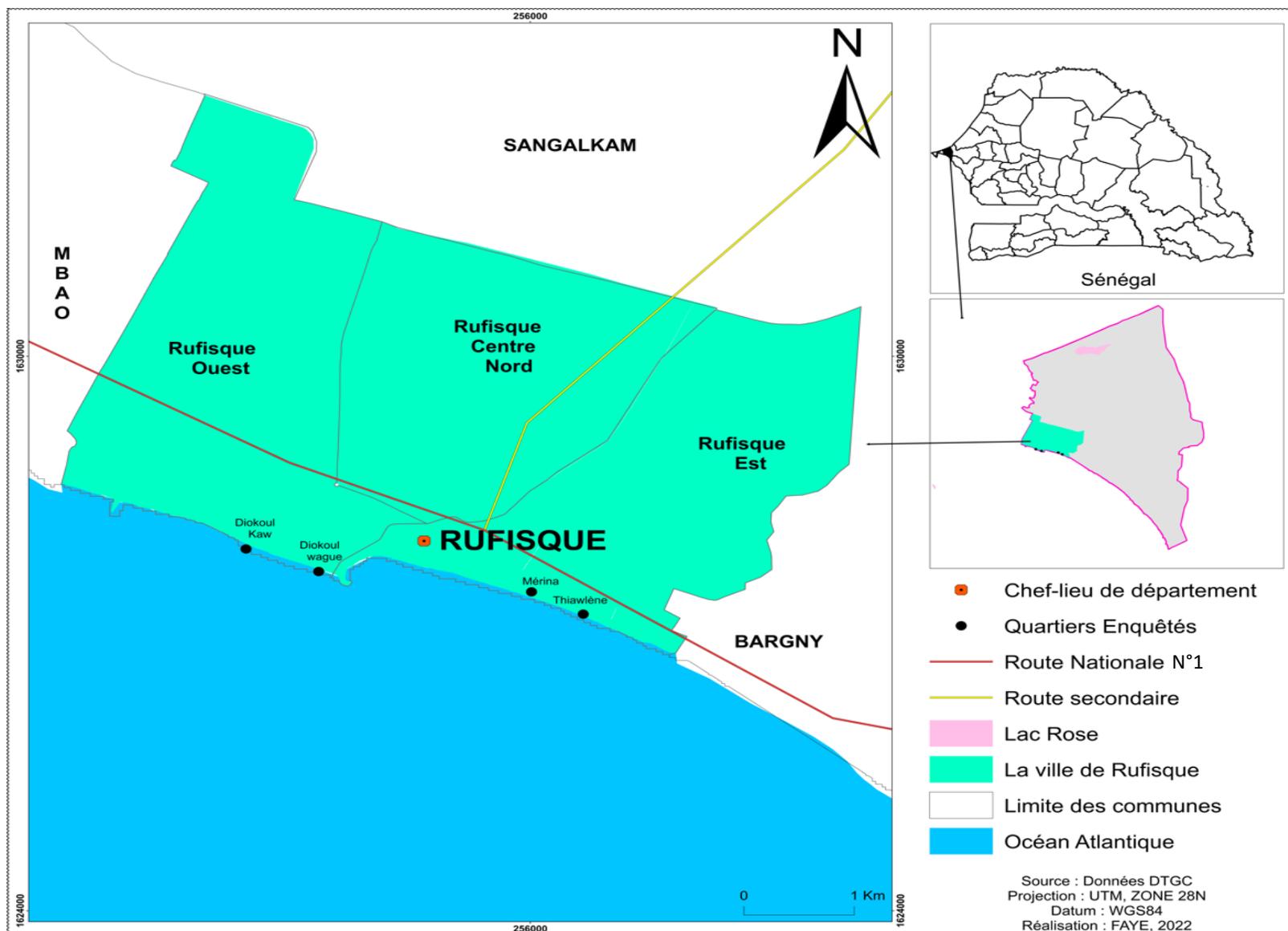
Le constat est que le littoral dans la zone étudiée est dynamique avec un recul constant du trait de côte. Notre étude repose sur l'hypothèse principale selon laquelle l'évolution morphodynamique du littoral de la ville de Rufisque est marquée par le phénomène d'érosion côtière aux impacts socioéconomiques et environnementaux très importants dont les stratégies de protection en cours semblent toujours insuffisantes. Ainsi, de cette hypothèse principale découlent celles spécifiques suivantes :

- l'évolution morphodynamique du littoral de la ville de Rufisque résulte de la combinaison de facteurs naturels (agents hydrodynamiques) et d'actions anthropiques.
- l'évolution morphodynamique du littoral de la ville de Rufisque a un impact sur l'environnement et la vie socioéconomique de la population locale.
- la faible résilience des populations locales traduit l'insuffisance des stratégies mises en place par la population locale et / ou par l'Etat pour lutter contre l'avancée de la mer dans la ville de Rufisque.

2. Présentation du cadre de l'étude

2.1. Situation géographique de la zone d'étude

La presqu'île du Cap-Vert correspond à la pointe occidentale du Sénégal et de l'Afrique. Elle est atteinte vers l'ouest par la longitude 17°30 à la latitude 15° Nord. Rufisque se situe dans cette presqu'île et appartient à la zone géologique de la péninsule du Cap-Vert (carte 1).



Carte 1 : Localisation de la zone d'étude

La ville de Rufisque est située à 25 km de Dakar et s'étend sur environ 42 km². Sa position géographique, son cadre océanique et l'influence des alizés de nord-nord-est favorisent le maintien d'une flore guinéenne aux affinités avec un environnement spécifique notamment des températures fraîches de janvier à février (Diallo, 2009). Elle est dominée sur l'arrière-pays par un plateau calcaire et marno-calcaire dont l'altitude moyenne avoisine les 35m. Le nord est couvert de sols sableux. A l'est, elle est ouverte sur le plateau de Bargny et vers le sud sur la mer avec une faible topographie, inférieure à 5m selon l'IGN en 2022.

2.1.1. Aperçu sur le peuplement de la zone

A l'origine, Rufisque était un village de pêcheurs lébou appelé *Tenguedj* (*Tëngéej* en wolof). Au XVI^e siècle, il devient principal port du Sénégal, fréquenté par les colons (Sarr, 1998). La ville de Rufisque, ancienne ville coloniale, présente une originalité particulière liée à son histoire. Sa population qui était estimée à 221 066 habitants en 2013 et à 284 840 habitants en 2022 (ANSD, 2013). Les Lébou sont majoritaires avec 94% de la population. Viennent ensuite les Peulhs et Sérères représentés chacune (1%) et les autres ethnies (4%), composées de wolofs, diola, mandingues etc. ; principalement des pêcheurs lébou (34%), sont majoritairement représentées (figure 1).

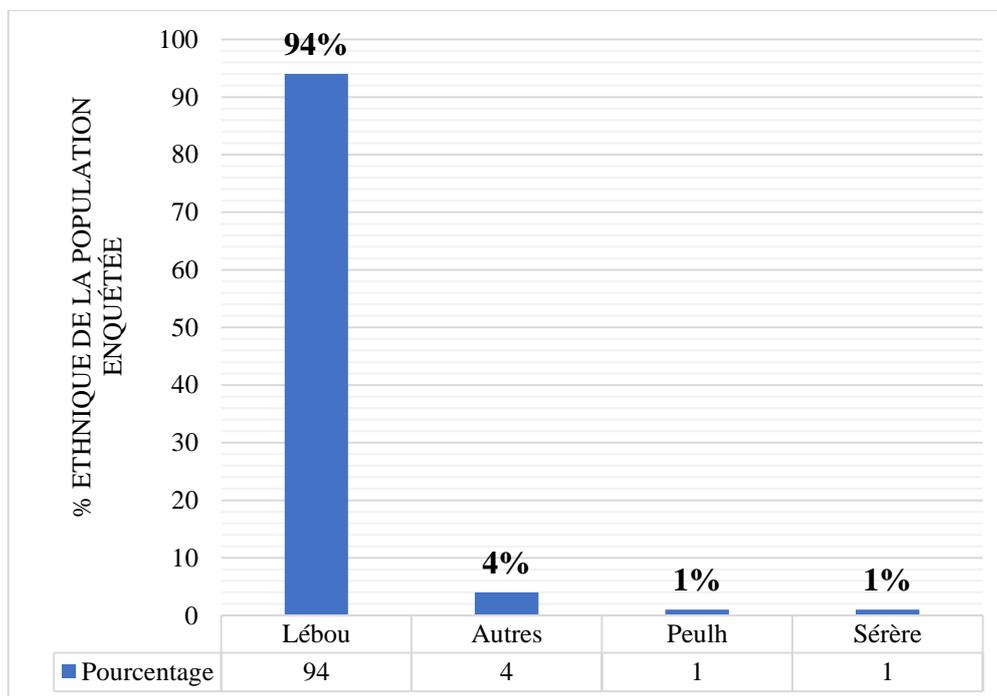


Figure 1 : Répartition ethnique de la population

2.1.2. Les activités socioéconomiques

La ville de Rufisque révèle un paysage historique particulier. En effet, elle conserve un important noyau du bâti qui date de la période coloniale. Sa position géographique, au sud de la presqu'île du Cap-Vert, lui confère un espace côtier avec d'importantes activités socioéconomiques (pêche, agriculture, tourisme, etc.), dont dépend la quasi-totalité du développement économique de la ville (figure 2).

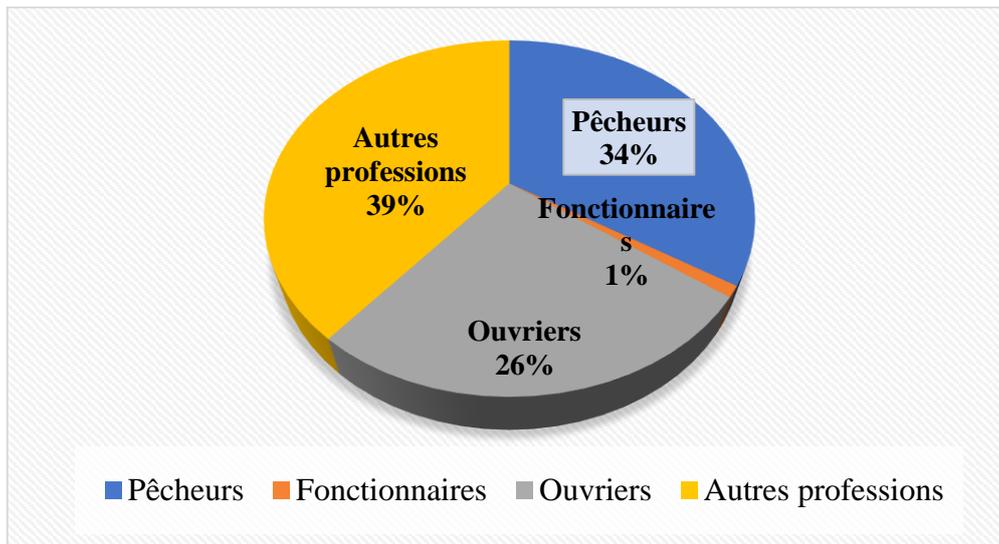


Figure 2 : Principales activités des populations (Enquêtes Faye, 2022)

Malgré une urbanisation galopante de la ville de Rufisque, la pêche reste l'activité principale génératrice de revenus dans la zone. Elle est pratiquée par 34% de la population interrogée. Ainsi, elle occupe une place importante dans son développement économique, mais l'ampleur de celle-ci a tendance à régresser à cause de multiples raisons : l'espace maritime est devenu trop étroit du fait de l'accroissement de la population ; l'absence de politiques contingentes concrètes pour le repos biologique des ressources de la mer, ce qui entraîne la rareté de ces ressources ; les effets des changements climatiques qui affectent de plus en plus le milieu marin. A cela, s'ajoutent les rejets des eaux usées et les déchets industriels et ménagers (canaux d'évacuations d'eaux, le port autonome de Dakar, ONAS, SOTIBA, etc.) entraînant une insalubrité des plages (photographie 1). De ce fait, de longues distances sont parcourues pour se procurer des produits halieutiques. Ainsi, les autochtones n'ayant pas les moyens financiers et matériels d'équipements pour la pêche en haute mer sont obligés de pratiquer la pêche artisanale. Cette dernière n'est plus rentable, car les ressources halieutiques ne sont plus abondantes à de courtes distances de la côte à cause des multiples raisons citées ci-dessus.



Photographie 1 : Dépôts d'ordures ménagères et pollution de la plage (Faye, septembre 2022)

Par contre, les allochtones disposant d'équipement de pêche (pirogues, gilets de sauvetage, moyens de navigations et de communications, extincteurs etc.) sont les pratiquants majoritaires (60%) de la pêche en haute mer, qu'ils jugent plus rentable.

Le patrimoine culturel de la ville de Rufisque, dominée en grande partie par la culture Lébou, fait que l'activité dominante est la pêche. Les autres activités, qui ne dépendent pas de la pêche maritime commencent à émerger. Selon la population interrogée, elles sont pratiquées à 39%, à cause de la baisse des revenus de la mer. Cette forme de reconversion explique les 26% de la population interrogée qui s'activent dans le secteur des ouvriers. Cela se justifie par l'existence de beaucoup d'entreprises à Rufisque, parmi lesquelles on peut citer : VALDAFRIQUE implantée depuis 1942 et qui commercialise une large gamme de produits d'hygiène et de santé ; la SOCOCIM qui assure une bonne partie de la cimenterie du pays ; l'usine BATA pour la production de chaussures en plastique, etc. L'ensemble de ces entreprises contribuent à la création d'emplois. Ainsi, Rufisque a longtemps été la capitale de l'arachide (Sarr, 1998 ; Diallo, 2009). C'était aussi le principal port du Sénégal avant l'expansion de la ville de Dakar. Ce qui montre le faible pourcentage (1% de la population interrogée) des fonctionnaires du public de la population interrogée. En effet, de nombreuses entreprises sont délocalisées ou ne sont plus fonctionnelles. La pratique agricole a connu une régression au niveau de la ville à cause de la croissance démographique et du manque d'espace cultivable.

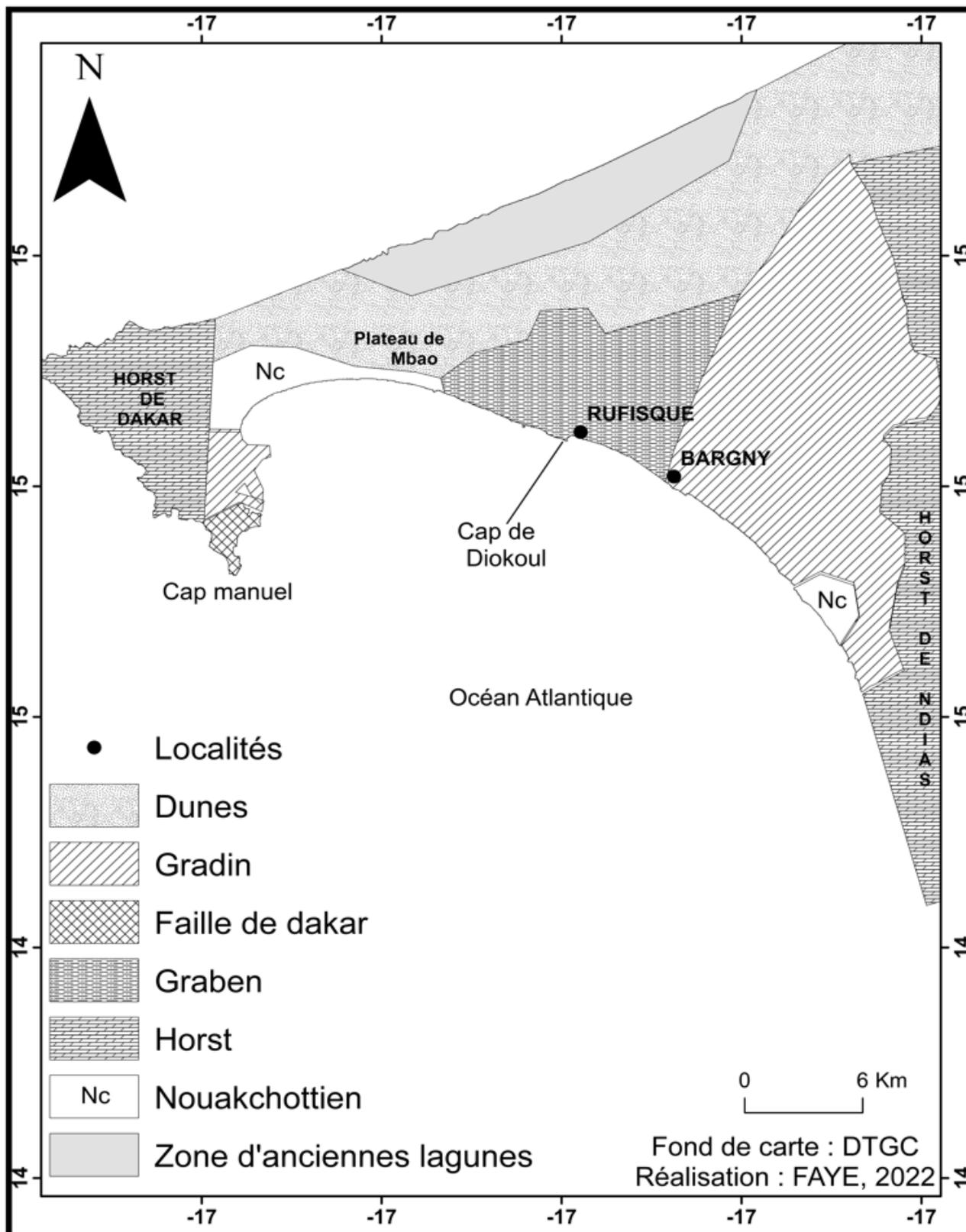
Le tourisme balnéaire reste également une activité pratiquée dans la zone. Cependant, il n'est pas très développé du fait de l'érosion côtière qui entraîne la destruction du paysage et la réduction considérable des plages. Malgré le rôle important du tourisme dans l'économie locale et nationale, il est sous menace de l'avancée de la mer qui entraîne la baisse de l'attraction touristique ainsi que la dégradation des infrastructures côtières. Ainsi, la ville de Rufisque présente des caractéristiques géologiques, socioéconomiques particulières, comparées à celles dont dispose le reste de la presqu'île du Cap-Vert (Elouard *et al.*, 1976 ; Diop, 1995).

2.2. Géologie de la presqu'île du Cap-Vert

2.2.1. Structure géologique de la presqu'île du Cap-Vert

Située à l'extrémité occidentale du bassin sénégal-mauritanien, les formations géologiques qui affleurent dans la presqu'île du Cap-Vert sont d'âges Tertiaire et Quaternaire. La ville de Rufisque localisée dans ladite presqu'île, est limitée à l'est par la falaise de Thiès (Elouard, 1980 ; Laaroubi, 2007). La morphologie de la presqu'île du Cap-Vert est caractérisée par deux dômes, séparés par le graben de Rufisque-Bargny : la tête de la presqu'île à l'Ouest et le massif de Ndiass à l'Est (Elouard *et al.*, 1976). Elle est caractérisée par une tectonique cassante matérialisée par de nombreuses failles qui la découpent en un ensemble de horsts et graben, un volcanisme intense d'âge Miocène au Quaternaire (Elouard *et al.*, 1976). C'est une fracturation de type marge, liée à l'ouverture de l'Atlantique. Cette tectonique cassante aurait affecté une couverture sédimentaire plissée dont on retrouverait également les traces sur le proche plateau continental entre Rufisque et Mbour (Diop, 1995). Ainsi, toute la presqu'île du Cap-Vert a subi un mouvement de basculement avec un soulèvement de sa partie méridionale et un affaissement de la partie septentrionale, ce qui aurait favorisé l'envahissement de la côte nord par les systèmes dunaires (formations des dunes).

La structure de la presqu'île est une succession de *horsts* (compartiments élevés) et de *graben* (compartiment effondré) relayé par des gradins qu'on distingue d'Ouest en Est (Elouard *et al.*, 1976). Nous avons le horst de Dakar, le Graben de Pikine qui explique l'isthme de la presqu'île du Cap-Vert avec des affleurements tertiaires de l'Eocène inférieure, le graben de Rufisque, compartiment affaissé, a une allure de synclinal dont le cœur est formé par des formations marno-calcaires sur lesquelles est situé le vieux Rufisque. Le graben de Bargny a l'allure d'un anticlinal avec des bordures constituées par les calcaires lutétiens de Bargny, le gradin de Sébikhotane constitué essentiellement d'argiles (Diop, 1995). Et enfin le horst (compartiment soulevé entre deux failles) de Ndiass qui est un dôme anticlinal formé par des dépôts Maestrichtiens recouverts de Cuirasses ferrugineuses (carte 2).



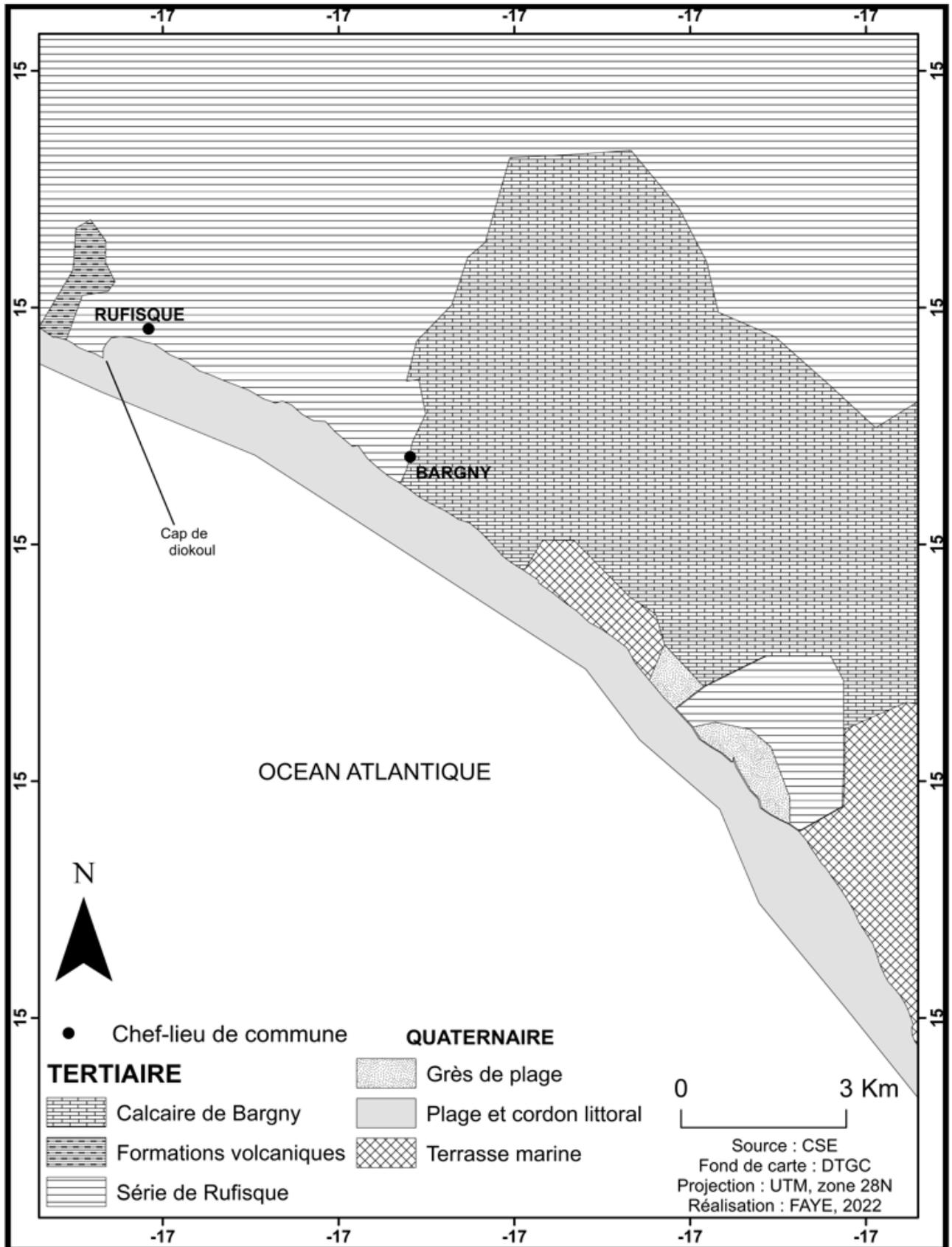
Carte 2 : Structure géologique de la presqu'île du Cap-Vert

2.2.2. La lithologie de la presqu'île du Cap-Vert

La lithologie de la presqu'île du Cap-Vert se complique par les composants majeurs qui la caractérisent : les horsts de Dakar à la tête de la presqu'île et de Diass à l'Est en passant par le graben de Rufisque (Elouard *et al.*, 1976 ; Laaroubi, 2007). Ce qui fait que la sédimentation est calme à l'Est. Cette complication lithologique proviendrait des anticlinaux qui sont affectés par des accidents tectoniques et d'exhaussement en dôme issus de la tectonique cassante avec des rejets de failles dans les sédiments sous-jacents (Dia, 1978). D'après Crévola (1978), les failles correspondent aux accidents tectoniques issus secondairement aux épisodes volcaniques connues à l'affleurement de la presqu'île du Cap-Vert. Selon Dubresson (1979), le domaine de Rufisque (de Mbao à Bargny et correspond au graben de Rufisque) résulte de la tectonique (horsts paléocènes du Ndiass et de Dakar, affleurement du substratum marno-calcaire du Lutétien au Miocène) ainsi que des éruptions volcaniques. L'affleurement est constitué essentiellement des formations de l'Eocène inférieur et de l'Eocène moyen (Elouard *et al.*, 1976). Pour l'Eocène inférieur, nous avons la formation du Ravin des Voleurs. Ce sont des marnes blanches feuilletées à attapulгите qui renferment plusieurs niveaux phosphatés, parfois silicifiés et contenant d'abondants petits silex.

Pour l'Eocène moyen, nous avons une alternance de calcaires sublithographiques et de couches marneuses. A sa base, il renferme de nombreux lits et accidents siliceux phosphatés.

La côte située près du Cap des Biches est une parfaite illustration de la géologie du graben de Rufisque dont l'affleurement est organisé en série monoclinale et le pendage varie entre 6 et 12° en moyenne en direction du sud-est (Diop, 1995). A l'ouest du Cap des biches, avant d'arriver à la centrale thermique les grès de plage, actuellement disparus suite aux travaux d'extension de la centrale réalisés en 1990, on observe des dépôts quaternaires (carte 3).



Carte 3 : La géologie de Rufisque

Conclusion chapitre 1

La ville de Rufisque appartient à l'ère géologique du Tertiaire Au Quaternaire. Elle se situe sur des formations marno-calcaires. Sa lithologie est caractérisée par une tectonique cassante à cause des deux compartiments qui l'entourent : le horst de Dakar et celui de Ndiass. L'activité économique principale exercée par la population locale et les allochtones est la pêche maritime. L'ensemble des caractéristiques socioéconomiques lui confèrent une vulnérabilité de la zone côtière. Au regard des objectifs fixés, une démarche méthodologique est adoptée pour aboutir à certains résultats.

CHAPITRE 2 : CADRE MÉTHODOLOGIQUE

L'approche méthodologique adoptée dans ce présent travail de recherche est basée sur des techniques de traitement numérique de l'information géographique éprouvées en cinématique du littoral, et des travaux de terrain (enquêtes ménages à travers un questionnaire et un guide d'entretien). L'objectif de ce chapitre est de présenter la démarche méthodologique qui a permis d'extraire les lignes de référence à partir des images satellitaires et *Google Earth*, afin de mesurer et d'analyser l'évolution spatiale du trait de côte dans la ville de Rufisque ; de collecter des données quantitatives et qualitatives auprès de la population et des personnes ressources afin de mieux cerner les impacts de l'évolution morphodynamique du trait de côte. Cette méthodologie tourne globalement autour d'une revue bibliographique, de la collecte et du traitement des données.

1. La revue bibliographique

Une documentation sur les questions morphodynamiques littorales de manière générale a été réalisée dans les centres de documentation (Campus Numérique Francophone Partenaire de l'UASZ) et au niveau des bibliothèques universitaires (Bibliothèque centrale de l'UASZ, la Bibliothèque numérique de l'UCAD). La documentation a permis de mobiliser des données complémentaires et nécessaires pour la connaissance fondamentale de la thématique de recherche. Elle a aussi été renforcée par l'exploitation des recherches sur les thématiques similaires menées dans les sites accessibles en ligne (<https://www.rivieresdusud.uasz.sn>, <https://www.openedition.org>, <http://www.jstor.org>, <https://univ-senegal.scholarvox.com>, <https://msp.org/publications/journals/>, <https://uas�.sn/ressources-numérique>, etc.). L'ensemble de ces informations recueillies ont permis de mieux comprendre les manifestations morphodynamiques du littoral de Rufisque.

2. Collecte et traitement des données

2.1. Les observations directes sur le terrain

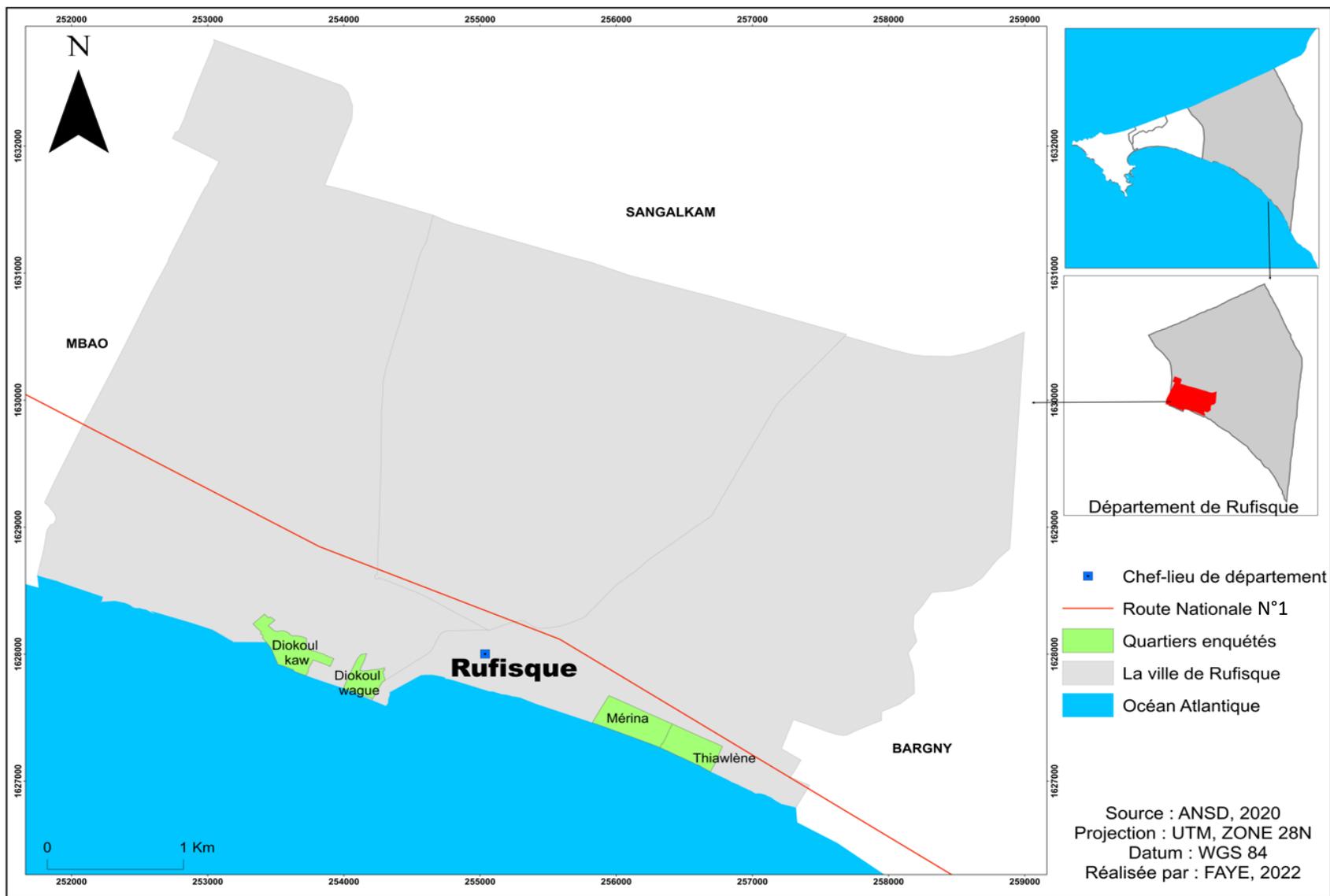
Les observations ont été effectuées pendant la période pré-enquêtes plus précisément au mois de septembre 2022. Elles ont permis d'avoir un aperçu sur la problématique étudiée, afin de mieux cibler les zones les plus vulnérables au phénomène de l'avancée de la mer. Cette phase nous a permis aussi d'appréhender l'évolution morphodynamique du littoral de Rufisque. Autrement dit, elle a permis de voir les manifestations de la dynamique en cours et ses conséquences sur l'environnement et les activités socio-économiques.

2.2. Les enquêtes de terrain

Concernant les enquêtes de terrain, un questionnaire est élaboré pour le besoin de la collecte de données quantitatives dans les deux communes retenues du fait de leur proximité et de leur exposition à la mer : Rufisque Ouest et Est composée respectivement de 66 et 24 quartiers (ANSD, 2013). Ces enquêtes ont été déroulées dans les quartiers de Thiawlène Digue, Merina I dans la commune de Rufisque Est et Diokoul Kaw, Diokoul Wague à Rufisque Ouest (carte 4).

Le quartier de Diokoul Kaw est le plus peuplé et celui de Diokoul Wague concentre, quant à lui, une bonne partie des premiers occupants (ANSD, 2013). Par ailleurs, c'est dans ce dernier quartier que se situe le « quai de pêche » de Rufisque qui regroupe les pêcheurs, les mareyeurs, ainsi que les transformateurs des produits halieutiques. Ces activités perturbent la dynamique sédimentaire de la plage, avec un nombre restreint de structures de protection dans la commune de Rufisque Ouest. Dans les quartiers de Merina I et de Thiawlène Digue, l'absence d'ouvrages de protection accentue leur sensibilité à l'érosion côtière. C'est dans cette mouvance que ces quartiers sont considérés ici comme les plus susceptibles de fournir des informations relatives à l'avancée de la mer et ses conséquences. Ce choix est fait selon la technique d'échantillonnage au jugé¹ (Diatta, 2013 ; Barry, 2017) soutenu par la phase pré-observatoire. L'hypothèse qui le sous-tend est que, les quartiers sélectionnés sont les plus vulnérables et les plus susceptibles de fournir des informations sur les impacts de l'avancée de la mer et les stratégies d'adaptation déjà développées.

¹ La question cruciale dans ce cas est l'objectivité : dans quelle mesure peut-on se fier à son jugement pour arriver à un échantillonnage typique ?



Carte 4 : Localisation des quartiers enquêtés dans la ville de Rufisque

Le nombre de ménages de ces quatre (4) quartiers fait un total de 1008 ménages (ANSD, 2013). De ce fait, en se basant sur cet effectif, nous avons déterminé un échantillon représentatif (n) en utilisant la formule suivante :

$$n = \text{Population mère} / \text{Nombre de quartier à enquêter}$$

Ce qui donne 252 ménages, soit 25% des ménages sur l'ensemble des quatre quartiers de l'échantillonnage. Etant donné que nous connaissons la taille de l'échantillon (n) et la population mère (N), il est donc nécessaire de calculer la probabilité de section des ménages en divisant la taille de l'échantillon par la population mère ($252/1008=0,25$, soit 25%). Cela signifie que chaque ménage des quartiers ciblés aurait 25% de chance ; soit 1 chance sur 4 d'être sélectionné.

Pour répartir ces 252 ménages dans les quatre quartiers, l'échantillonnage par quota (Amedé *et al.*, 2013)² est choisi en partant de la base du nombre de ménages par quartier (tableau 1) pour calculer la part en valeur relative (%) à attribuer à chacun en adoptant la formule suivante (Barry, 2017 ; Ngom, 2020 ; Diatta, 2021) :

$$n = \text{Nombre de ménage par quartier} / \text{Population mère} \times 252 \text{ ménages}$$

L'échantillon traduit le pourcentage des ménages de chacun des quartiers. Cette technique d'échantillonnage (quotas) est avantageuse dans le sens qu'il peut être assez rapide. Ce qui signifie qu'il a l'avantage de gagner du temps dans le processus de recherche et peut également être réalisé avec un petit budget. Mais aussi, il est important de souligner que ce type d'échantillonnage présente des limites. Tout d'abord, dans le cadre de quotas, les proportions dans chaque catégorie doivent être précises, car il peut être difficile de trouver des informations à jour sur certains sujets (par exemple, les données de recensement d'une population). En plus, la sélection des éléments de l'échantillonnage dans une catégorie donnée de la base de quotas peut être biaisée, même si la proportion de la population est estimée avec précision. Par exemple, si l'enquêteur entreprend d'interroger des personnes qui répondent dans un ensemble complexe de caractéristiques multiples, il peut introduire un biais dans l'échantillon en évitant ou en incluant certaines personnes ou situations. Dans la mesure où l'enquêteur évite aussi de se rendre dans des maisons qui semblaient particulièrement délabrées ou ne visitant que des maisons avec piscine, par exemple, son échantillon sera aussi biaisé. Il est donc nécessaire d'agir avec vigilance dans l'utilisation de ce type d'échantillonnage (quotas) pour éviter de se

² Amedé *et al.*, (2013). Méthodologie de recherche, normes et techniques de rédaction.

retrouver avec des informations biaisées (Amedé *et al.*, 2013). Le tableau suivant met en évidence le nombre de ménages interrogés dans les quatre quartiers choisis.

Tableau 1 : Nombre de ménages enquêtés dans les deux communes de Rufisque

Communes	Entités/Quartiers	Nombre de ménages	Nombre de ménages Enquêtés	Pourcentage
Rufisque EST	THIAWLENE DIGUE	77	19	7,6
	MERINA I	329	82	32,6
Rufisque OUEST	DIOKOUL KAW	370	93	36,7
	DIOKOUL WAGUE	232	58	23,0
TOTAL		1008	252	100,0

2.2.1. Traitement des données d'enquête

Les données de terrain utilisées dans le cadre de cette étude sont collectées avec le logiciel *KoboCollect*. Ce dernier est un logiciel gratuit et en accès libre pour la localisation et la collecte de données quantitatives et qualitatives. Après avoir codifié le questionnaire, le formulaire a été téléchargé par un smartphone utilisé pour la collecte des données sur le terrain. Les données collectées sont ensuite exportées sous le logiciel Excel et *ArcGis* pour les besoins de traitement et de représentation graphique. Ces derniers nous ont permis d'apprécier les impacts environnementaux et socio-économiques de l'avancée de la mer dans la zone. Ces résultats sont étayés dans le chapitre traitant les impacts de l'érosion côtière dans la ville de Rufisque.

2.3. Les entretiens

Les enquêtes menées auprès des ménages par questionnaire ont été complétées par des entretiens et focus groups (individuels et collectifs).

Les entretiens individuels ont concerné les maires des communes de Rufisque Est et Ouest, le président de la commission de pêche et de l'économie maritime de la ville, les présidents conseillers de quartier, les délégués de quartiers, le coordonnateur national des conseillers de quartiers au Sénégal, ainsi que le président administrateur et membre de la société

Green/COPEM. Ce dernier est un Groupe de Recherche et d'Etudes Environnementales au Sénégal basée dans la commune de Rufisque ouest. Le choix de ce groupe est basé sur leurs expériences dans l'étude environnementale pour mieux cerner les manifestations de l'avancée de la mer dans la zone mais aussi d'avoir un aperçu sur les stratégies de protection en cours.

Concernant les entretiens avec les Maires des deux communes, les échanges tournent autour des répercussions de l'avancée de la mer sur la ville et les stratégies de réponses développées.

S'agissant des entretiens avec les Présidents commission de pêche et de l'économie maritime, les Présidents conseillers et délégués de quartiers (quartiers enquêtés), ainsi que le coordonnateur national des conseillers de quartiers au Sénégal, les discussions portent sur les impacts socioéconomiques de l'avancée de la mer et les mesures locales et traditionnelles élaborées pour atténuer les dégâts.

Ainsi, l'entretien effectué avec le Président administrateur et membre de la société *Green/COPEM* Sénégal, porte sur les questions relatives aux facteurs de l'avancée de la mer, aux impacts environnementaux et socioéconomiques qui en résultent, mais aussi aux différentes stratégies mises en place ou qui sont en phase de réalisation notamment avec les partenaires internationaux et ONG.

En plus de ces entretiens individuels, nous avons effectué des entretiens groupés à travers des focus groups organisés dans les quartiers enquêtés afin d'acquérir des informations à travers des discussions bien orientées. Ainsi, les personnes ciblées lors de ces discussions sont celles du troisième âge pour profiter de leurs expériences, leurs sagesses, mais aussi de leurs organisations communautaires de base. Pour cela, les groupements des anciens pêcheurs lébous à leur endroit habituel souvent près de la plage appelée « *Penc* » ont été choisis. Leur connaissance empirique du secteur et du phénomène de l'avancée de la mer nous a permis de mieux cerner l'évolution de l'environnement.

2.4. Les données géospatiales utilisées

L'étude de l'évolution du trait de côte et de l'occupation des sols dans notre étude est basée sur une approche par télédétection et Système d'Information Géographique (SIG). Dans cette étude, des images satellitaires *Landsat* et *Google Earth Pro* de la période 1973-2022 ont servi d'analyse spatiale de la problématique abordée. Le choix de cette période est justifié par l'indisponibilité de certaines données aux échelles temporelles. Quant à celui des dates, il se justifie tout d'abord par le fait que l'année 1973 correspond 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. En effet, la sécheresse des années 1970-1980 (Marius, 1986 ; Mahé, 2006) aurait entraîné une forte réduction des apports sédimentaires des systèmes fluviaux côtiers avec des conséquences sur les zones littorales (Diop, 1995 ; Ndao, 2013). Les dates intermédiaires sont utilisées pour étudier l'évolution du trait de côte à l'intervalle d'une décennie (10 ans) ou plus. L'année 2022 correspond à la situation actuelle, notamment avec la mise en place des dispositifs de protection (digues) dans certaines parties du littoral étudié.

L'étude couvre la période 1973-2022 avec des dates intermédiaires que sont 1990 et 2009. Les images satellitaires *Landsat* utilisées dans cette étude ont été fournies par les capteurs *Landsat* (tableau 2). Elles sont disponibles et gratuitement téléchargeables sur le site de l'*USGS* (<http://earthexplorer.usgs.gov/>) ou (<http://glovis.usgs.gov>). Leur résolution spatiale est suffisante pour étudier l'évolution du trait de côte sur le littoral de Rufisque (Koulibaly *et al.*, 2021). Et l'image de 2022 est obtenue à partir du site de *Google Earth*. Etant donné que les données sont acquises par des sources différentes, des marges d'erreur de différentes natures sont impérativement à corriger.

Tableau 2 : Caractéristiques des données géospatiales utilisées dans l'analyse diachronique (1973-2022)

Types d'images	Missions	Capteurs	Résolution Spatiale	Date de prise de vue	Source
<i>Landsat</i>	Série L1	MSS	79m	05/05/1973	<i>Glovis/Earth Explorer</i>
	Série L5			05/12 /1990	
	Série L5	TM	30m	22/10/2009	
<i>Google Earth</i>	-	-	0,6m	31/03/2022	<i>Google Earth pro</i>

2.4.1. Le traitement des données géospatiales

Les images téléchargées présentent certaines déformations liées aux problématiques de calages des repères Ce qui nécessite des prétraitements au préalable. Afin de tirer profit des données obtenues, plusieurs manipulations ont été effectuées avec un certain nombre de logiciels comme

ArcGis 10.5, ENVI 4.5 et l'extension DSAS.

2.4.1.1. Les corrections géométriques

2.4.1.2. Prétraitement et correction des images satellites Landsat

Les images satellitaires présentent des déformations et ne sont pas directement superposables (Barry, 2017 ; Thior, 2020). Quel que soit la qualité des images *Landsat* acquises à différentes dates avec des capteurs différents (MSS et TM), leurs superpositions ne sont pas toujours en bonne conformité. La superposition des images Landsat a montré en effet, des décalages géométriques qu'il a fallu impérativement corriger pour assurer un bon suivi spatio-temporel du trait de côte afin de les projeter dans le système de projection cartographique qu'est l'UTM/ZONE 28 Nord. En effet, des images qui n'ont pas la même résolution spatiale ne sont pas superposables. La méthode de correction adoptée est le géoréférencement image par image. Ainsi, le géoréférencement de ces images est effectué en utilisant l'image de 2022 comme référence, car elle présente une géométrie plus récente et plus illustrative des éléments au sol.

L'image 1973 a été géométriquement corrigée à l'aide de celle de 2009 qui présente une géométrie plus correcte. La méthode choisie pour le ré échantillonnage est la méthode polynomiale de degré 1 avec le choix de 5 points amers appelés points de contrôle au sol ou GCP (*Ground Control Point*) sélectionnés. Lors de la manipulation des GCP, le logiciel ENVI 4.5 calcule automatiquement l'erreur moyenne dite RMSE (*Root Mean Square Error*). Cette dernière doit en principe être inférieure à la taille d'un pixel de l'image à géoréférencer, il correspond ici à 0,2 (figure 3). Elle est inférieure à celle du « *Ground Control Points verify* » de l'image de 2009.

A noter que ces corrections permettent le rééchantillonnage des images Landsat multi-dates et le traitement des images est effectué à travers des compositions colorées dans la phase de traitement des images satellitaires *Landsat*.

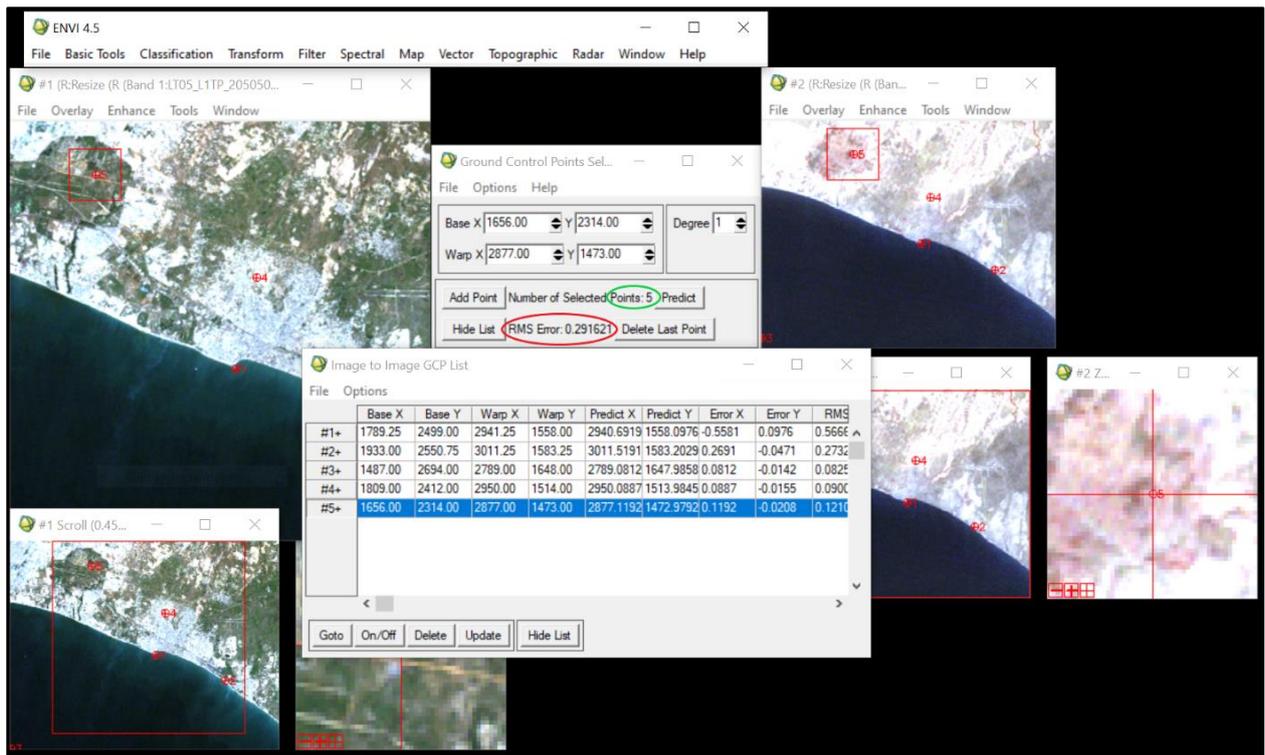


Figure 3 : Correction géométrique de l'image Landsat de 1973

2.4.1.3. Correction des images *Google Earth pro*

S'agissant des images issues du système *Google Earth pro*, elles ne présentent pas de réelles déformations géométriques contrairement aux images satellitaires avec deux résolutions spatiales différentes (Thior, 2020). La méthode utilisée pour corriger ces images est le géoréférencement. Ce dernier s'effectue directement sur l'interface des deux logiciels (*ArcGIS* et *Google Earth*) en choisissant des points de repère sur *ArcGIS*, ensuite ces mêmes points doivent être impérativement trouvés dans le système *Google Earth*. Après avoir effectué cette opération, le logiciel *ArcGIS 10.5* signale automatiquement l'erreur du géoréférencement dans *Total RMS (Root Mean Square Error)*. Dans notre démarche, l'erreur du géoréférencement est de 0,2 (figure 4).

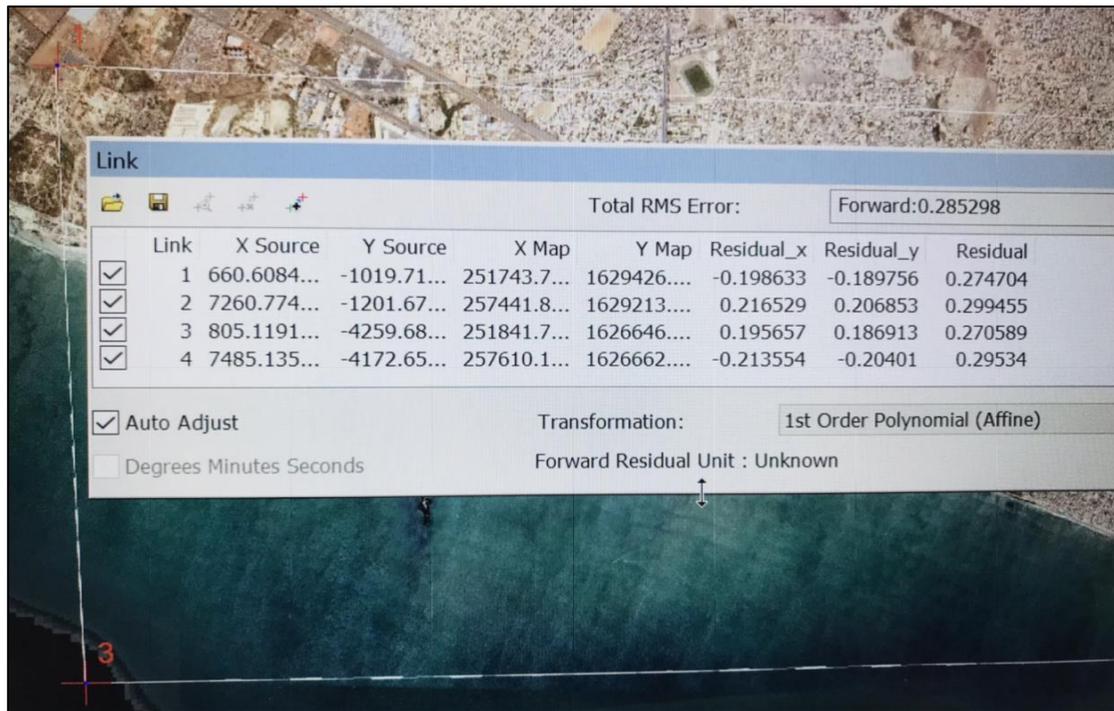


Figure 4 : Correction géométrique des images Google Earth

Ces étapes de correction ont permis de représenter toutes les images dans la même projection géodésique UTM, zone 28N. Au-delà de ces corrections radiométriques et géométriques des images géospatiales, l'étude de l'évolution du littoral nécessite tout d'abord un indicateur de trait de côte. Ce dernier est un concept ambigu et polysémique.

2.5. Définition du trait de côte et des lignes de référence

2.5.1. Ambiguïté et diversité du trait de côte

La cinématique du trait de côte nécessite au préalable le choix d'un référentiel. En termes beaucoup plus simples, c'est la représentation de la ligne qui marque la limite entre la terre et la mer. Le trait de côte est une entité linéaire qui évolue dans le temps. La position exacte du trait de côte mobile fait que plusieurs auteurs peuvent travailler sur le même thème, mais ils n'ont pas la même définition, alors ils font des estimations probablement différentes. Cette complexité à définir le trait de côte justifie que c'est un espace très dynamique et complexe dont chacun pourrait apporter sa propre identification. Le trait de côte n'a donc pas une définition, mais plusieurs définitions, selon les indicateurs que les opérateurs lui attribuent pour l'identifier (Juigner, 2012).

A cette difficulté de définir avec exactitude le trait de côte, s'ajoute la diversité des critères d'identification de celui-ci. D'abord, elle varie suivant les auteurs, selon les spécialités, et la nature de la côte. Ainsi, la notion de trait de côte est à l'origine de plusieurs controverses dans

les différentes spécialités. Les lignes de référence peuvent varier donc d'une discipline à une autre. C'est pourquoi leurs utilisations en cinématique du littoral ont fait l'objet de plusieurs synthèses (Bird, 2007 ; Faye, 2010). A ce sens, Bird (2007) souligne que dans la littérature anglo-saxonne et américaine en particulier, les termes « *shoreline* » et « *coastline* » sont souvent considérés comme synonymes alors qu'il faut les distinguer. D'après cet auteur, l'expression « *shoreline* » désigne la limite du plan d'eau en fonction des fluctuations du jet de rive et de la marée. C'est-à-dire en français la ligne instantanée de rivage alors que « *coastline* » renvoie à la limite atteinte par les pleines mers de vives eaux d'équinoxe et pouvant être matérialisée selon le type de côte par le pied de falaise ou la limite de la végétation terrestre donc, en français, à la notion de trait de côte. Ce qui explique cette polémique conceptuelle dans la littérature existante. En effet, le trait de côte marque la limite de référence indéniable en tant que séparation linéaire entre deux domaines, terrestre et marin. Le trait de côte est pourtant une notion ambiguë tant le passage de l'un vers l'autre est progressif dans l'espace et mobile dans le temps (Thior *et al.*, 2021). Ainsi, le trait de côte peut être choisi suivant plusieurs critères : géomorphologiques, marégraphiques, botaniques, l'étendue de la plage, limite de la végétation. Tout dépend de la nature de la côte.

2.6. Définition et choix d'une ligne de référence adaptée au littoral de Rufisque

2.7. Définition des lignes de référence

L'analyse de la cinématique du trait de côte nécessite au préalable le choix d'un indicateur de trait de côte ou ligne de référence. Le choix de cette dernière est effectué après une évaluation minutieuse des images géospatiales utilisées. En effet, le choix de la ligne de référence varie selon les auteurs, les disciplines, la nature de la côte, mais aussi de la qualité des images géospatiales utilisées. Or, il existe plusieurs critères d'identification du trait de côte possible dans le littoral de Rufisque : les critères marégraphiques, géomorphologiques, botaniques (la limite de la végétation) dont nous avons fait état sur chacun de ces critères afin de choisir un référentiel adapté à ce type de côte.

2.7.1. Les critères marégraphiques

La marée est considérée comme un mouvement périodique affectant les mers et qui se manifeste par une fluctuation de leurs niveaux. Les mouvements de la marée laissent voir périodiquement sur l'estran plusieurs positions pouvant faire l'objet de marqueur du trait de côte (Thior, 2020). Or, la position de la ligne de rivage en haute marée est différente de celle de la marée basse. Ce qui rend plus difficile le choix du marqueur de trait de côte face à sa position instantanée. C'est dans cette mouvance que les variations de la marée offrent généralement comme ligne de

référence la ligne instantanée de rivage, les limites d'humectation, la zone de saturation, les limites de sable mouillé et sable sec, les limites des pleines mers, la limite des pleines mers habituelles.

2.7.1.1. La ligne instantanée de rivage

La ligne instantanée de rivage (*water line, swash line, swash terminus*) forme l'interface entre le plan d'eau et la pente de la plage à tout instant et correspond parfois à la limite de l'écume du jet de rive (Shoshani et Degani, 1992 ; Kraus et Rosati, 1997). C'est une ligne très mobile, dont la position sur l'estran fluctue au rythme du jet de rive et de la nappe de retrait (Faye, 2010). Les fluctuations de l'emplacement de cette ligne sont dictées essentiellement par la pente, la puissance des vagues, les conditions atmosphériques (vent et pression) et surtout le niveau de la marée. La position de ces lignes est inhérente au niveau atteint par la marée sur l'estran. Elles déterminent la limite du jet de rive à un moment donné en fonction des conditions météo-marines. Ces lignes font référence à un niveau d'eau momentanée. Très mobile, la ligne instantanée de rivage est plus facile à remarquer sur les plages à large estran et à pente relativement faible. Selon Thior (2020), sur les côtes macro tidales, l'importance du marnage ne permet pas d'utiliser ce référentiel, car l'amplitude de ses déplacements est considérable et peut atteindre plusieurs dizaines de mètres. Par contre, sur les littoraux microtidaux par exemple, ses variations sont de moindres importances, voire même négligeables en général si les lignes sont acquises dans des conditions météorologiques à pressions semblables (Faye et al., 2010). Ce qui nécessite dans le cas contraire des corrections pour éliminer les effets qui découlent dans les variations de la marée. Toutes ces incertitudes justifient que l'utilisation de la ligne instantanée du rivage n'est pas trop fiable comme référence, mais elle peut être utilisée de manière approximative s'il n'y a pas l'avènement de perturbations météo-marins majeures (carte 5).

2.7.1.2. Les limites d'humectations

Les lignes dites d'humectations d'estran traduisent, selon Juigner *et al.*, (2012), la limite supérieure du jet de rive, selon les différentes hauteurs du plan d'eau déterminées par les variations de la marée et les conditions des surcotes. Ces lignes correspondent donc à des linéaires matérialisant la limite entre les sables mouillés et les sables secs. C'est pour cela que leurs utilisations en tant que référentiels sont aussi délicates à cause de la complexité de l'espace côtier. Elles sont facilement détectables dans les plages à sables blancs, laissant des traces visibles contrairement aux plages avec une coloration assombrie et une difficulté d'extraire le marqueur entre sable mouillé et sec. L'utilisation de ces référentiels est donc pertinente

uniquement dans les plages à sable blanc avec une marge d'erreur moins importante, car l'avancée des eaux marines laisse apparaître des traces visibles à l'œil nu.

2.7.1.3. La zone de saturation

Son utilisation peut être pertinente sur les plages à très basse altitude grâce au déferlement (Faye, 2010 ; Sy, 2013). A ce niveau, la plage sous-marine est de très faible pente et peut permettre un mouvement relativement régulier de ce type de marqueur du trait de côte. Mais aussi la position de ce dernier peut être affectée par la modification des conditions météo-marins. Par conséquent, son utilisation peut aboutir à des marges d'erreur entre deux marées différentes en une journée ou en quelques jours. Ce qui exhorte ainsi des corrections, car au niveau des images enregistrées en période de hautes marées, la zone de saturation n'est pas semblable à celles prises en basses marées. Ce qui veut dire alors que l'utilisation de la zone de saturation comme référentiel n'est pas fiable à cause des variations climatiques (carte 5).

2.7.1.4. La limite entre le sable mouillé et le sable sec

D'après Dolan *et al.*, (1978), elle correspond à l'extrémité du jet de rive à marée haute et durant la marée descendante, elle migre vers la mer et marque la limite côté terre des sables assombris par le déferlement (carte 5). Son utilisation est presque semblable aux mêmes problèmes que ceux posés par la ligne instantanée de rivage. Ainsi, en l'absence de perturbations météo-marines sur les côtes micro tidales, la position de cette ligne d'humectation varie très peu durant un cycle de marée selon Dolan *et al.*, (1980). Son avantage est qu'il est parfois considéré comme équivalent à une ligne de pleines mers affirme Thior (2020). Toutefois, comme toute limite d'humectation dépend des paramètres météo-marins, les limites entre le sable mouillé et sec laissent voir logiquement des sources d'erreur.

2.7.1.5. Les limites des pleines mers

C'est l'indicateur le plus utilisé par les anglo-saxons pour l'étude des variations de la ligne de rivage (Boak et Turner, 2005). D'après Crowell *et al.* (1991), elle correspond au niveau atteint par la dernière marée haute (carte 5). En d'autres termes, elle correspond à la limite supérieure d'humectation de l'estran par la pleine mer précédente et est souvent matérialisée par le dépôt linéaire d'ordures. Ainsi, des auteurs comme Stafford et Langfelder (1971), la considèrent comme un bon indicateur de l'évolution du rivage si les différentes lignes à comparer sont acquises dans des conditions similaires. En effet, la position de la limite des pleines mers au niveau de l'estran est affectée par les variations de la marée et, les conditions climatiques (températures, vent, etc.), car ces dernières peuvent engendrer des sources d'erreurs qu'il faut

impérativement évaluer et intégrer dans les calculs des taux d'évolution (Moore, 2000). Mais il faut noter que ces limites d'humectation peuvent être masquées ou s'avérer difficiles à localiser sur des plages de sables noirs ou de sables blancs (Fletcher *et al.*, 2003).

2.7.1.6. La limite des pleines mers habituelles

Ces marqueurs comprennent entre autres la limite de la végétation, les laisses de mers (débris, bois flotté, varech, etc.) ainsi que les ruptures de pente (microfalaise, escarpement d'érosion, berme...). Même si cette ligne est censée marquer la position moyenne des pleines mers, elle n'est pas pour autant un datum marégraphique a affirmé Faye, (2010). On peut donc considérer ces limites comme des lignes exceptionnelles des eaux marines. C'est le cas des plages à très faibles pentes où la limite extrême des pleines mers habituelles est confondue avec le pied de dune. Elle correspond donc à la dernière limite supérieure des eaux marines en période de hautes marées ; c'est pour cela qu'elle est souvent assimilée aux dunes végétalisées offrant ainsi les mêmes possibilités d'identification (carte 5).



Carte 5 : Lignes de références marégraphiques par images *Google Earth pro*

Tous ces critères marégraphiques sont visibles par images géospatiales, mais ne sont pas stables à cause des variations marines. Ils peuvent être utilisés comme des marqueurs de trait de côte grâce à la teneur en eau notamment sur les plages à sable blanc, sauf qu'ils présentent autant d'erreurs lorsque les images ne sont pas enregistrées à la même heure et à la même marée. Ce qui nécessite des corrections afin d'identifier les marges d'erreur. Du fait de leur instabilité, ces critères ne sont pas très fiables. En plus de ces critères cités plus haut, il y a des possibilités d'identification du trait de côte qui relèvent des aspects géomorphologiques :

2.7.2. Les critères géomorphologiques

Les éléments géomorphologiques présentent tout au long du rivage de Rufisque offrent des repères pour la matérialisation du trait de côte. A noter aussi que le littoral de Rufisque est généralement dominé par des plages sableuses. Cette situation favorise, en partie, le processus de formation des dunes. Parmi les unités géomorphologiques qui se dégagent sur cette entité linéaire et pouvant servir de ligne de référence du trait de côte, nous pouvons retenir les pieds de falaises dunaires et les pieds de dunes végétalisées.

2.7.2.1. Les pieds de falaises dunaires

Le pied de falaise dunaire marque la transition entre la falaise et la haute plage. D'après Thior, (2020), il peut être aussi localisé sur la dépression que l'on suppose être fréquemment sapée par les vagues. De ce fait, des chercheurs comme Stafford et Langfelder, (1971) et Faye, (2010) notaient que le pied de dune est un bon indicateur d'érosion, mais ont aussi évoqué l'utilisation de cette limite comme ligne de référence. En effet, en période de haute mer les eaux marines peuvent parvenir jusqu'au pied de la falaise ; ce qui risque d'accélérer le processus d'érosion notamment avec l'effet d'éboulement. C'est dans ce sens que ce marqueur peut être utilisé comme indicateur du trait de côte à Rufisque, car avec les variations climatiques, la vague frappe sur le pied de la falaise. Mais, cette situation est observable dans la zone d'étude qu'en période de haute marée. Lorsque la falaise est affectée par des mouvements de masse (effondrement, éboulement), la ligne de référence peut être placée au « contour de la cicatrice d'arrachement » Robin, (2002), au sommet de l'éboulis Priest, (1999) ou au pied de l'éboulis (Bonnot-Courtois et Levasseur, 2002-2003 ; Faye, 2010). Dans les secteurs à falaises vives, sans encoches, régulièrement battus par les vagues et débarrassés des matériaux éboulés, le pied de falaise (*cliff toe*, *bluff toe*) constitue une alternative optimale par rapport au sommet de falaise pour positionner le trait de côte (Moore *et al.*, 1999 ; Guy, 1999 ; Bonnot-Courtois et Levasseur, 2002 ; Pajak et Leatherman, 2002 ; Zuzek *et al.*, 2003).

2.7.2.2. Les pieds de dunes végétalisées

Le pied de dune (*dune foot, dune toe*) marque la limite supérieure de la haute plage. Il est localisé à la jonction entre la pente relativement abrupte du front dunaire et celle de la haute plage qui est beaucoup plus douce (Guillén *et al.*, 1999). Dans les plages à pentes faibles, il peut arriver que la végétation grimpe jusqu'au pied de la dune. C'est dans ce contexte que nous pouvons parler de pied de dune végétalisée et pouvant servir comme référence du trait de côte par son alignement linéaire le long du rivage. Ce marqueur permet de voir aussi bien la progradation que le recul du trait de côte. Cependant, lors des grandes marées de vives-eaux, la végétation rampante de la zone d'étude peut être engloutie du fait de la faible pente de la plage. Ce qui justifie alors son instabilité et l'incertitude de son choix comme une référence du trait de côte.

2.7.3. La limite de la végétation

Elle correspond souvent à la végétation ligneuse sur l'ensemble de la côte. Elle est facilement identifiable sur le terrain et détectable aussi sur les images géospatiales. Cet indicateur de trait de côte permet de séparer facilement la limite des pleines mers et les pieds de dunes à pente relativement faible surtout dans les plages sableuses des communes de Rufisque Ouest et Est (sables blancs). En plus, Thior (2020), évoque qu'elle marque généralement le niveau d'eau extrême saisonnier le long des rivages aménagés ; et c'est un excellent indicateur pour évaluer les retraits ou les avancées à long terme sur les rivages (Gould *et al.*, 2015, Gibbs *et al.*, 2015). Cependant les variations de la position de la limite de végétation ne sont pas toujours synonymes d'érosion ou d'accrétion, car elles peuvent résulter de l'action de l'homme : stabilisation artificielle (plantations, culture, etc.) ou destruction (piétinement, etc.). A cela s'ajoute la sensibilité de la végétation aux conditions climatiques et écologiques d'une manière générale (Morton et Speed, 1998 ; Robin, 2002 ; Faye, 2010). Par ailleurs, la végétation n'est pas une entité linéaire importante et visible pour servir de référence au niveau de la zone étudiée. En effet, la limite de la végétation n'est pas utilisable comme ligne de référence sur la côte de Rufisque, car elle est caractérisée généralement par des plages sableuses. De ce fait, elle est soumise au phénomène de d'érosion notamment avec le sapement des vagues (photographie 2). Ce qui permet de caractériser la végétation comme non pérenne dans cette entité linéaire.



Photographie 2 : Limite de végétation sur la plage de Bata (Faye, septembre 2022)

C'est pourquoi ce type de marqueur n'est pas pertinent pour étudier l'évolution du trait de côte dans la zone étudiée. Il est nécessaire d'être prudent lorsqu'on utilise ce type de marqueur en cinématique littoral surtout quand la côte étudiée n'est pas matérialisée par une présence importante du couvert végétal.

2.8. Choix de la ligne de référence

Le choix de la ligne de référence se justifie tout d'abord par sa visibilité au niveau des images géospatiales utilisées. Puisque la méthodologie utilisée est basée sur la photo-interprétation sur ArcGis, il est impératif que celle-ci (ligne de référence) soit disponible sur toutes les images utilisées. Etant donné que la ligne instantanée de rivage peut être identifiée sur toutes les images, elle a été choisie comme indicateur de trait de côte. La ligne instantanée du rivage fait partie des critères marégraphiques. Etant très mobile à cause de la variation de la marée, elle est plus facile à remarquer sur les plages à large estran et à pente relativement faible (Dalongeville, 2005). En effet, dès qu'il y a une différence de teneur en eau sur les plages à sable blanc, se présente une possibilité de ligne de référence. C'est le cas du littoral de la zone d'étude. Elle est souvent associée à la limite côté mer des structures de protection. De ce fait, elle traduit la limite supérieure du jet de rive même en période de haute marée ; laissant des traces visibles

entre le sable mouillé et sec. C'est ainsi que Faye (2010) signalait que dans la presqu'île du Cap-Vert, la ligne instantanée de rivage, peut-être plus ou moins distinguée sur tout le littoral jusqu'au Rio Cacheu en Guinée Bissau et, ponctuellement, sur les segments de côtes sableuses au sud de ce secteur. Or, des auteurs comme Stafford et Langfelder (1971) notaient que le pied de la falaise dunaire est un bon indicateur d'érosion, mais il est peu apte à traduire une accrétion sur le court terme, car son érosion survient brutalement en général, surtout lors des tempêtes alors que son accrétion est un processus lent. C'est dans ce contexte que ce marqueur a été utilisé comme référentiel de trait de côte.

3. Méthodologie d'extraction des lignes de référence du trait de côte

3.1. Extraction de la ligne de référence sur les images satellitaires Landsat

La cinématique du littoral dans cette étude est réalisée à partir de la combinaison de la télédétection et de système d'information géographique (SIG). L'utilisation de l'imagerie *Landsat* pour la mesure de la cinématique du trait est pertinente dans le cas des littoraux extrêmement dynamiques (Cromwell *et al.*, 1994 ; Fletcher *et al.*, 2003 ; Faye, 2010 ; Thior, 2020). De ce fait, dans cette étude, des images satellitaires *Landsat* multi-dates et de *Google Earth* sont utilisées pour suivre l'évolution du trait de côte à Rufisque.

Ainsi, les images satellitaires utilisées sont celles de *Landsat* 1 pour l'année 1973 du capteur MSS, *Landsat* 5 pour les années 1990, 2009 du capteur TM et l'image issues de *Google Earth* en 2022. Au-delà de la disponibilité des données et du souci d'équilibrer l'intervalle entre les périodes, la sécheresse des années 1970 demeure un élément important dans le choix de ces dernières. En effet, le déficit pluviométrique de cette période a naturellement entraîné une réduction des apports sédimentaires des systèmes fluviaux et maritimes avec des conséquences non négligeables sur la morphodynamique côtière (Marius, 1986 ; Thior, 2020) de la zone d'étude.

3.1.1. Les limites d'humectations

La résolution des images satellitaires *Landsat* utilisées (79m et 30m) ne permet pas une bonne reconnaissance de certaines lignes de références marégraphiques (ligne des pleines mers, zone de saturation, limite entre sables mouillée/sables secs et les limites d'humectations) sur le long du rivage. Les côtes de Rufisque sont entièrement constituées de sable et, la présence de la végétation est très faible pour servir de ligne de référence du trait de côte. Ainsi, l'usage de ce marqueur (limite de la végétation) n'est pas pertinent sur ces types de côtes. Alors, au passage du satellite, certains indicateurs sont retrouvés sur l'étendue de la plage (ligne de rivage, limites

d'humectation) avec une résolution spatiale faible. De ce fait, Faye (2010) signalait qu'au sud de la presqu'île du Cap-Vert, en plus de la ligne instantanée de rivage, la limite supérieure de la plage peut être plus ou moins distinguée sur tout le littoral jusqu'au Rio Cacheu et, ponctuellement, sur les segments de côtes sableuses au sud de ce secteur. Or, la ligne instantanée de rivage est facilement détectable sur les images satellitaires de Landsat. C'est pourquoi ce référentiel a été utilisé comme marqueur du trait de côte dans cette étude.

3.1.2. La ligne instantanée de rivage sur les images satellitaires de *Landsat*

La ligne instantanée du rivage correspond à la ligne d'eau extraite automatiquement d'une image satellite. C'est la position instantanée de la limite d'eau et des sédiments correspondants à l'acquisition satellitaire. Elle est utile en tant que ligne de référence du rivage (niveau 0) pour la bathymétrie. L'importance accordée à ce type d'indicateur est justifiée par le fait que la côte de Rufisque est dominée par des plages essentiellement sableuses ; ce qui rend visible ce type de marqueur sur les images géospatiales. Ainsi, la numérisation de la ligne instantanée de rivage peut se faire manuellement sur les images satellitaires à partir d'ArcGis. Les marqueurs de trait de côte peuvent être directement visibles sur l'image si celle-ci présente une résolution importante comme c'est le cas des images Landsat utilisées dans cette étude (figure 5). La combinaison des trois couleurs primaires (Bleu, vert, rouge), l'image résultante correspond donc exactement à ce que l'observateur pourrait trouver à bord du satellite. Dans cette étude, les bandes spectrales 321 du capteur TM sont associées pour réaliser une image en « vraie couleur » ou naturelle (figure 5. A). Sur cette image, les surfaces d'objets apparaissent avec leurs vraies couleurs : la végétation en vert, le bâti apparaît clairement en blanc qui tend vers le gris et l'eau quant à elle apparaît en teinte qui va du bleu foncé au bleu cyan, selon sa profondeur et la turbidité. En revanche, une autre composition colorée particulièrement efficace en télédétection est réalisée ; celle dite infrarouge fausse couleur. Elle est obtenue en associant les bandes 432 du capteur TM (figure 5. B). Cette composition est très efficace pour analyser la végétation car elle associe les bandes du proche infrarouge, rouge et verte. Elle exploite aussi la particularité du spectre réfléchi par les végétaux, ce qui présente un pic important dans le proche infrarouge.

Ces deux types de composition colorée ont permis d'identifier l'essentiel des surfaces d'objets, afin d'extraire facilement la ligne instantanée du rivage (figure 5).

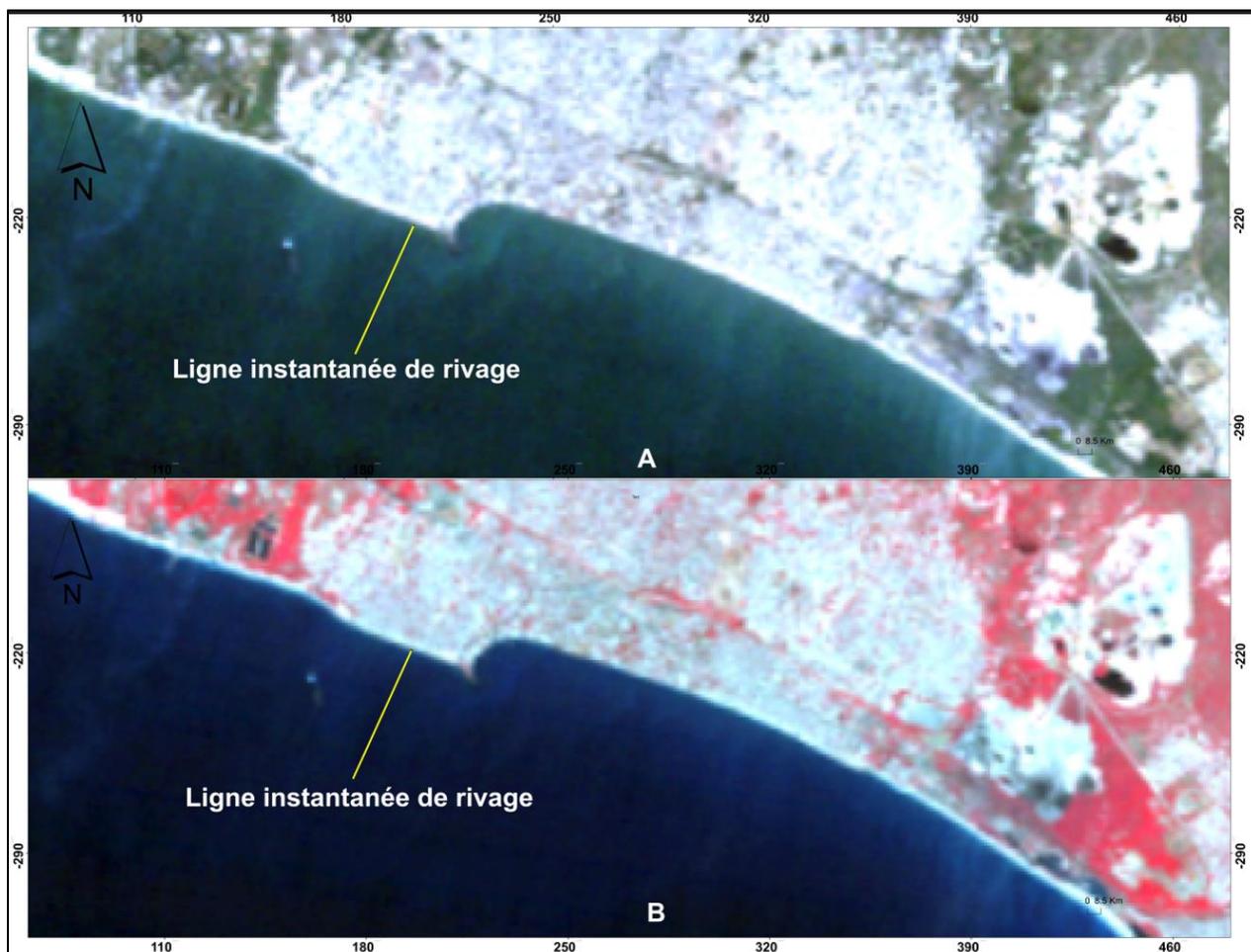


Figure 5 : Ligne instantanée de rivage sur les images Landsat : composition colorée 321 (A) et 432 (B)

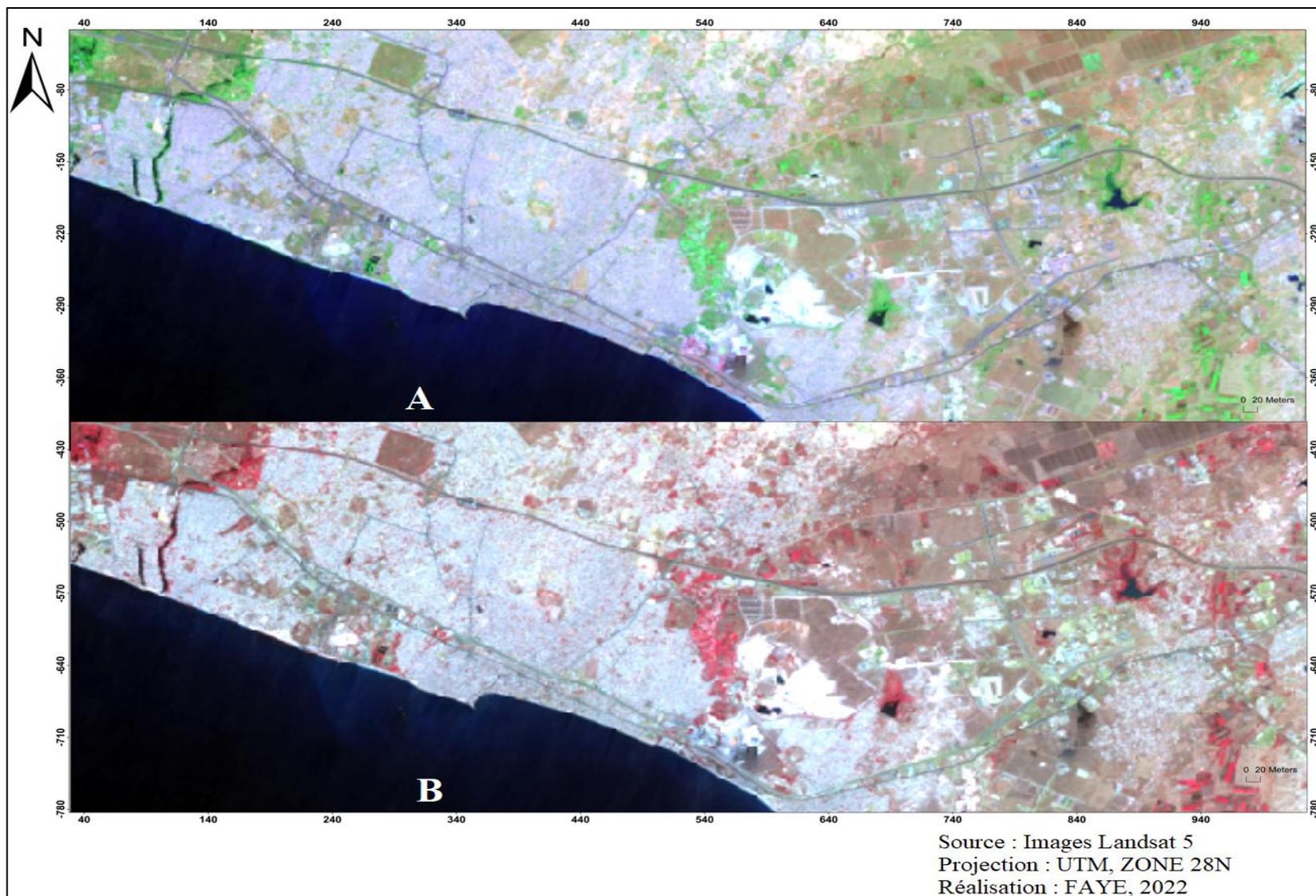
3.1.3. Limite de la végétation sur les images satellitaires

C'est le référentiel le plus utilisé et le mieux connu sur l'étude de la dynamique de trait de côte, car elle est défendue par plusieurs auteurs du fait de sa pertinence (Morton, 1985 ; Bird, 2000 ; Faye, 2010 ; Barry, 2016). L'intérêt accordé à ce marqueur est lié à la précision qu'il peut apporter sur la nature de la côte surtout quand la végétation est d'une importance capitale comme c'est le cas des côtes de la Casamance. Cependant, sur le littoral de la zone d'étude (Rufisque), la présence de la végétation n'est pas pérenne. Elle n'est pas une entité linéaire visible sur toute l'étendue de la plage, ce qui rend son utilisation difficile. Il est nécessaire aussi de signaler son caractère non pérenne, la végétation est souvent rampante. Ainsi, elle est visible que sur de petits secteurs le long de la côte. C'est ce qui fait que sa réflectance n'est pas importante dans la zone côtière sur les images satellitaires. L'installation des dispositifs de protection (digues) et d'infrastructures côtières fait reculer la présence de la végétation dans ce milieu.

3.1.4. Traitement des images satellitaires *Landsat*

3.1.4.1. Composition colorée et classification des images

Dans cette étude, une démarche méthodologique qui donne plus d'importance aux informations ciblées sur le terrain a été utilisée. Pour cela, nous avons utilisé un référentiel visible sur les images satellitaires et adapté à la côte étudiée. D'où l'importance de réaliser des compositions colorées et des classifications supervisées afin de regrouper les classes thématiques proches ou similaires pour retenir les plus pertinentes (Dièye, 2017). Ainsi, en télédétection, l'étude de la végétation est d'une importance capitale, car elle a une forte réflectance dans le proche infrarouge au moment où l'eau présente une faible réflectance dans le domaine infrarouge du spectre électromagnétique (Girard, 2010). Par ailleurs, la combinaison de trois bandes spectrales qui ne correspondent pas aux trois couleurs primaires : Rouge, Vert et Bleu (RVG), l'image qui en résulte, est dite « image en fausses couleurs ». On peut donc produire des images en fausses couleurs, chacune étant plus adaptée à une application particulière. Lorsque plus de trois (3) bandes spectrales sont disponibles sur un capteur satellitaire (*Landsat* TM, ETM+ et OLI_TIRS) qui acquièrent de manière simultanée sept bandes à des longueurs d'onde différentes, on peut procéder à des combinaisons standards comme la « vraie couleur » dite naturelle ou « l'infrarouge fausse couleur ». Tout dépend de ce que l'on souhaite mettre en évidence. Il faut tout simplement être conscient des couleurs affectées à chacune des trois bandes spectrales pour ne pas commettre d'erreur d'interprétation. C'est ainsi que des compositions colorées sont réalisées par la combinaison des bandes 752 et 432 de l'image *Landsat* 5. Ce qui a donné une bonne couleur à la végétation (carte 6). Mais aussi la combinaison des bandes 321, donne une couleur naturelle à l'image.



Carte 6 : Composition colorée 752 (A) et composition colorée 432 (B), appliquée sur le littoral de Rufisque

3.1.4.2. Numérisation de la ligne instantanée de rivage

La numérisation de la ligne instantanée de rivage nécessite au préalable l'identification et l'extraction du marqueur de trait de côte sur les images *Landsat*. Cette approche peut se faire manuellement sur les images *Landsat* à travers *ArcGis*. En effet, le marqueur utilisé (ligne instantanée de rivage) est directement visible sur les images *Landsat* avec une haute résolution spatiale (30m) comme c'est le cas dans notre étude. C'est dans ce sens que la photo-interprétation reste une des techniques les plus utilisées pour extraire les lignes de référence (Boak et Tunner, 2005).

4. Extraction des lignes de référence sur les images *Google Earth pro*

Les informations fournies par ces images issues du système *Google Earth* sont susceptibles de montrer les différents critères marégraphiques à savoir la zone de saturation, la limite entre le sable mouillé et le sable sec, la ligne instantanée de rivage et la limite des pleines mers. Ce qui n'est pas le cas sur les images satellites. La résolution spatiale de ces images, qui varie selon le niveau de zoom permet aussi d'identifier les conditions météo-marines auxquelles l'image correspond. Par ailleurs, plus la zone téléchargée est petite, plus la résolution spatiale devient importante. C'est ainsi que les limites d'humectation sont les lignes de référence favorisées sur ces images, car elles sont plus faciles à détecter lorsque l'image présente une haute résolution. Ce qui nous amène à choisir comme ligne de référence la ligne instantanée de rivage sur ces images. De ce fait, sur la zone ciblée, des images ont été téléchargées pour ensuite être mosaïquées sur l'interface cartographique d'*ArcGis 10.5*. Ce mosaïquage est suivi du géoréférencement des images pour pouvoir être projeté dans le système de coordonnées qui est l'UTM, ZONE 28N.

Après le choix, la numérisation du trait de côte sur les différentes images utilisées, nous avons procédé à la cartographie de l'évolution du trait de côte sur la période concernée.

5. Méthode de cartographie de l'évolution du trait de côte

Cette partie consiste à mettre en place une méthodologie de cartographie diachronique de la ligne de rivage ; en d'autres termes, il s'agit de faire une analyse spatiale du trait de côte entre les périodes 1973-1990 ; 1990-2009 ; 2009-2022 et de finir avec une synthèse de l'évolution sur toute la période considérée (1973-2022). La représentation cartographique du trait de côte est souvent matérialisée par une entité linéaire. Cependant, les positions successives du trait de côte sur deux dates différentes sont symbolisées par un tracé linéaire géoréférencé, ce qui justifie qu'ils peuvent souvent se confondre ou se croiser surtout quand la vitesse d'évolution

du trait de côte est lente ; à cause de la sinuosité de la côte ou bien quand l'écart entre les deux dates est petit. C'est ainsi que Cuq *et al.* (2001) ont souligné qu'il n'est pas facile de respecter des entités linéaires de manière à ce qu'elles soient clairement distinguées sur une carte. Pour cela, une méthodologie de calcul statistique est utilisée, afin de suivre l'évolution spatio-temporelle de la ligne de rivage.

5.1. L'usage de l'outil « Digital Shoreline Analysis System » pour mesurer les taux d'évolution du trait de côte

Les méthodes statistiques d'extrapolation ou de calcul de tendance sont souvent utilisées en matière d'étude de la dynamique du trait de côte, à travers les outils d'analyse spatiale pour principalement anticiper sur l'érosion côtière (Emmanuel, 2017 ; Thior, 2020). De ce fait, des travaux de numérisation sont réalisés sur ArcGis, à partir duquel les calculs statistiques des vitesses d'évolution du trait de côte à multi-dates sont effectués avec l'extension DSAS 4.3. Ce dernier est un outil (extension) statistique permettant de calculer les écarts d'évolution entre deux ou plusieurs objets linéaires vectorisés ; initié depuis les années 1990 par *l'US Geological Survey*. Ainsi, dans le contexte de notre étude il s'agit notamment des traits de côte déjà digitalisés à partir des images retenues.

5.1.1. Digitalisation sur ArcMap

L'étude de l'évolution du trait de côte mobile repose sur la superposition de plusieurs images sur lesquelles il est facilement détecté les tracées de traits de côte sur différentes dates retenues.

L'étape première de la digitalisation sur ArcGis consiste à la création de fichiers de forme (shp) linéaire sur le système de projection correspondant (UTM, ZONE 28N). Un système d'information géographique est mis en place pour créer des données cartographiques sur le trait de côte (TDC). Sur les images satellitaires Landsat de 1973, 1990, 2009 les traits de côte du littoral de Rufisque ont été numérisés sous ArcGis. Et l'image *Google Earth pro* de 2022 était directement numérisée et exportée sur ArcGis en passant le géoréférencement de fichier *KML* en fichier de forme. C'est sur la base de ces traits de côte que les calculs de la vitesse d'évolution ont été effectués à partir de l'outil « *Digital Shoreline Analysis System* ». De ce fait, la ligne de référence utilisée pour effectuer le calcul des taux d'évolution du trait de côte est la ligne instantanée du rivage.

5.1.2. Le calcul statistique

Après avoir obtenu quatre traits de côte déjà numérisés à des dates différentes, nous avons procédé au calcul de la vitesse d'évolution avec DSAS. Ce dernier s'utilise essentiellement

comme une extension d'ArcGis, via une barre d'outils à rajouter dans *ArcMap*. Il est également compatible avec le logiciel de calcul *MATLAB* via un fichier XML d'interface. Cette extension est conçue pour étudier les variations du rivage, mais aussi il peut s'appliquer sur d'autres objets linéaires comme les berges de cours d'eau, la limite de glaciers, etc. L'utilisation de cet outil nécessite au minimum deux traits de côte déjà vectorisés et le calcul s'effectue en suivant les normes exigées par l'extension. L'objectif principal de cet outil dans le cadre de notre étude est de mesurer les écarts entre les traits de côte sur une série bien définie et de calculer les statistiques des taux d'évolution entre les dates en (m/an). Pour cela, DSAS requiert la création d'une géodatabase personnalisée, la création d'une ligne de base (*Baseline*), la création de transects équidistants et perpendiculaires aux TDC, mais aussi une estimation de marge d'incertitude liée à la méthode ainsi que le choix des statistiques de calculs des taux d'évolution.

Une fois que toutes les étapes sont correctement renseignées, l'extension DSAS génère de manière automatique des transects perpendiculaires aux linéaires côtiers selon l'équidistance choisie (10m), mesure les écarts entre les traits de côte et effectue les calculs statistiques des taux d'évolution.

5.1.3. Les indices calculés

L'interprétation des résultats s'est effectuée de deux manières différentes suivant une échelle de temps. La première consiste à calculer l'écart entre deux traits de côte (deux dates différentes) et la deuxième prend en compte tous les traits de côte de la période considérée (1973-2022). Pour cela, nous avons choisi pour chaque représentation l'indice le plus approprié c'est-à-dire le plus pertinent. Il s'agit notamment de l'EPR (*End Point Rate*) pour l'intervalle entre deux traits de côte et de LRR (*Linear Regression Rate-of-change*) pour la représentation globale des traits de côte de la série.

L'EPR reste un bon indice pour mesurer l'écart entre deux traits de côte successifs, car elle permet de montrer le rapport de la distance qui existe entre la date la plus ancienne et celle la plus récente (Himmelstoss *et al.*, 2017 ; Thior., 2020). C'est dans ce contexte que nous l'avons utilisé pour calculer les écarts entre 1973 et 1990 ; 1990 et 2009 ; 2009 et 2022.

Concernant LRR, il permet d'évaluer les variations de tous les traits de côte sur toute la période considérée. C'est-à-dire l'ensemble des éléments de la série de l'étude.

5.1.4. La phase pré-calcul

L'utilisation de l'extension DSAS requiert au préalable la création d'une géodatabase

personnalisée. Il s'agit donc de créer dans un premier temps une ligne de référence nommée *Baseline* ou la ligne de base ; ensuite de créer des lignes de références déjà numérisées par ArcGis appelé *Shorelines*. Ces lignes de références correspondent dans notre étude aux différents traits de côte déjà digitalisés. Ainsi, pour stabiliser cette entité spatiale nous avons créé une zone tampon appelée *Buffer_Shorelines* dans laquelle nous avons la *Baseline* et les *Shorelines*.

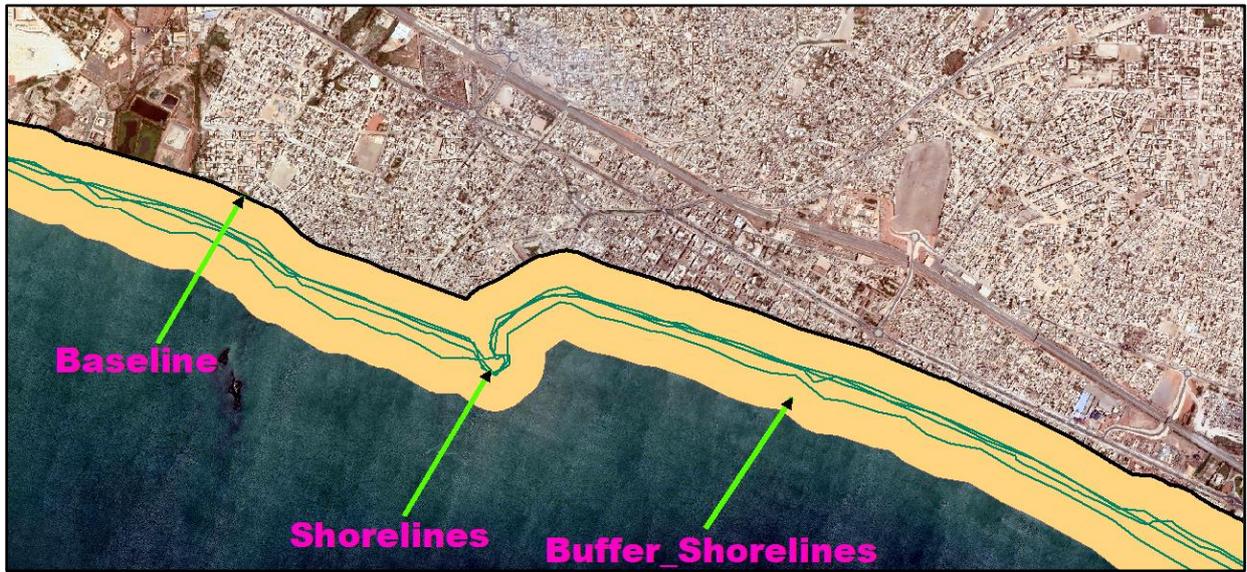


Figure 6 : Les composantes (entités) d'une géodatabase personnalisée

5.1.5. La *Baseline*

Elle correspond à une ligne numérisée sur ArcGis à partir de laquelle l'extension (DSAS) fixe et génère des tracés (transects) perpendiculaires à tous les traits de côte numérisée sur la géodatabase. La *Baseline* doit être parallèle au rivage pour permettre aux transects de prendre repère pour couper l'ensemble des traits de côte. A cause de certaines failles ou des déformations au niveau de la côte, les transects peuvent subir des erreurs. C'est-à-dire, certains transects peuvent ne pas traverser tous les traits de côte ou bien se croiser. Dans ce cas de figure, des corrections sont nécessaires pour les redresser ou les supprimer.

5.1.6. Les *Shorelines*

Les *Shorelines* correspondent aux tracés linéaires (traits de côte) qui sont numérisés dans la géodatabase personnalisée et doivent être impérativement parallèles à la *Baseline*. Elles doivent être au minimum deux tracés, à des dates ou des heures différentes pour permettre à l'extension de calculer les écarts selon l'indice choisi (EPR et LRR).

5.1.7. Les Buffers_Shorelines

Il s'agit d'une zone tampon qui entoure l'ensemble des *Shorelines* et de montrer aussi de quel côté la *Baseline* sera tracé (à côté de la terre ou à côté de la mer). Ce segment circonscrit va permettre à DSAS d'effectuer les mesures de variation du trait de côte déjà réalisé. A ce sens, toutes les *baselines* ont été tracées à côté de la terre de la zone tampon avec une distance de 150m, soit 1,5km qui la séparent des *Shorelines*.

5.1.8. Les calculs statistiques avec DSAS

Pour effectuer les calculs statistiques avec DSAS, il est obligatoire de passer par le pré-calcul qui permet la configuration ou le paramétrage de l'extension. D'abord la mise en place des transects est effectuée, ensuite le calcul des indices (EPR et LRR) et enfin procéder à la représentation graphique des résultats obtenus en se focalisant sur la pertinence de l'indice.

5.1.9. La mise en place des transects

Les transects sont les tracés perpendiculaires aux entités linéaires (trait de côte) et à la *Baseline* qui permettent à DSAS de mesurer la variation des taux d'évolutions du trait de côte. Ils sont générés de manière automatique par l'extension en respectant les différentes étapes de la manipulation. L'équidistance entre les profils (transects) est de 10m et long de 300m. De ce fait, tous les transects doivent couper les traits de côte qui les opposent. Mais, il peut arriver parfois que certains transects soient aberrants suite à l'existence d'une ouverture d'embouchure ou bien de la sinuosité de la frange côtière pouvant entraîner des ruptures avant même leur intersection sur le *Shorelines* (Thior, 2020). Ces défaillances nécessitent d'être supprimées ou corrigées, car elles peuvent entraîner des erreurs ou des valeurs nulles sur le résultat de calcul des indices.

5.2. Le calcul des indices : EPR et LRR

Après la mise en place des transects, DSAS effectue automatiquement le calcul en fonction des indices pris en compte et affecte le résultat dans la table attributaire d'*ArcGis*. L'extension prend en compte tous les transects pour faire ressortir en moyenne les types d'évolutions et la classification se fera en fonction des indices plus pertinents. Dans le cadre de notre étude, il s'agit notamment de l'EPR (*End Point Rate*) et de LRR (*Linear Regression Rate-of-change*).

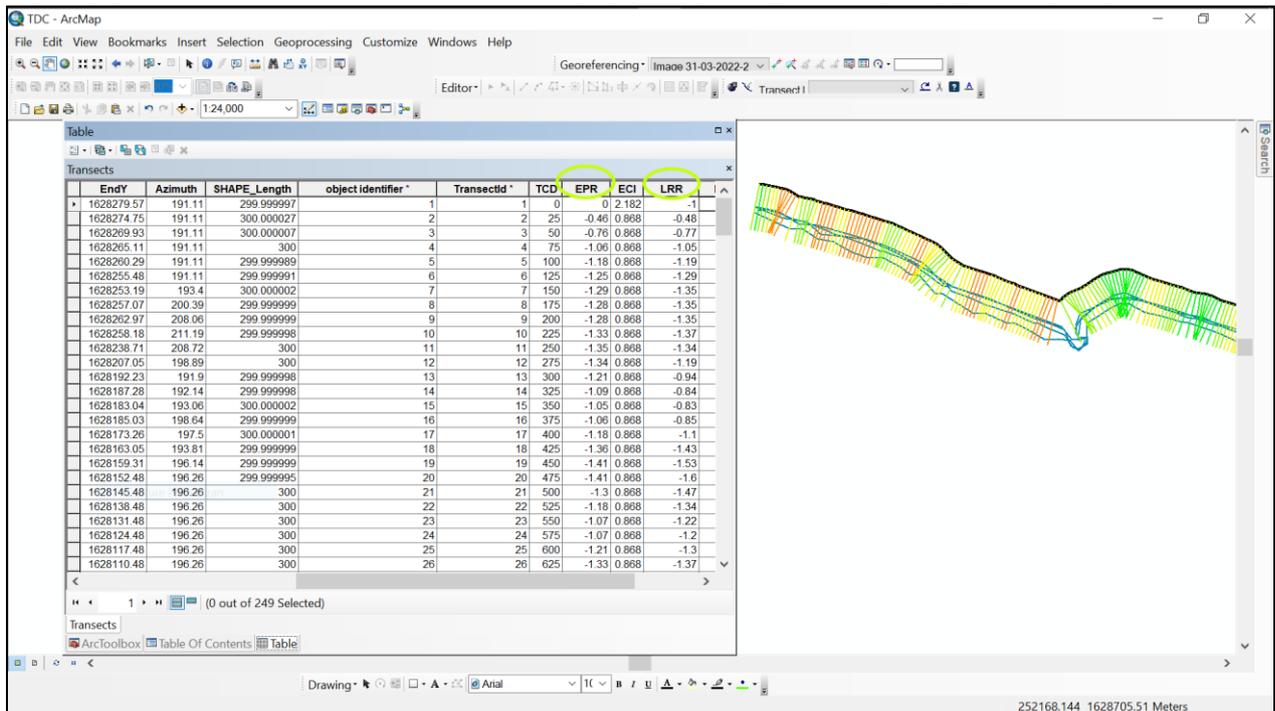
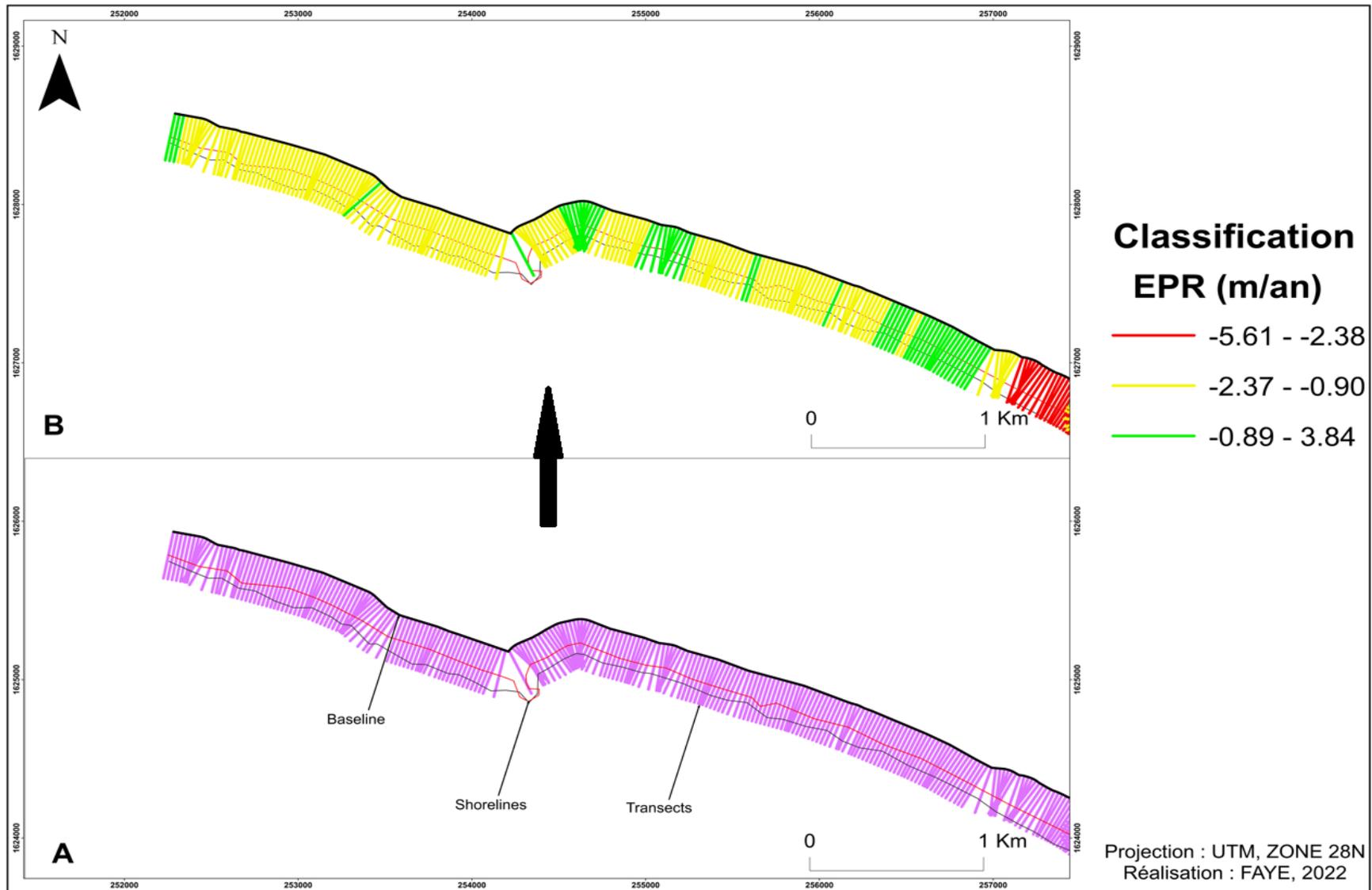


Figure 7 : Table attributaire des indices *EPR* et *LRR*

5.3. La représentation graphique

La représentation graphique repose sur les résultats statistiques obtenus après le calcul des indices. Elle permet de visualiser les variations des traits de côte sous plusieurs formes de graphique. Ainsi, dans cette étude, la représentation basée sur la classification des transects sur ArcGis 10.5 est utilisée, des indices notamment l'*EPR*, qui permet de visualiser l'évolution entre deux traits de côte successifs (carte 7).



Carte 7 : Représentation graphique des transects initiaux (A) et des transects classifiés (B) de l'EPR

La représentation graphique permet de voir l'évolution de cette frange côtière par segment entre deux dates à travers l'indice des *End Point Rate (EPR)*, alors que le *Linear Regression Rate-of-change (LRR)* met en évidence l'évolution de la plage sur toute la période correspondante.

5.4. Les marges d'incertitudes

En cinématique du littoral, les sources d'erreurs sont intégrées dans l'analyse des résultats surtout dans les côtes très dynamiques (Crowell *et al.*, 1991). Ces erreurs sont souvent liées à l'acquisition des images, au positionnement du trait de côte notamment avec les perturbations météo-marines, mais aussi lors de la numérisation du trait de côte sur ArcGis. En effet, une bonne analyse et interprétation des résultats de l'analyse diachronique requiert une connaissance de la marge d'erreur (Juigner, 2012), qui sera prise en compte. Ce sont les marges d'erreur qui permettent de caractériser la situation (érosion, stabilité, accrétion) sur une période bien déterminée (Thior, 2020). C'est ainsi que les erreurs les plus évidentes dans cette cinématique du trait de côte sont les erreurs techniques et de positionnement du trait de côte.

5.4.1. Les erreurs techniques

L'acquisition des images multi-dates à des sources différentes sont à l'origine d'éventuelles erreurs lors de l'interprétation des résultats. La superposition de ces images nécessite une rigoureuse correction géométrique. Si on prend l'exemple des images Landsat utilisé dans le cadre de cette étude, tous les éléments au sol n'ayant pas la taille supérieure ou égale à la résolution spatiale de 30m, ne seront pas pris en compte sur l'image. Ces erreurs sont liées au pixel, qui laisse une différence minimale entre la dimension réelle et la résolution spatiale des objets linéaires (trait de côte), d'où l'importance du géoréférencement.

Il peut arriver aussi lors de la numérisation du trait de côte sur *ArcMap* qu'il ait des décalages. En effet, l'auteur de l'exercice peut manquer de visibilité de la ligne de référence à cause de la sinuosité des marqueurs possible ou bien de la lumière de l'écran de l'ordinateur. Il est donc beaucoup plus prudent de répéter l'opération de digitalisation du même trait de côte sur un autre écran afin de voir les écarts entre eux pour pouvoir définir les erreurs (Juigner, 2012 ; Thior, 2020).

5.4.2. Les erreurs météo-marines

Etant donné que la ligne de référence utilisée est la ligne instantanée du rivage, il est important de signaler les erreurs liées à la variation des conditions météo-marines. Elles sont prises en compte, car le référentiel utilisé est une limite d'humectation (ligne instantanée de rivage). Dans ce contexte de type microtidale à Rufisque, l'erreur est liée à la fluctuation des marées

correspondant à la variabilité horizontale de la position du littoral due aux marées est définie par Diaw *et al.* (1997) en fonction de la pente (θ) et de la hauteur d'eau (h). En effet, le régime des marées à Rufisque est de type semi-diurne. Les marées de vives-eaux se produisent deux fois par mois et le marnage oscille entre 0,5 m (période de mortes-eaux) et 1,6 m (période de vives eaux), ce qui permet de qualifier ces côtes de microtidales (Bakhoum *et al.*, 2017). Le but de la cinématique du littoral est de travailler sur des images ayant des conditions météo-marines similaires ; ce qui n'est pas facile à cause de la disponibilité des données. L'approche choisie dépend de la nature de la côte (sableuse/rocheuse ; macrotidale/microtidale ; dynamique/fixe, etc.), pour définir une ou plusieurs lignes de références. De ces protocoles d'extractions, découlent ainsi les marges d'erreur qu'il faut impérativement prendre en compte.

5.4.3. L'estimation des marges d'erreurs

La marge d'erreur résulte de la conjonction d'incertitude liée à la diversité des sources d'acquisition et à la qualité des images. Ainsi, dans l'analyse diachronique, tous ces éléments sont des facteurs de décalages supplémentaires qu'il convient d'évaluer avant de tirer des conclusions sur la cinématique du littoral. En effet, les images utilisées n'ont pas la même résolution spatiale. Les images obtenues par *Google Earth* sont meilleures que celles issues de *Landsat* en termes de résolution spatiale. Le choix de l'image *Landsat* est justifié d'abord par l'absence de données pour les dates anciennes (1973, 1990), puis la nécessité de travailler sur la période intermédiaire (2009) et leur importance dans l'analyse de l'évolution du trait de côte dont la dynamique est importante dans la zone d'étude. La résolution spatiale des images *Landsat 5* de 30m va dissimiler une bonne partie des images issues d'une résolution de 79m. Il en est de même pour les images *Google Earth* de 2022 (60cm) et celles *Landsat 5* de 2009 (30m). Les marges d'erreurs les plus importantes liées aux pixels sont notées uniquement aux intervalles d'analyses suivantes : 1973-1990 et 2009-2022.

5.4.4. Prise en compte de la marge d'erreur

A la synthèse de tous les critères d'identification du trait de côte possible sur le littoral de Rufisque, la ligne instantanée de rivage est choisie comme référentiel de trait de côte. En effet, elle est visible sur toutes les données géospatiales utilisées (images *Landsat*, *Google Earth*). Les différentes manipulations faites nous ont permis d'identifier trois sources d'erreurs : géoréférencement ; digitalisation et la variation de la marée. Le cumul de ces erreurs donne l'erreur globale appelée Erreur de Position Globale du Trait de côte (EPGT ou Ept). Elle est obtenue (EPGT) en calculant la racine carrée de la somme des carrés des erreurs identifiées :

pixel, géoréférencement, digitalisation, et l'oscillation de la marée selon Juigner, (2012) ; Fletcher *et al.*, (2003) ; Thior, (2020).

- L'erreur du géoréférencement est appelée *RMSE (Root Mean Square Error)* : Pendant le géoréférencement sur *ArcGis* ou *ENVI*, le logiciel calcul automatiquement l'erreur liée aux calages de points pour effectuer la correction géométrique.
- L'erreur de la digitalisation est aléatoire lors de la numérisation des traits de côte. C'est pourquoi il est important de l'estimer dans l'analyse des résultats. En effet, il est recommandé de faire l'opération de la numérisation à plusieurs reprises. La numérisation du trait de côte aux dates retenues a été répétée pour estimer la marge d'erreur induite par l'opérateur lors de la numérisation sur l'écran. La numérisation du trait de côte par le même opérateur peut être variable dans le temps, mais aussi dans le type d'ordinateur ou la nature de l'écran, etc. cette répétition de l'exercice a permis de calculer l'écart type d'intervalle de positionnement ; en additionnant les intervalles de variation pour chaque ligne de rivage, on obtient la marge d'erreur. La marge d'erreur émanant de la numérisation est obtenue comme suit :

$$\text{marge d'erreur} = \text{moyenne} + 2 \text{ écarts types} + \text{taille pixel}$$

Par exemple pour l'image de 1990, nous avons :

Moyenne = -1

2écarts types = 0,1

Taille du pixel = 30

Pour calculer la **marge d'erreur** = $-1 + 0,1 + 30 = 29,1$

- L'erreur d'oscillation de la marée est obtenue par rapport à la hauteur (h) d'eau et de la pente (0) signalée au-dessus (erreur météo-marines). Dans les côtes microtidales de Rufisque, le marnage oscille entre 0,5 m (période de mortes-eaux) et 1,6 m (période de vives eaux). Le niveau moyen de la marée à Dakar est de 1,01 m. Notons qu'il n'y a pas de différence significative dans les heures et les hauteurs de marée entre Dakar et Rufisque. Les courants de marée sont faibles avec des vitesses maxima inférieures à 0,15 m.s-1 (Domain, 1976 ; Rebert, 1983).

L'incertitude totale (Ept), estimée en mètre est le résultat de toutes les erreurs qui ont été précédemment estimées. Selon Taylor, (1997) ; Fletcher *et al.* (2003), elle est obtenue selon l'équation suivante :

$$E_{pt} = \sqrt{E_g^2 + E_d^2 + E_o^2} \quad :$$

E_{pt}=Erreur de positionnement globale du trait de côte ;

E_g=Erreur de géoréférencement (RMS) ;

E_d=Erreur de digitalisation ;

E_o=Erreur d'oscillation de la marée ;

E_a=Erreur globale en moyenne (m/an) ; **t**=Période de l'étude.

L'incertitude moyenne annuelle (E_a) est calculée pour mieux analyser les taux d'évolution annuels du trait de côte. Elle est exprimée en mètre par année (m/an) selon l'équation suivante :

$$E_a = \frac{\sqrt{E_{pt1}^2 + E_{pt2}^2}}{\text{Période (t)}}$$

Par exemple pour la période 1973-1990 :

- Pour l'image de 1973, nous avons :

Erreur de géoréférencement = 0,2 ;

Erreur de digitalisation = 78,04 ;

Erreur d'oscillation de la marée = 1,01.

- Pour l'image de 1990, nous avons :

Erreur de géoréférencement = 0,2 ;

Erreur de digitalisation = 29,1 ;

Erreur d'oscillation de la marée = 1,01.

Pour calculer l'erreur de la période (1973-1990), on a :

$E_{pt} \text{ 1973} = \sqrt{(0,2)^2 + (78,04)^2 + (1,01)^2}$	Et	$E_{pt} \text{ 1990} = \sqrt{(0,2)^2 + (29,1)^2 + (1,01)^2}$
$E_{pt} \text{ 1} = 1,01$		$E_{pt} \text{ 2} = 0,2$
$E_a \text{ (m/an)} = \frac{\sqrt{1,01^2 + 0,2^2}}{17} = 0,06$		

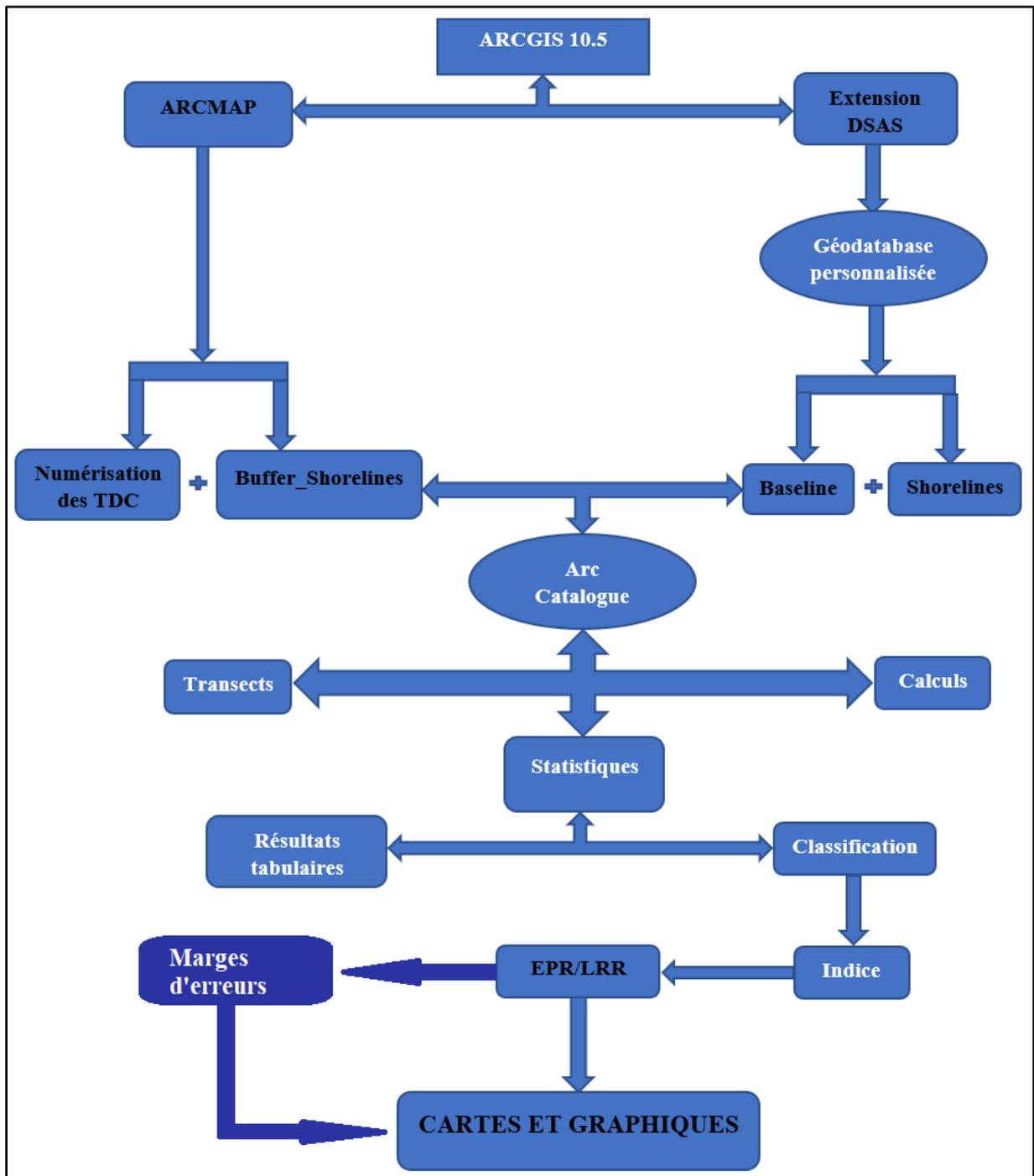


Figure 8 : Synthèse de la méthodologie de calcul de l'évolution du trait de côte

Conclusion du chapitre 2

En résumé, cette étude repose sur une démarche méthodologique composée de : la revue bibliographique, la collecte et le traitement des données de terrain (observations directes, questionnaire, guide d'entretien), des données géospatiales (*Landsat* et *Google earth pro*). Ainsi, les manipulations avec le modèle de calcul de variation du trait de côte (*DSAS*) ont permis

d'aboutir aux résultats statistiques de sa variation aboutissant à une analyse de son évolution. A partir de ces résultats, des représentations graphiques ont pu être réalisées.

Conclusion de la première partie

Ce travail de recherche est élaboré à travers un cadre théorique et méthodologique de recherche. Ce qui a permis de mieux comprendre le fonctionnement des littoraux et de cerner la zone en question. La ville de Rufisque appartient à l'ère géologique du Tertiaire au Quaternaire et se situe sur des formations marno-calcaires. Les activités socioéconomiques notées sur le littoral et les autres activités connexes, augmentent la sensibilité du milieu marin. D'où la nécessité d'analyser l'ensemble des caractéristiques qui contribuent à la mobilité du trait de côte à partir d'une démarche basée sur des enquêtes socioéconomiques et des techniques d'analyse spatiale.

DEUXIÈME PARTIE : LES CARACTÉRISTIQUES MORPHODYNAMIQUES ET ÉVOLUTION DU LINÉAIRE COTIER DU LITTORAL DE RUFISQUE

Le littoral de Rufisque, à l'image de tous les littoraux sénégalais, s'inscrit dans une dynamique régie par des facteurs naturels et anthropiques. Dans cette partie, il s'agit de mettre en évidence l'ensemble des facteurs qui interviennent dans le processus morphodynamique du littoral de Rufisque afin d'analyser l'évolution du trait de côte.

CHAPITRE 3 : LES FACTEURS EXPLICATIFS DE L'ÉVOLUTION

MORPHODYNAMIQUE DU LITTORAL DE LA VILLE DE RUFISQUE

Les espaces littoraux connaissent de perpétuelles modifications suite à leur fort dynamisme du fait qu'ils sont fréquemment soumis à divers risques naturels, notamment les inondations, les effets des tempêtes et l'érosion côtière (Cariolet, 2011 ; Gibbs *et al.*, 2017 ; Stenchev *et al.*, 2017, Thior, 2020). Ces risques naturels sont exacerbés par les aménagements humains sur cette entité linéaire. De ce fait, le littoral de Rufisque présente un certain nombre de témoins qui sont à l'origine de la variation de la ligne de rivage : sédiments de plages, formes d'érosion de substrat dur, réalisation des structures de protection, etc. La variation du niveau de la mer, les houles, vagues, vents, courants de marée, etc., ainsi que les actions humaines, sont à l'origine de plusieurs perturbations de l'espace côtier. L'objectif de ce chapitre est de mettre en évidence les facteurs d'ordres naturels et anthropiques contribuant à l'évolution morphodynamique du littoral de Rufisque.

I. Les facteurs morphodynamiques naturels du littoral de Rufisque

La dynamique littorale est souvent associée à une évolution qui peut se traduire par une progression ou une régression (Barry *et al.*, 2019). En effet, la dynamique est un ensemble de facteurs, qui, corrélés, créent une évolution. Cette définition peut être assimilée à la problématique de la dynamique littorale, qui traduit les changements induits suite aux contacts entre les différentes entités du littoral (terre, mer, atmosphère et l'homme). Ainsi, les facteurs explicatifs de la dynamique littorale se résument aux éléments tels que les houles, les vents, les courants de marée, les variations du niveau de la mer, etc., cumulé aux actions humaines. La variation de la position du trait de côte est une des conséquences de cette dynamique influencée par l'action des agents naturels et des activités humaines.

1.1. Les agents hydrodynamiques

L'évolution morphodynamique du littoral de Rufisque est régie par l'action de la houle, de la vague, du vent, de la marée ainsi que les courants marins (Diop, 1995). A cela, s'ajoute la variation du niveau de la mer et la faible topographie du milieu.

1.1.1. Les houles

Les houles, qu'elles soient d'origine lointaine ou locale, sont engendrées par l'action du vent à la surface de l'eau (Sarr, 1998 ; Thior, 2020). Ainsi, la côte de Rufisque, à l'instar de toutes les côtes Ouest-africaines, n'échappe pas aux conséquences de la houle du nord-ouest et du sud-ouest issue des hautes latitudes des deux hémisphères. La houle, par les courants qu'elle génère,

y est le principal agent responsable des mouvements ou transports de sédiments. Son déferlement (vague) à la côte induit : des courants au large vers la côte ou courants d'entrainements ; des courants à la côte vers le large ou courants sagittaux, mais aussi des courants parallèles à la côte ou courants de la dérive (figure 9). Ce dernier favorise par son action le transport ou le transit sédimentaire de la côte. Elle (la houle) contrôle la morphologie de la plage et détermine en grande partie l'érosion littorale, l'accrétion ou la stabilisation de la côte (Diop, 1995).

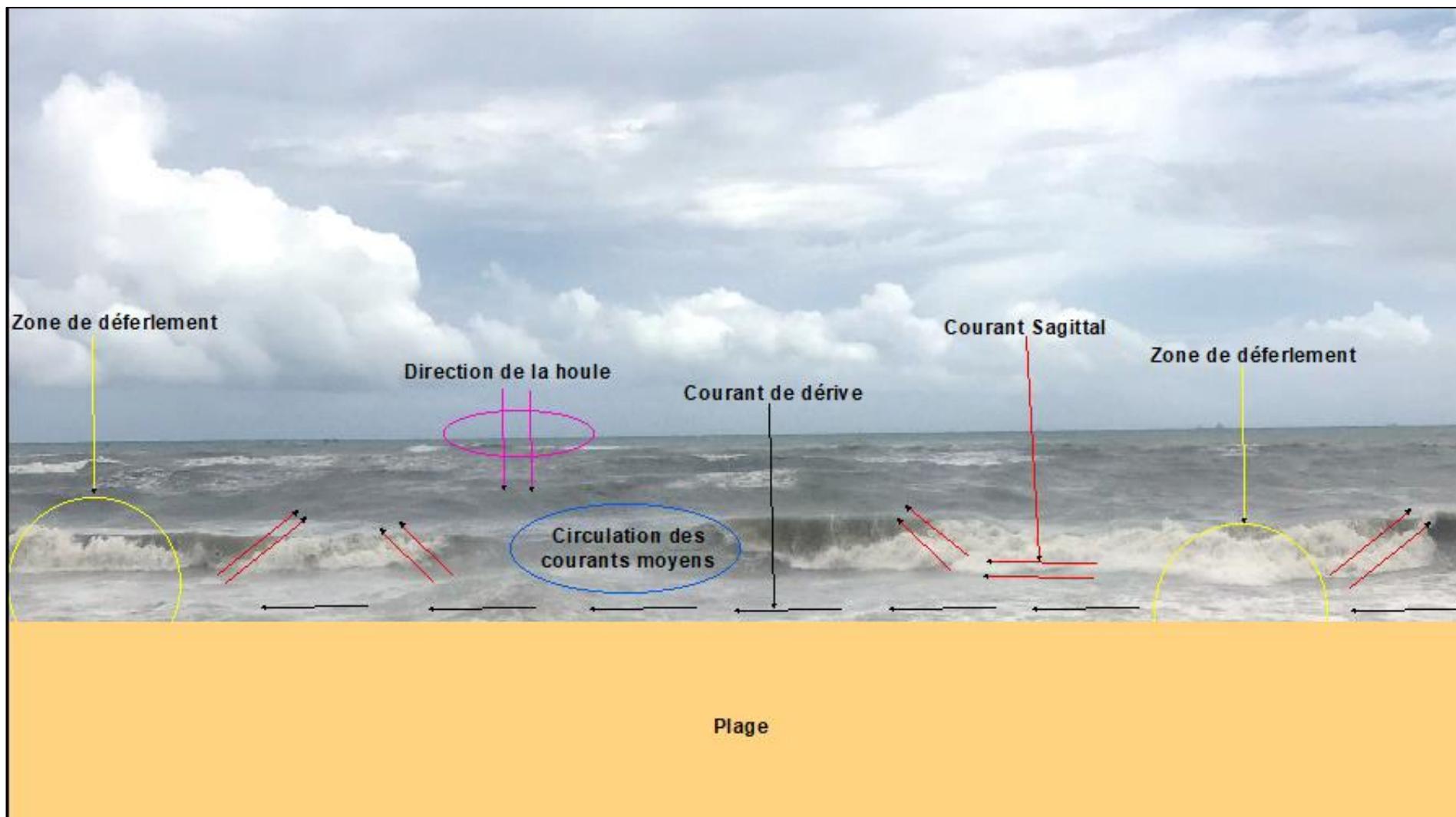


Figure 9 : Des courants générés par la houle (Faye, septembre 2022)

Sur la côte de Rufisque, la houle se manifeste de deux manières (Universalis.fr ; Diop, 1995) :

- la houle courte générée par un vent local avec des dépressions moins creuses, une fois qu'elle se rapproche de la côte, elle touche le fond et se transforme en vagues et déferle aux alentours de 15 à 20 km/h ; c'est la houle la moins puissante, mais elle peut générer des vagues creuses ;
- la houle longue générée par les dépressions plus creuses, plus puissantes et épaisses qui se déplacent très rapidement au large ; elle peut se dresser sur une distance de 156m ou plus ; si elle se rapproche de la côte, elle est ralentie et cambrée pour se transformer en vagues et déferle à la côte ; elle est plus rapide que la houle courte.

Des auteurs comme Barusseau (1980) et Sall (1982) ont estimé la capacité de transport de ces courants. Ainsi, la côte Sud de la presqu'île du Cap-Vert est caractérisée par des transports sédimentaires plus limités : 10 500 à 300 000 m³/an contre 200 000 à 1500 000 m³/an sur la côte nord (Diop, 1995). Ces données montrent une nette différence entre la côte nord et sud (carte 8). De ce fait, l'action efficace et combinée des vagues et des houles du Nord et du Sud contribue ainsi à dégager les sédiments meubles tombés au pied des microfalaises par effet d'éboulement. Ce qui engendre des dynamiques contradictoires sur la même côte (Diop, 1995 ; Thior, 2020).

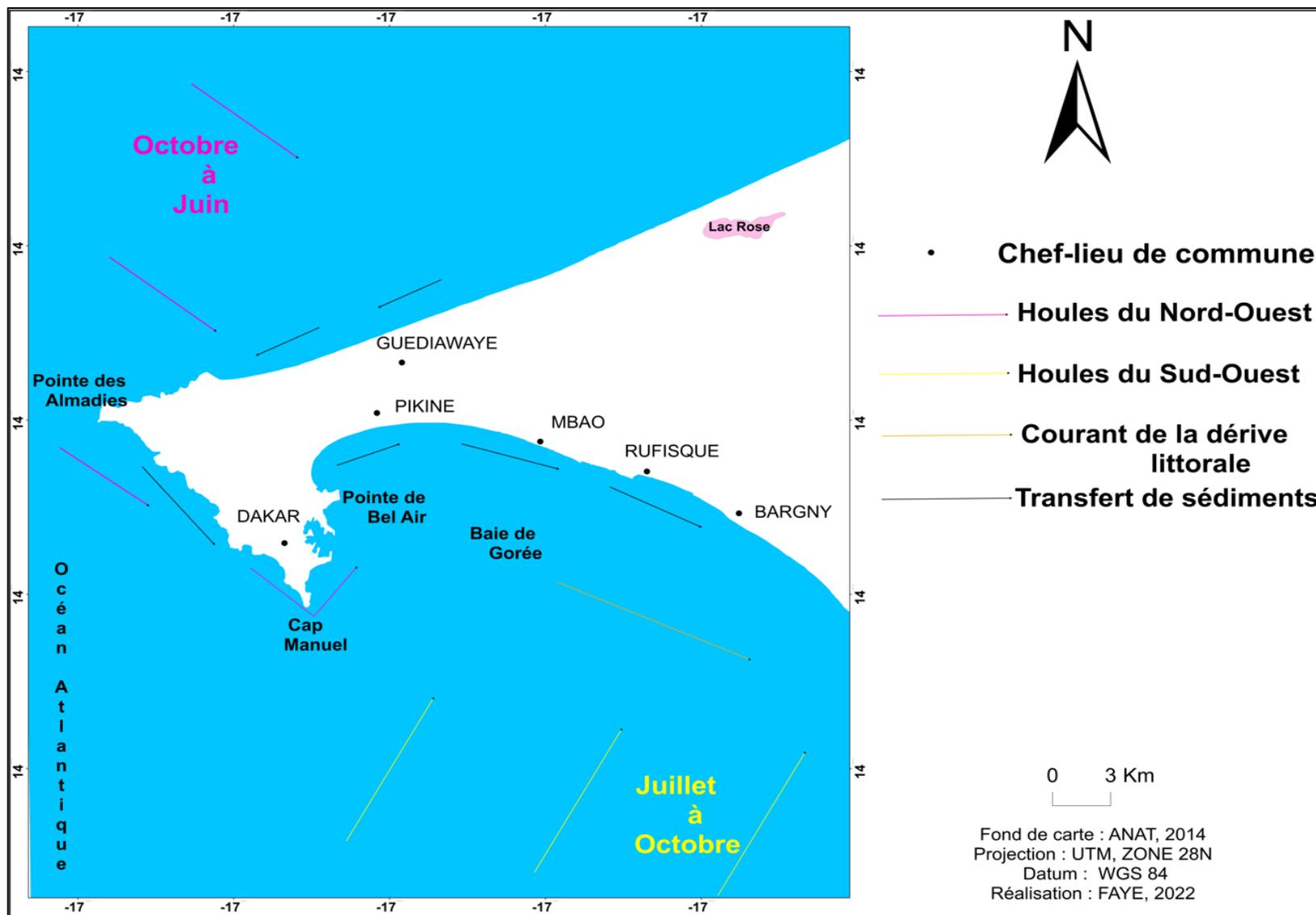
1.1.1.1. Les houles du nord-ouest

D'origine boréale, les houles du nord-ouest sont présentes presque toute l'année et proviennent au nord de l'océan atlantique entre 320°N à 20°E. La présence annuelle de ces houles est liée à la prédominance des vents d'alizés. Une fois à la côte, elles subissent les phénomènes de réfraction et effectuent ainsi une rotation autour de la tête de la presqu'île du Cap-Vert suite aux diffractions sur trois sites géomorphologiques : la pointe des Almadies, le Cap Manuel et la pointe de Bel Air (Riffault, 1980). En effet, les houles du nord-ouest subissent des modifications de direction et d'amortissement de leur vitesse avant d'atteindre la petite-côte au sud de la presqu'île du Cap-Vert (carte 8).

1.1.1.2. Les houles du sud-ouest

Elles sont issues de l'atlantique sud entre 180°N et 230°E et sont présentes entre juillet à octobre. Les effets de ces houles affectent quasiment la partie sud de la presqu'île jusqu'aux côtes de la Casamance (Diop, 1995). La grande côte nord n'est pas exposée à ces houles à cause de la diffraction qu'elles subissent au tour de la presqu'île du Cap-Vert (carte 8). Leurs manifestations correspondent à la saison des pluies (juillet à octobre) période pendant laquelle

une dispersion des sédiments sur l'étendue de la côte. L'influence de ces houles dans la côte de Rufisque s'explique par son ouverture à l'océan atlantique, mais aussi des modifications qu'elles subissent au niveau de la tête de la presqu'île. Ce qui fait que ces houles sont plus dangereuses dans cette zone, en causant plus de dégâts (humains et matériels) à la population locale et en accentuant l'avancée de la mer sur le continent (Diop, 1995 ; Sarr, 1998). Au-delà de ces deux types de houles qui caractérisent les paramètres morpho sédimentaires des côtes ouest-africaines à l'instar de celles du Sénégal, il y'a aussi les houles exceptionnelles. Comme leurs noms l'indiquent, elles ne sont pas fréquentes et se produisent généralement juste à la fin de l'hivernage, plus précisément entre octobre et décembre. En effet, elles seraient engendrées par des cyclones provenant de la mer des caraïbes.



Carte 8 : Schématisation des houles du nord et du sud-ouest observées sur le littoral de Rufisque

La houle joue un rôle déterminant dans le dynamisme sédimentaire des côtes Ouest-africaines. En effet, elle peut être d'origine locale, mais accentuée par les vents lointains. Les impacts issus des courants qu'elle induit peuvent engendrer des phénomènes d'érosion côtière, de transferts sédimentaires, mais aussi d'engraissements.

1.1.2. Les vents

Les vents peuvent être définis comme étant un déplacement d'une masse d'air consécutif, à des différences locales sous l'effet de la température et de la pression. Les vents font partie des agents les plus érosifs, même en zone côtière. Ils peuvent passer d'une légère brise à une forte tempête. Ils sont à l'origine des houles et de certaines agitations de la mer. Ils sont caractérisés par une vitesse et des directions différentes tout au long de l'année (figure 10). En effet, ils jouent un rôle important dans les conditions météo-marines de la côte de Rufisque. Ils peuvent être d'origine locale grâce à leurs basses altitudes, occasionnant les upwellings, mais aussi le processus de transfert sédimentaire dans la zone côtière. L'upwelling est particulièrement bien développé au sud de la presqu'île du Cap Vert. Il influe la morphodynamisme de la plage par la formation des dunes littorales par l'action du transport et le dépôt de sédiments. Le vent est donc responsable des échanges sédimentaires sur les parties supérieures de la plage. Dans la zone littorale de Rufisque, nous avons deux types de vents : les vents d'alizés et celles de mousson.

1.1.2.1. Les alizés

Les vents d'alizés proviennent de l'anticyclone maritime permanent : celui des Açores au nord-ouest. Les alizés maritimes sont issus de l'anticyclone des Açores comme direction dominante nord-nord-ouest. Ils sont présents durant la saison sèche, marquée par une faible présence de la mousson. L'anticyclone des Açores prend le dessus sur celui de sainte hélène pendant cette période. Ces vents apportent de la fraîcheur et de l'humidité à Rufisque grâce à la brise maritime. Les alizés maritimes jouent un rôle important dans le remaniement des sédiments des dunes et deviennent également destructeurs lorsque le climat est aride (Niang, 2017).

Or, l'alizé continental dit harmattan est caractérisé par un vent chaud et sec. Il apporte de la poussière venant de l'anticyclone du maghrébin avec, comme direction dominante nord-nord-est. Il est semi-permanent et moins influent sur la zone côtière car il souffle de direction nord-nord-est vers l'océan atlantique. Mais il reste un facteur érosif.

1.1.2.2. La mousson

Frais et humide, la mousson est issue de l'anticyclone de Sainte Hélène de direction sud-ouest. Elle crée les conditions favorables à des précipitations au Sénégal entre le mois de mai et octobre. Elle joue un rôle d'apaisement dans le transport de sédiments de plage, causé par le vent éolien. Mais, elle peut favoriser la migration du sable marin par le ruissellement des eaux pluviales.

L'interprétation du graphique ci-dessous (figure 10), montre que les vents sont relativement modérés avec une vitesse qui varie entre 3 à 6 m/s. Leur régime au niveau de la côte montre que la direction nord est dominante d'octobre à juin. Cette période correspond à la saison sèche caractérisée par la présence de l'alizé continental de direction nord-nord-est. Ces vents sont remplacés avec d'autres, de directions nord-nord-ouest où nous avons les flux d'alizé maritime qui provient de l'anticyclone des Açores. Dans ce graphique (figure 10), les vents les plus forts interviennent du mois de décembre au mois d'avril avec une vitesse de 6 m/s.

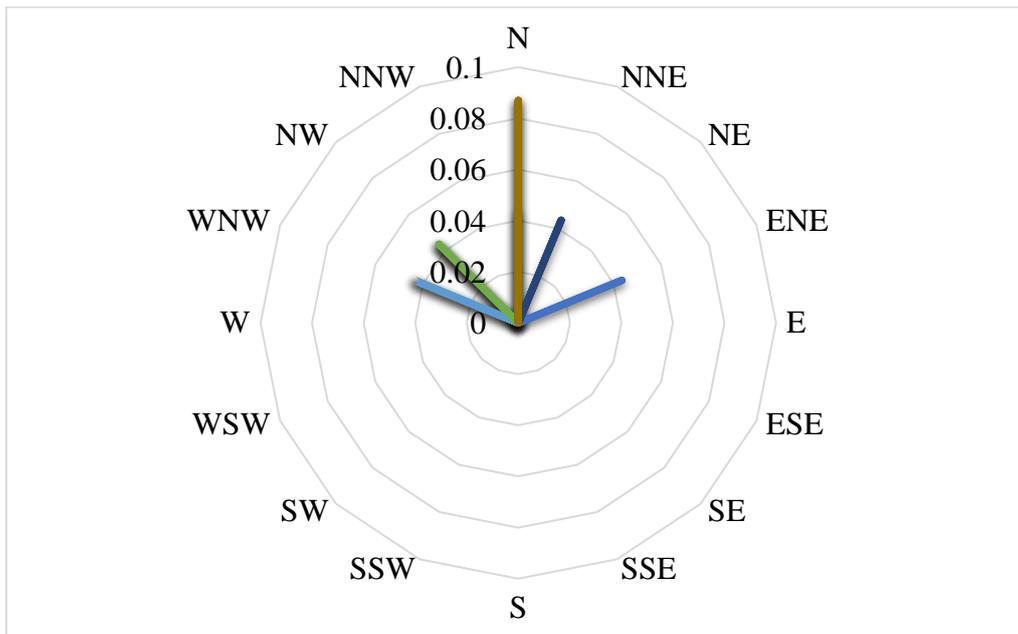


Figure 10 : Directions dominantes des vents à la station de Dakar-Yoff (2020)

Le vent est un agent déterminant dans le processus morphodynamique des plages. Son action traduit un processus de migration des sédiments marins vers le plateau continental. En effet, les vents qui viennent de la direction nord soufflent de la terre vers l'océan atlantique. De ce fait, ils opposent leur force et leur vitesse à celles du déferlement des vagues ; ce qui va forcément entraîner une diminution de la puissance du jet de rive. Cela aboutit à un appauvrissement

sédimentaire de la côte. Ces vents locaux sont aussi à l'origine de certaines agitations de la mer liées à la pression qu'ils exercent en surface, d'où la formation des vagues.

1.1.3. Les vagues

Les vagues sont des oscillations périodiques du niveau de la mer qui se manifestent de façon épisodique, en fonction de l'inégalité des pressions agissant sur la surface océanique. Elles sont caractérisées par le fait que le temps qui s'écoule entre le passage de deux crêtes successives est inférieure à 30 secondes. La distinction entre la houle et les vagues est que la première est une oscillation de profil sinusoïdal, liée à une dépression mobile et qui se propage sur de longues distances (Lacanausurfinfo.com, 2022). Or que les vagues qui correspondent à ce que les marins appellent « la mer du vent », sont des oscillations qui se forment sur place sous l'influence du vent local. En fonction des caractéristiques topographiques du milieu marin, il peut se produire une concentration ou une dispersion de l'énergie des vagues (Diatta, 2020).

Lorsque la vague déferle sur la côte, elle exerce une pression mécanique sur la roche existante ; et celle-ci est beaucoup plus importante lorsqu'elle est accompagnée de sédiments. De ce fait, lors du jet de rive, elle ramène des matériaux sédimentaires de la plage ; ce qui déstabilise les côtes. Sur les plages sableuses à l'image de celle de Rufisque, les modifications du littoral se manifestent lorsqu'il y a l'avènement des vagues dévastatrices. Or, les vents y occasionnant ces vagues dévastatrices se présentent généralement pendant la saison des pluies, particulièrement au mois d'août, avec d'importantes quantités de précipitations. Au Sénégal, les vagues engendrées par les vents locaux, sont parfois superposées aux houles qui se produisent sur de longues distances et les maximas s'observent lors des alizés du nord-est. Ainsi, l'érosion de la vague se manifeste plus au niveau de l'estran. Elle est moins forte au niveau des plages à pente douce comme c'est le cas de la plage de Bata (à Bargny), car le déferlement s'effectue à une certaine distance du cordon littoral (photographie 3. A). En revanche, elle (vague) exerce une violente pression sur les plages pentues où il n'y a pas assez d'espace de déferlement. En effet, la plage a même totalement disparu dans certains secteurs du littoral de Rufisque, à cause des blocs d'enrochement le long du rivage (photographie 3. B). Il faut noter aussi que les vagues sont en contact direct avec la limite côté mer des ouvrages de protection. De ce fait, l'énergie des vagues s'oppose à celles des blocs de basaltes mis en place en vue de protéger le littoral.



Photographie 3 : Plages à large estran (A) et absence d'estran (B). (Faye, septembre 2022)

Les manifestations de la vague ne sont pas les mêmes en fonction de la nature de la plage. Plus la côte dispose d'un large estran, plus elle est moins vulnérable à l'érosion. Or, à Rufisque, l'estran est très étroit sur certains secteurs de la côte.

1.1.4. Les courants de la marée

Les courants de marée ont pour origine l'attraction gravitationnelle de la lune et du soleil. Elles dépendent de l'ampleur du marnage (c'est-à-dire, la différence entre la marée haute et la marée basse) et de la nature de la côte (Thior, 2020). La force et la direction du courant évoluent en fonction de la marée. Il est plus remarquable près des côtes bordées par les mers influencées par la marée. Le courant de marée permet de varier l'amplitude d'oscillation des ondes de la marée et la topographie de la côte. Ce qui fait que les vagues vont se déferler sur une distance plus longue au niveau des plages à pente douce. Dans les côtes de Rufisque, nous avons l'existence de variations saisonnières du niveau moyen de la mer avec un minimum entre janvier et mars-avril et un maximum entre juillet et septembre, plus rarement novembre (Diop et Niang, 1995). Ainsi, le marnage oscille entre 0,5 m (période de mortes-eaux) et 1,6 m (période de vives eaux). Le niveau moyen de la marée à Dakar est de 1,01 m. Notons qu'il n'y a pas de différence significative dans les heures et les hauteurs de marée entre Dakar et

Rufisque. Les courants de marée sont faibles avec des vitesses maxima inférieures à 0,15 m.s¹ (Domain, 1976 ; Robert, 1983). Il faut noter aussi que la marée joue un rôle important dans l'érosion littorale des côtes de Rufisque par les courants qui la caractérisent. Ces courants peuvent favoriser le transit sédimentaire de la plage, surtout en période d'hivernage où les eaux de pluie sont cumulées aux grandes marées. Ce qui est à l'origine de beaucoup de dégâts au niveau de la zone littorale de Rufisque.

1.1.5. La dérive littorale

La dérive littorale consiste en un transit sédimentaire le long du littoral. Elle correspond au courant parallèle à la côte par obliquité des houles au rivage. La présence de tels courants, dirigés globalement du nord vers le sud, est attestée par les différentes flèches littorales allongées vers le sud, les plus longues étant la langue de barbarie et la pointe de Sangomar (Diop, 1995). Ainsi, les transports de sédiments dans le secteur de Rufisque seraient essentiellement dus aux courants perpendiculaires à la côte, lors des fortes houles pendant la saison des pluies et des départs de sédiments vers le large. En revanche, l'action de la dérive littorale serait faible et n'interviendrait qu'à long terme, pour modeler une morphologie de la baie. De ce fait, des possibilités d'une divergence des courants de la dérive littorale dans la zone de Rufisque sont constatées et seraient due à l'épanouissement des orthogonales de houle du nord-ouest après diffraction autour de la presqu'île du Cap-Vert, mais aussi à l'arrivée des houles du sud-ouest (Masse, 1968). Cet auteur considère que, entre Hann et Rufisque, la dérive littorale est faible et peut changer de sens.

1.1.6. L'élévation du niveau de la mer

La mer est une vaste étendue d'eau salée qui connaît des variations dans le temps et dans l'espace. La montée du niveau de la mer est un facteur primordial dans le processus d'érosion des plages, surtout dans les côtes à basse altitude. Ainsi, elle est à l'origine d'une avancée significative de la mer sur les côtes sénégalaises à l'image de Rufisque. L'élévation du niveau de la mer fait partir des conséquences directes du réchauffement climatique. D'après Cazenave, (2010), elle est principalement due à l'expansion thermique des océans, à la fonte des glaciers de montagne ainsi qu'aux marges des calottes glaciaires du Groenland et de l'Antarctique. De ce fait, lorsque le taux d'élévation du niveau de la mer s'accélère, il peut devenir de plus en plus le moteur des changements des espaces côtiers. Le GIEC (2010) a montré que les scientifiques qui s'intéressent à cette question sont désormais quasi unanimes sur la réalité du changement climatique et sur le rôle de l'Homme dans le réchauffement de la planète. Dans le rapport du GIEC (2014), l'estimation de la hausse serait comprise entre + 26 cm à + 98 cm d'ici 2100. Il

est important aussi de souligner que l'élévation du niveau de la mer n'est pas uniforme. En revanche, elle varie selon les régions de l'océan. Ainsi, selon la hauteur de la masse d'eau sous-jacente, la proximité par rapport à l'équateur, l'action des vents et grands tourbillons, l'élévation du niveau de l'eau peut être plus remarquable. Mais étant donné que les océans sont connectés, une élévation dans telle région aura des incidences sur les autres océans (Diatta, 2020). L'élévation du niveau de la mer a plus d'incidences sur les côtes à basse topographie à l'image de celle de Rufisque. Dans la zone de Rufisque, les conséquences de ce phénomène se manifestent par une avancée de la mer, matérialisée par une réduction de la plage. A la question : quelles observations faites-vous sur la plage ? Nous avons recueilli l'avis de la population résidante sur cette question (figure 11).

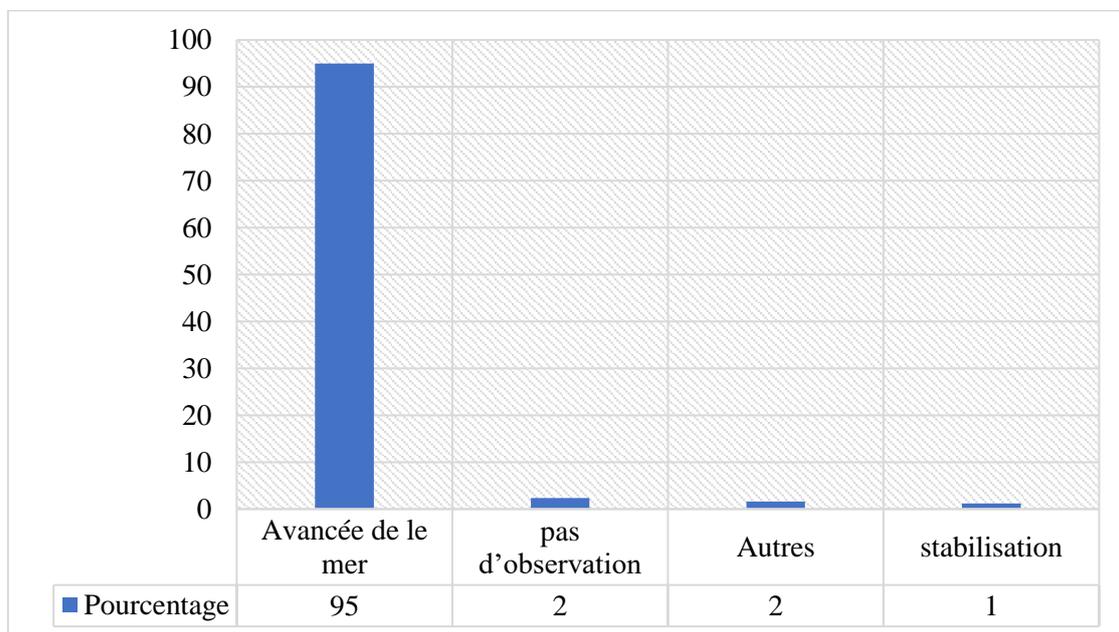


Figure 11 : Perceptions de la population sur les plages de Rufisque (Enquêtes Faye, 2022)

L'analyse de ce graphique permet d'avoir une idée sur les manifestations de l'élévation du niveau de la mer dans la zone. Selon nos enquêtes de terrain, 95% de la population interrogée disent avoir constaté l'avancée de la mer, contre 1% qui affirme une stabilisation de la mer et 2% de la population qui n'ont pas fait d'observation sur le phénomène. Les agents hydrodynamiques ne sont pas les seuls facteurs naturels qui régissent l'évolution des plages de Rufisque. En se basant sur la perception de la population interrogée, la question à savoir : Comment est le rythme d'avancée de la mer a été posée. La figure suivante (figure 12) illustre la perception de la population sur le rythme de l'avancée de la mer dans la zone. Elle montre que 46% de la population affirme que l'avancée de la mer est rapide ; contre 29%, qui disent

que l'avancée est lente et 13% affirme que le rythme de l'avancée de la mer est moyen. Les 12% de la population affirment qu'elle ne peut pas qualifier le rythme de l'avancée de la mer.

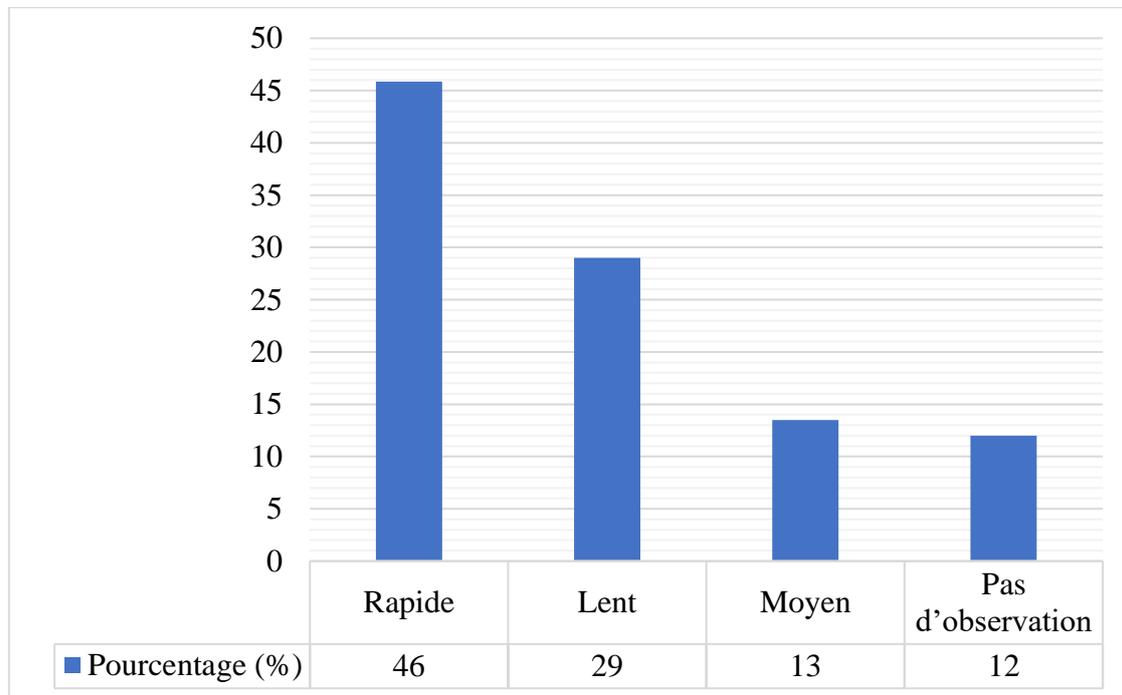


Figure 12 : Appréciation du rythme d'avancée de la mer par la population (Enquêtes Faye, 2022)

Ces résultats montrent que l'élévation du niveau de la mer se manifeste de manière différente selon les régions et elle est plus marquée sur les côtes à très basses altitudes. Ce qui n'est pas sans conséquences sur l'évolution morphodynamique des plages de Rufisque.

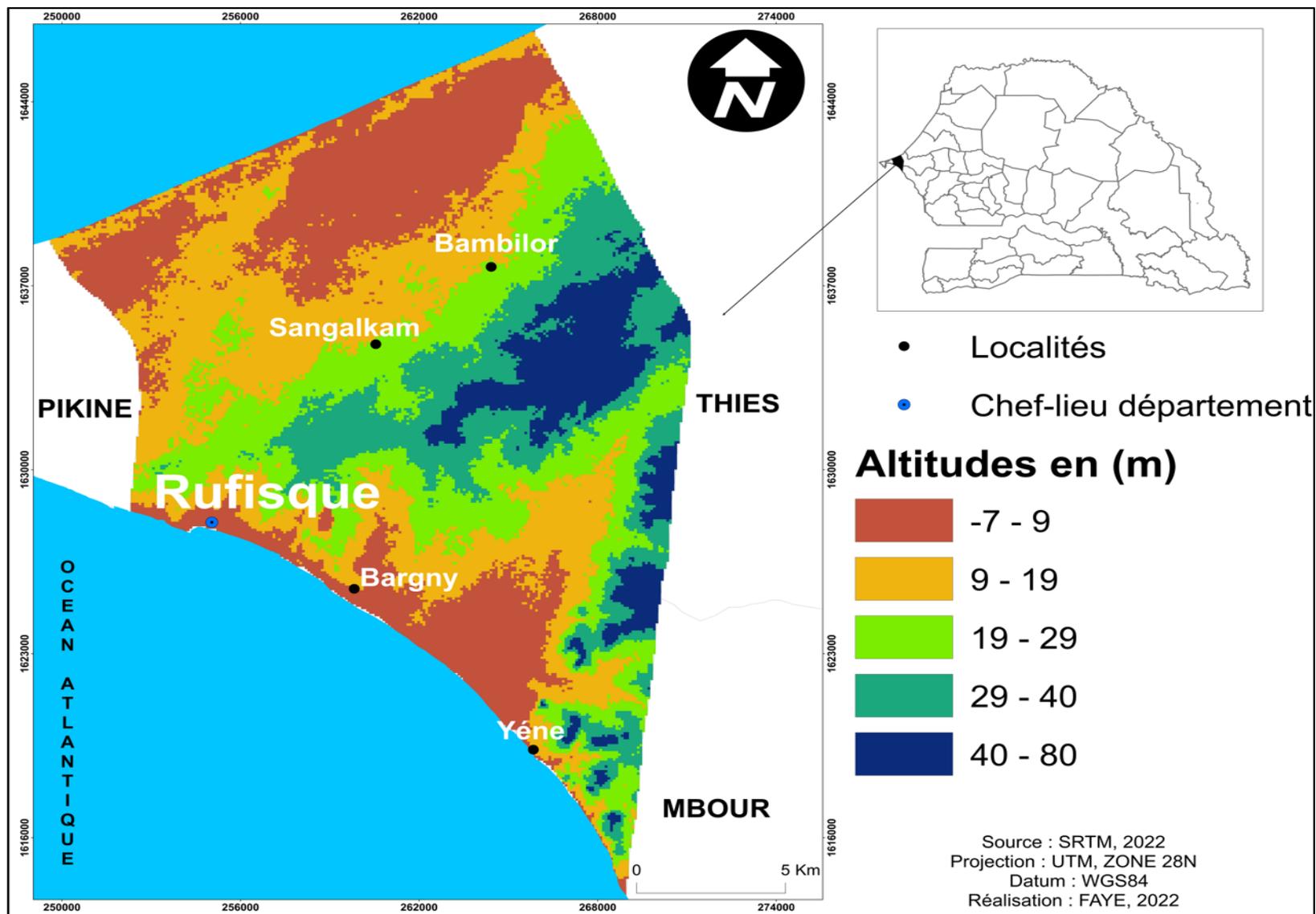
1.2. Les facteurs morphologiques

La forme du relief est un élément important qui intervient dans la dynamique des plages. En effet, la pente du milieu, les caractéristiques morphopédologiques sont des facteurs déterminant dans l'évolution du littoral de Rufisque.

1.2.1. La topographie du milieu

La pente est un facteur qui influence en grande partie l'importance de l'érosion par son action gravitaire, fournit de l'énergie érosive à l'eau (carte 9). En effet, le détachement des particules est lié à la vitesse de l'eau, car l'inclinaison du milieu agit directement sur la vitesse de ruissellement. Ce qui augmente l'énergie cinétique et accélère le transport des sédiments solides vers les zones basses. Ainsi, le relief de la région de Dakar est typiquement plat dans son

ensemble, subdivisé en trois zones topographiques distinctes : la tête de la presqu'île du Cap-Vert, avec une zone relativement culminant à 105m d'altitudes au niveau des mamelles ; une zone basse (les Niayes) couverte de séries de dunes ainsi que des dépressions inter-dunaires qui correspond à la zone littorale nord ; et enfin un relief constitué de collines et de plateau au sud de la presqu'île, vers l'Est entre Rufisque et Yenne. Il s'agit des plateaux relativement grands avec des pentes douces. Rufisque est dominée par un plateau de calcaire et marno-calcaire, dont l'altitude moyenne avoisine 35m. A l'Est, elle repose sur le plateau de Bargny, dans la zone littorale sud avec une faible topographie (-7m) inférieure à 5m. Ce qui explique entre autres l'avancée de la mer. Sa faible pente (-7m) favorise l'atterrissement (Laaroubi, 1997).



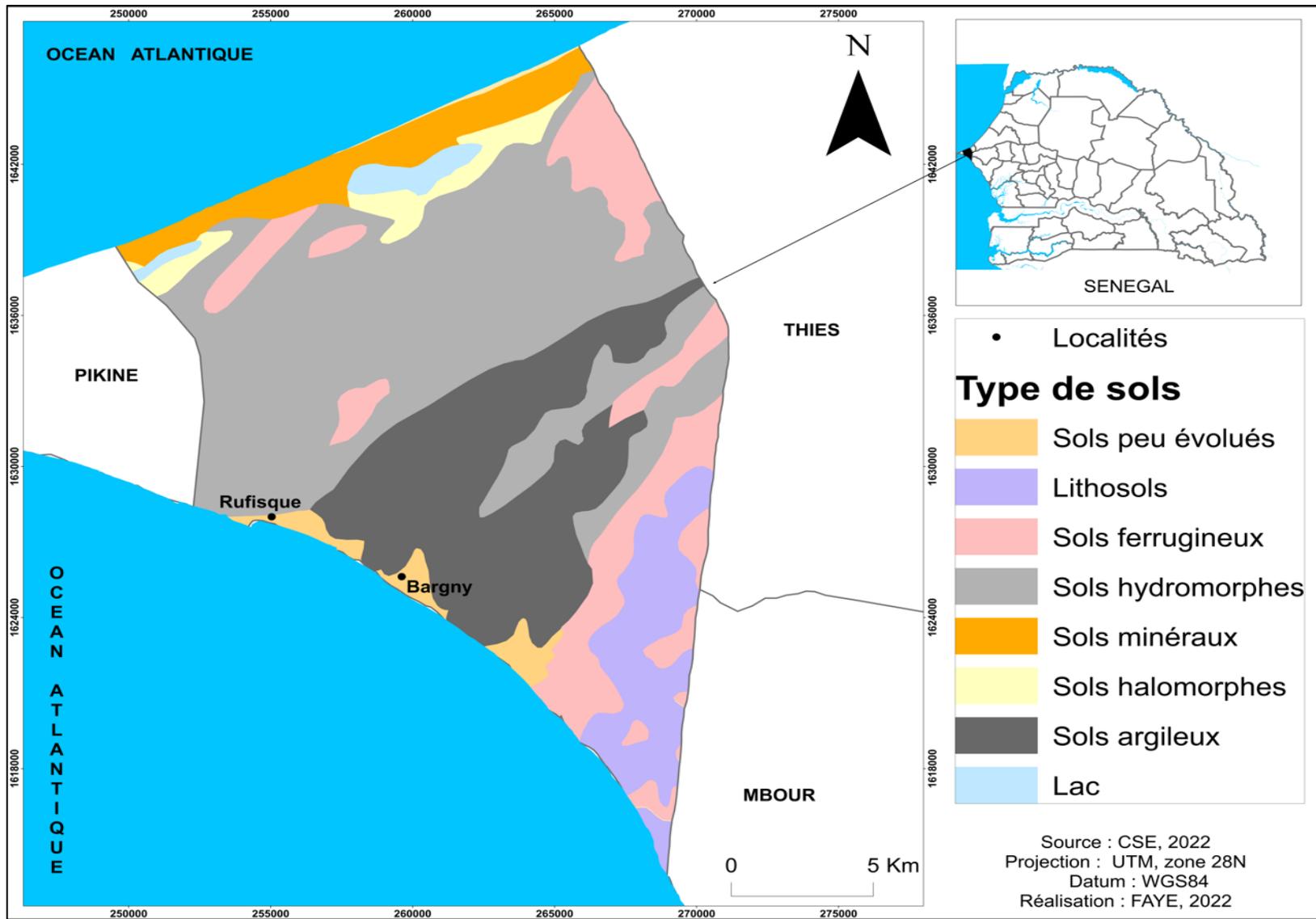
Carte 9 : Les altitudes par MNT du département de Rufisque

Les données SRTM obtenues au niveau du centre de suivi écologique (CSE) du Sénégal, montrent que le point culminant de ces plateaux est situé à 80m. Ces altitudes se trouvent généralement vers le nord-est non loin du plateau de Thiès et un peu vers le sud-est qui correspond aux massifs de ndiass. Les altitudes intermédiaires dominent la partie centrale. Elles varient entre 29 et 40m. La pente participe aux phénomènes d'érosion, du fait de son inclinaison et de sa forme, mais aussi de la prépondérance des paramètres topographiques. Car, la perte en matériaux sédimentaires de la plage favorise la sensibilité de la côte à l'érosion littorale.

Au-delà des caractéristiques topographiques du milieu, le processus d'érosion peut être étroitement lié au mode d'occupation des sols. En effet, l'occupation des sols contribue largement à l'aggravation ou à l'atténuation du rythme d'érosion et détermine aussi le degré de protection des sols par le couvert végétal.

1.2.2. Les caractéristiques morphopédologiques

La nature du sol est un facteur prépondérant au phénomène d'érosion. En effet, en fonction de sa perméabilité, elle participe à l'aptitude de détachements et du transport de ses sédiments. Cela veut dire que chaque type de sols réagit à l'attaque des eaux selon sa texture, sa structure, sa porosité et sa composition en matières organiques. Les caractéristiques morpho pédologiques de la zone d'étude, ont permis d'identifier huit (8) types de sols et d'avoir un aperçu sur les sols les plus sensibles au phénomène d'érosion côtière (carte 10).



Carte 10 : Les caractéristiques morphopédologiques du département de Rufisque

En effet, le risque d'érosion augmente quand le sol n'est pas suffisamment protégé par le couvert végétal ou les matières organiques ; car les résidus de la végétation protègent le sol de l'impact du déferlement de la vague.

Les sols hydromorphes occupent la partie centrale et dominent l'essentiel du département de Rufisque avec une superficie de 15609,1 ha. Leurs caractères humides, renferment un couvert végétal important, ce qui les permet de résister à l'érosion.

Quant aux sols ferrugineux, ils sont dispersés sur l'ensemble de la zone d'étude et occupent une superficie de 5226,7 ha. Par sa couverture géologique, Rufisque repose sur une alternance de marnes et de calcaires. Ce qui fait que les sols argileux (marno-calcaire) renferment des nappes d'aquifères importantes (SES, 2019).

Les sols argileux occupent une superficie de 7983,7 ha. Ils sont localisés généralement sur le plateau de Bargny, dominé par des roches de calcaires. Ils sont riches en humus et en matières organiques, ce qui diminue leurs degrés de sensibilité et de perméabilité à l'érosion. Ils sont souvent utilisés pour les cultures de céréales. Le réseau hydrographique (eau) du département est composé par des dépressions comme le lac rose (situé à 45 kilomètres de Dakar vers le nord). Ces sols couvrent une superficie de 471 ha et des cours d'eau temporaires d'une superficie 106,7 ha. Ces sols argileux sont entourés par des sols halomorphes caractérisés par la présence de sel et couvrant une superficie de 1084,7 ha. Ainsi, dans la partie nord de Rufisque, plus précisément le littoral, nous avons des sols minéraux (2384,5 ha), caractérisés par les formations littorales et deltaïques, marquées par la présence de dunes littorales vives et de plages marines. Les lithosols, avec une superficie de 3067,3 ha, sont retrouvés généralement dans la commune de Bargny, dans les bas plateaux où les altitudes sont inférieures à 50 m. Cela favorise le processus d'érosion par le fait de l'inclinaison de la pente et de la forme du milieu.

Enfin, les sols peu évolués qui couvrent 852,4 ha, sur lesquels repose l'essentiel de l'espace littoral de la ville de Rufisque, situé au sud de la presqu'île du Cap-Vert. Ce sont des sols peu évolués, pauvres en humus et en matières organiques. Par conséquent, ils ont une faible réaction à l'érosion, ce qui accentue entre autres leur perméabilité. En effet, l'action de la dérive littorale, perpendiculaire à la direction des vagues favorise le processus de transport des sédiments de la plage. Sa faible pente (-7 m d'altitude) vers le sud favorise le processus de l'avancée de la mer. Ce qui fait que les sols situés dans cette partie sont perméables et vulnérables au phénomène d'érosion côtière.

Ces facteurs naturels sont exacerbés par la pression anthropique, ce qui explique entre autres la dynamique des plages. L'évolution morphodynamique du littoral de Rufisque n'a pas que des causes d'ordres naturelles. L'homme, à travers ses activités, peut interférer avec les agents naturels de contrôle de la zone littorale (Morton, 1979).

II. Les facteurs anthropiques de l'évolution morphodynamique du littoral de Rufisque

La presqu'île du Cap-Vert est densément peuplée avec environ 2 millions d'habitants (ANSD, 2013) et fortement industrialisée. De telles caractéristiques ne peuvent que se répercuter sur la zone littorale. A l'image de toutes les côtes sénégalaises, la côte de Rufisque subit une pression anthropique sans équivoque. Cela s'explique par une littoralisation intense, mais aussi une diversité de la nature des activités qui se développent dans le milieu. Cette multiplication des actions anthropiques est un facteur de mutations côtières, ce qui entraîne un déséquilibre naturel sur la morphologie des plages. La zone côtière de Rufisque est régie par le phénomène d'anthropisation. Cette pression démographique sur le long de la côte accentue sa vulnérabilité, suite aux événements météo-marins qui interviennent à la dynamique du trait de côte de Rufisque. D'où l'importance de réaliser une cartographie diachronique de l'occupation des sols, en mettant l'accent sur l'évolution du bâti et la dynamique du trait de côte dans la ville de Rufisque. Cette forte urbanisation de Rufisque s'explique par une présence d'activités diverses (pêche, tourisme, agriculture, commerce, etc.).

2.1. Une littoralisation intense de la ville de Rufisque

La ville de Rufisque a connu une évolution spatio-temporelle durant ces cinq dernières décennies. L'urbanisation est de nos jours un phénomène consommateur d'espace, et celle-ci ne cesse de s'accroître dans la région. C'est le facteur majeur qui conditionne l'étalement spatial de la ville. Cette dernière, accentue la réduction de l'espace littoral et le recul progressif du couvert végétal.

Cette évolution croissante du bâti au niveau de la ville de Rufisque est accentuée par une forte croissance démographique dans la banlieue dakaroise. Celle-ci contribue à la perturbation de l'espace côtier. L'urbanisation est donc un facteur qui contribue à la dynamique du trait de côte à cause de la pression anthropique notée sur cette bande littorale. Cette urbanisation est combinée aux caractéristiques topographiques marquées par une faible pente de -7m d'altitude accentuant la sensibilité de la zone littorale de Rufisque.

2.2. Les extractions de sable sur les plages de Rufisque

A l'instar des plages de la presqu'île du Cap-Vert, celles de Rufisque font l'objet d'extraction de sable et de coquillages à usage de construction (photographie 4).



Photographie 4 : Extraction de sable par un charretier sur la plage de Bata (1) ; zone de coquillage sur la plage entre Cap des biches et Diokoul (2). Source : Faye, septembre 2022.

Les principaux sites de prélèvements de sable sur le littoral de Rufisque sont localisés entre la centrale électrique de cap des biches et Diokoul et à proximité de l'usine Bata à la sortie de Rufisque vers Bargny. Ces extractions se font généralement sur l'estran, au large, mais aussi dans la zone de surf. L'exploitation de sable sur ces plages est une pratique interdite et punie. Jusqu'à présent, les communautés locales utilisent le sable marin pour la construction de maisons et aggravent ainsi leur vulnérabilité à l'érosion côtière. Par conséquent, nous constatons un recul significatif du cordon littoral et la destruction de la végétation littorale. En effet, l'extraction des sédiments (sables et coquilles) favorise la stagnation des eaux de pluie et le déficit en sédiments des plages en modifiant les apports sédimentaires.

Les populations estiment que ce sable est plus résistant que celui extrait des carrières. En outre, il est plus proche à la population, malgré l'existence d'une carrière de sable officielle ouverte auprès du Lac rose. Sur les 252 ménages interrogés, 60% affirment que le sable utilisé pour la construction est extrait de la plage. Seuls 25%, utilisent du sable provenant des carrières et 15% autour des concessions (figure 13).

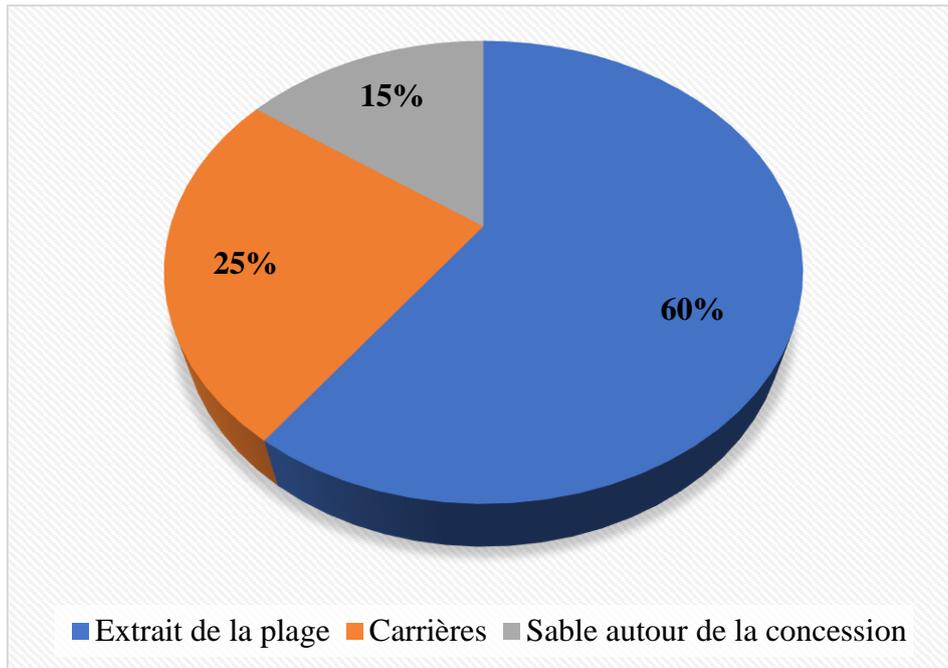


Figure 13 : Origine du sable utilisé pour la construction des maisons (Enquêtes Faye, 2022)

Ces sédiments de plage (sables et coquilles), servent à confectionner des briques pour la construction des maisons, mais aussi des ouvrages traditionnels pour la protection contre l'avancée de la mer. Cette surexploitation 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 (plus proches) ; 30% des maisons sont de type moderne, contre 20% de constructions mixte (figure 14).

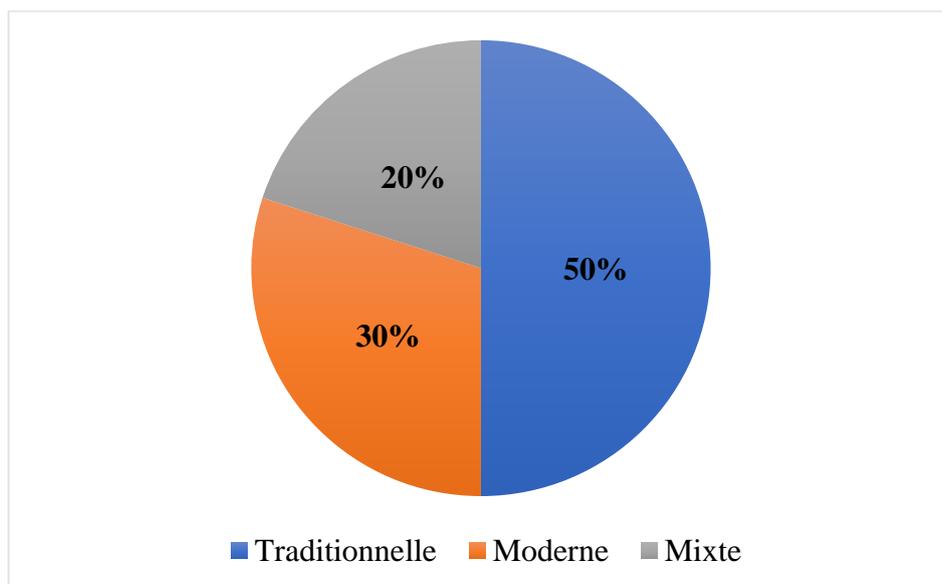


Figure 14 : Types de construction des concessions (Enquêtes Faye, 2022)

Ce qui entraîne un déséquilibre des échanges sédimentaires et accentue la sensibilité de l'environnement côtier. Aussi, à côté de ses activités humaines, nous avons identifié aussi des infrastructures qui peuvent influencer sur l'évolution morphodynamique du littoral de Rufisque.

2.3. L'installation des structures perpendiculaires au rivage

De par leurs proximités à la côte, les infrastructures perpendiculaires au rivage (habitations, industries) nécessitent des structures de protection contre les effets de la mer. De telles infrastructures peuvent intercepter en partie ou en totalité les sédiments transportés parallèlement au rivage par l'action de la dérive littorale. En effet, ces infrastructures peuvent parfois engendrer la diffraction des houles. Ce qui entraîne entre autres la modification du système naturel des plages. Plusieurs infrastructures sont identifiées avec des rôles variés :

- ❖ la digue de la pointe de Bel Air située au début de la baie de Hann qui sert de protection au port de plaisance avec une longueur environ de 350m ;
- ❖ les canaux d'alimentation en eau de refroidissement de la centrale électrique du cap des biches de la Société Sénégalaise d'Electricité (SENELEC) et des Industries Chimiques du Sénégal (ICS) à Mbao ; ce sont des canaux protégés avec de gros enrochements qui jouent un rôle d'épis de protection de ses infrastructures ; ils sont longs d'environ 200 m et fonctionnent depuis 1964 (Diop, 1995) ;
- ❖ la digue de Gorée qui s'étend de la pointe de Dakar à l'île de Gorée dans le cadre des extensions du port autonome de Dakar ; mais les travaux sont stoppés depuis 1943 alors qu'elle s'étalait déjà sur une longueur de 650m.

Ainsi, l'installation de ses structures entraîne la modification de l'hydrodynamisme naturel des plages, surtout celles de Rufisque par leur ouverture au sud de la presqu'île de Dakar. En effet, le blocage de débits volumiques par l'ensemble de ces ouvrages conduit automatiquement à une diminution des apports en sédiments sur ce rivage (Thior, 2020). Par conséquent, ces plages sont affectées par une pénurie sédimentaire car les vagues vont déposer moins de sables au large à cause de la diminution de leurs fréquences. Ce blocage du débit volumique va se répercuter sur les secteurs dépourvus d'ouvrages de protection, ce qui accentue le rythme d'érosion côtière dans le secteur de Bargny.

2.4. La réalisation des ouvrages de protection sur le littoral de Rufisque, un facteur de perturbation des échanges sédimentaires

La multiplication des dégâts causés par l'avancée de la mer oblige la population de Rufisque à réaliser des ouvrages de protection du littoral. Au-delà du mur de béton qui a été construit dans

la baie de Rufisque par Dwars et Heederik en 1979 et qui est très endommagé de nos jours, nous pouvons citer le champ d'épis à Diokoul, le mur de protection entre Keuri-Souf et Bata (à la sortie de Rufisque vers Bargny) et plus récemment la digue frontale de protection côtière à Thiawlène, mais celle-ci ne s'étend pas sur tous les secteurs du littoral de Rufisque.

2.4.1. Le champ d'épis à Diokoul

Concernant le champ d'épis à Diokoul, cet ouvrage a été construit dans le cadre d'un projet d'aménagement des quartiers de Diokoul (Diokoul Kaw, Diokoul Ndiayène, Diokoul Ndiourène et Diokoul Wague) conduit par *ENDA* tiers monde. Dans ce projet, il était prévu de construire 12 épis de 47 m de longueur en gabion et en basalte, espacé de 85 m. En 1987, seuls 9 épis sur les 12 prévus ont été réalisés. Trois ans après en 1990, la longueur restante des épis varie entre 2 et 27 m et un certain nombre d'imperfections apparaissaient comme la désagrégation des blocs de latérite et l'ouverture des gabions (Seck, 1990). Par la suite, le ministère de l'équipement décide de mettre fin à ce type d'ouvrage et de mettre en place des structures de protection (mur) qu'il considère comme plus efficaces. Les travaux de ce dernier (mur) débutent en 1990 ce qui a entraîné la disparition du champ d'épis.

2.4.2. Le mur de protection

Long environ de 2847m, le mur de protection s'étend entre Keur-souf et Bata (sortie de Rufisque). Il était recommandé par *Dwars et Heederik* en 1979. Dans les études antérieures consultées (Seck, 1990 ; Diop, 1995), il a été construit sous contrôle du Ministère de l'équipement en plusieurs phases : 937 m en 1983-84 ; 510 m en 1987 ; 500 m en 1988-89 et 900 m en 1990 (Diop, 1995). Ainsi, une étude de Seck, (1990) met en évidence un certain nombre d'insuffisances, notamment un franchissement périodique du mur par les vagues et des éboulements par endroits des blocs de basalte.

Les murs de protection accentuent le processus d'érosion côtière à travers un affouillement de la base des murs pouvant parfois conduire à leur rupture ; un abaissement et un rétrécissement voire une disparition, de la plage située en face du mur ; une érosion accentuée des plages bordant leur extrémité aval, par rapport à la dérive littorale (Paskoff, 1983). Et cela aboutit à la diminution des apports sédimentaires par durcissement de la ligne de rivage et la formation des houles réfléchies qui entraînent une érosion des fonds littoraux. En 1995, le mur de protection a commencé à céder face à la furie des vagues, mais les débris sur quelques secteurs (photographie 5) sont toujours visibles. Mais cette action ne rassure pas pour autant la population. En revanche, la digue de protection côtière a été envisagée, car la population de Rufisque continue de vivre la psychose d'une nouvelle invasion des eaux marines.

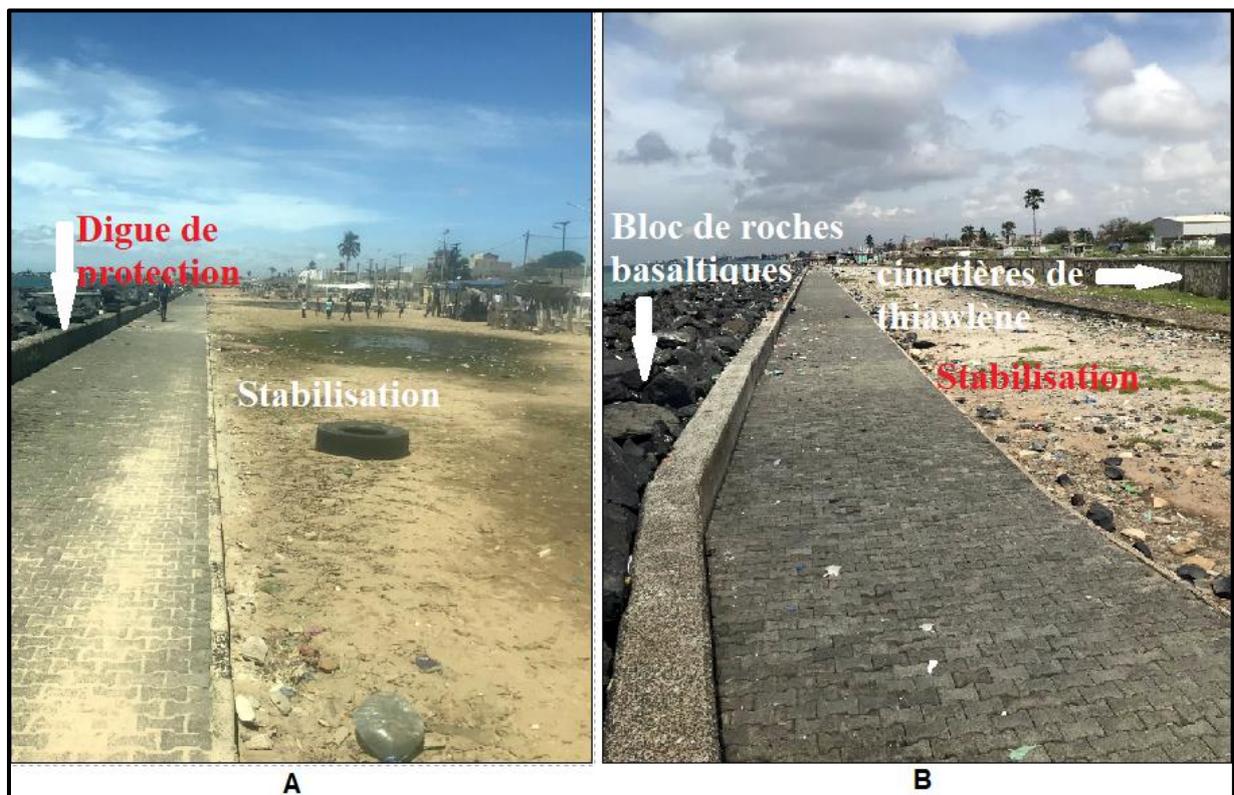


Photographie 5 : Mur de protection sur le littoral de Rufisque (Faye, septembre 2022)

2.4.3. La digue frontale de protection côtière

L'objectif de cet ouvrage est de lutter contre l'avancée de la mer et gagner une cinquantaine de mètres de plage afin de sécuriser les habitations proches de la côte. Cette digue s'étend sur une longueur de 730 m, une largeur de crête environ de 3 m et une hauteur de 4,5 m. Sa profondeur immergée est de 2,30 m. Ainsi, selon nos enquêtes de terrain, le budget de cet ouvrage s'élève à trois milliards six cents millions de FCFA (3.600.000.000 FCFA) de Fcfa et les travaux ont débuté en 2013. Cette digue de protection côtière est conçue par la société *Green* à base de roches basaltiques noires, jugé plus résistante face à la pression des vagues. Elle contribue à l'embellissement ainsi qu'à l'amélioration des conditions de vie et d'hygiènes de la population. En effet, cette digue est conçue entre les deux exutoires des canaux d'évacuation pour faciliter l'écoulement gravitaire des eaux. La mise en place de cet ouvrage a permis aussi la réhabilitation des « *penc* ». Ces dernières servent de lieu de rencontre à la population et aux comités de quartiers pour discuter et échanger sur des projets divers, notamment sur l'appropriation de l'ouvrage, sa gestion et la pérennisation des activités de gestion des déchets

solides. La rénovation de ces « *penc*³ » est faite par Green Sénégal sous le financement de l'Etat du Sénégal avec l'appui de l'UEMOA et le Fond d'adaptation au réchauffement climatique. Green Sénégal est un Groupe de Recherche et d'Etudes Environnementales (*GREEN*) basé au Sénégal qui s'est fixé comme objectif d'assurer le suivi des zones côtières vulnérables à l'érosion côtière. Cette nouvelle digue est dimensionnée pour résister au débit volumique offrant ainsi une protection aux populations et aux cimetières. Cet ouvrage a aussi permis la reconquête de la mer avec une avancée de terrain allant environ de 35 m au-delà de la route à son extrémité et près de 30 m au niveau des cimetières (photographie 6). Cet ouvrage a créé une esplanade servant déjà de lieu de rencontre culturelle, de regroupement des pêcheurs, de loisirs et pouvant être aménagée pour confort de tous.



Photographie 6 : La digue frontale de protection côtière à Rufisque (Faye, septembre 2022)

Ces différentes activités humaines interfèrent avec les processus côtiers, en réduisant les apports sédimentaires et en modifiant les directions des houles.

Conclusion chapitre 3

La côte de Rufisque est soumise sous l'influence des facteurs naturels et anthropiques. Ce chapitre a permis de mettre en évidence les facteurs à l'origine de la dynamique continue du

³ Ce sont des lieux de regroupement de la population et aux comités de quartiers situées souvent à la plage.

littoral de Rufisque notamment avec la présence des houles (nord-ouest et sud-ouest), cumulée à la pression des vagues, des courants de la marée et à l'action de la dérive littorale. Le résultat de l'ensemble de ces facteurs est exacerbé par l'action de l'homme, car la presqu'île du Cap-Vert est marquée par une forte concentration industrielle et humaine. Ce qui engendre un besoin croissant en infrastructures (extension du port de Dakar, des canaux d'alimentations en eau de refroidissement pour certaines usines), en matériaux de construction (sable marin, coquilles). Les extractions de sédiments accentuent la sensibilité de cette zone à l'érosion côtière, d'où la nécessité de mettre en place des ouvrages de protection. Ces actions anthropiques réduisent les apports sédimentaires de la plage d'autant plus que le littoral de Rufisque, comme l'ensemble du littoral bordant la baie de Gorée est sous-alimenté du point de vue des apports sédimentaires. L'analyse de ces facteurs est complétée par un suivi historique du trait de côte afin de mieux appréhender la variation spatio-temporelle de la ligne de rivage.

CHAPITRE 4 : ÉVOLUTION DU LINÉAIRE COTIER DU LITTORAL DE RUFISQUE

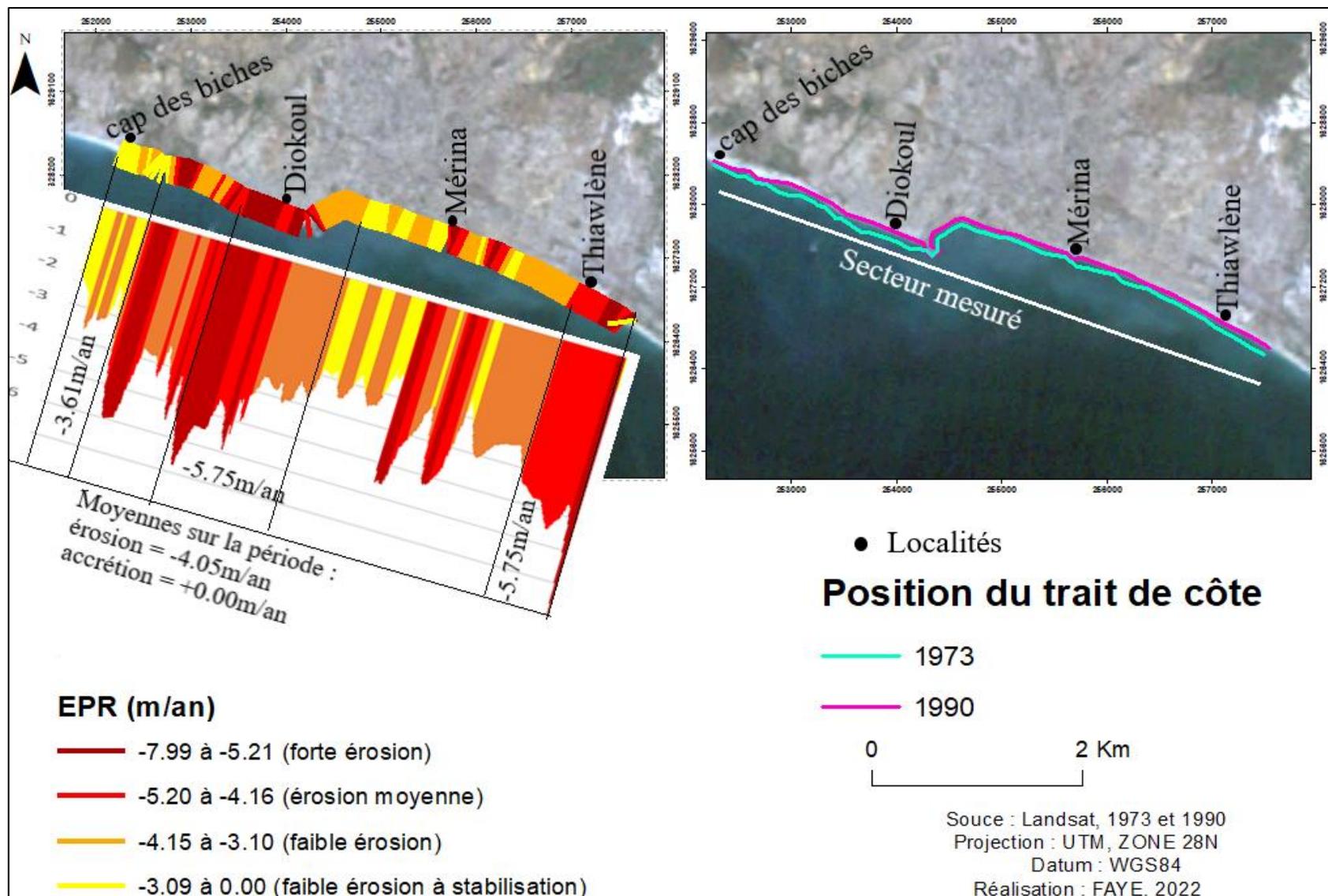
La cinématique du trait de côte a permis de ressortir trois situations sur le littoral de Rufisque : l'érosion, la stabilisation et l'accrétion. Les intervalles de mesure sont de deux dates dans le but de mieux ressortir les dynamiques passées et celles en cours. Ensuite, l'analyse de la synthèse de l'évolution du trait de côte est réalisée sur toute la période considérée.

1. Analyse de la variation du trait de côte du littoral de Rufisque

Le traitement des images géospatiales utilisées a permis d'obtenir des résultats statistiques sur les taux d'évolution du trait de côte variable par endroit entre 1973 et 2022. Des phénomènes d'érosion, de stabilisation et d'accrétion ont été observés.

1.1. Evolution du trait de côte entre 1973 et 1990

Le littoral de Rufisque était fortement mouvementé entre la période de 1973 et 1990. Globalement, il est dominé par le taux d'érosion avec un maximum de 7,99 m/an et un minimum de 1 m/an. Le taux de recul en moyenne est de 4,05 m/an avec une marge d'incertitude de 0,06 m/an. Ce qui est inférieur aux résultats obtenus (carte 11).



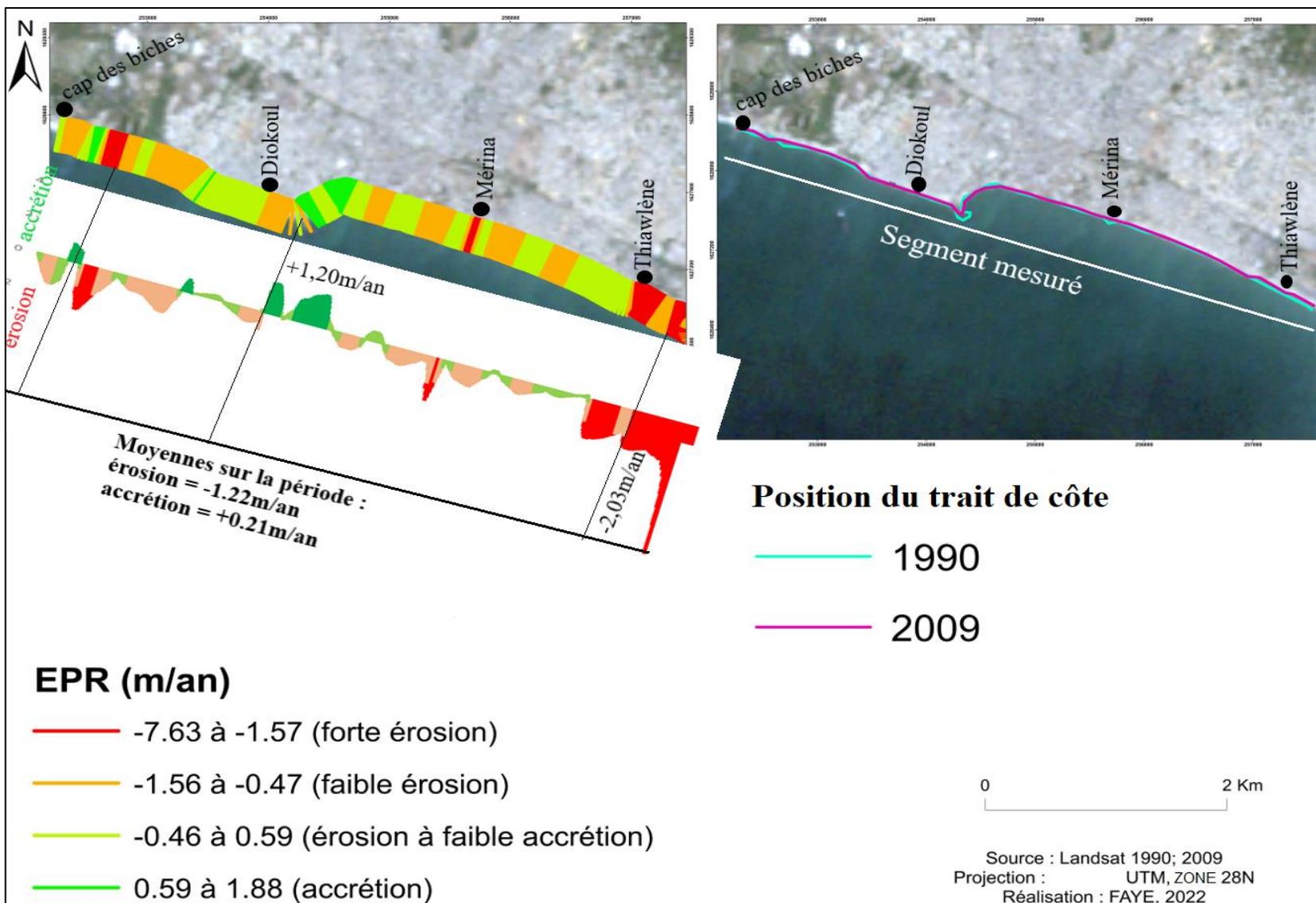
Carte 11 : Evolution du trait de côte du littoral de Rufisque entre 1973 et 1990

En effet, le taux de recul du trait de côte varie selon les différentes localités ; aux alentours de Diokoul et à Thiawlène, l'ordre moyen de -5,75 m/an a été mesuré, tandis qu'à Mérina et au niveau du cap des biches, l'érosion moyenne est de 3,61 m/an. Il est à souligner que pendant cette période (1990-1973), aucune accrétion (+0,00 m/an) n'a été notée sur le littoral de Rufisque. Par contre, la plage de Mérina tend vers une légère stabilité (+0,00 m/an).

En se basant aussi sur le calcul des statistiques, les surfaces érodées sont largement supérieures à celles en accrétion entre 1973-1990. La synthèse de cette carte ci-dessus, montre qu'entre 1973 et 1990, la tendance globale est érosive sur l'ensemble du littoral de la ville de Rufisque.

1.2. Evolution du trait de côte entre 1990 et 2009

Contrairement au premier intervalle de mesure, la période de 1990-2009 reste caractérisée par une dynamique contrastée. En effet, l'érosion et l'accrétion sont observées sur l'ensemble du littoral de la ville de Rufisque avec une marge d'incertitude de 0,01 m/an. Des taux d'érosions allant de 0,1 à 7,63 m/an (avec un taux d'érosion moyen de 1,22 m/an) et d'accrétion allant de +0,00 à +1,88 m/an (avec une accrétion moyenne de +0,21 m/an) sont enregistrés sur l'ensemble du segment mesuré (carte 12).

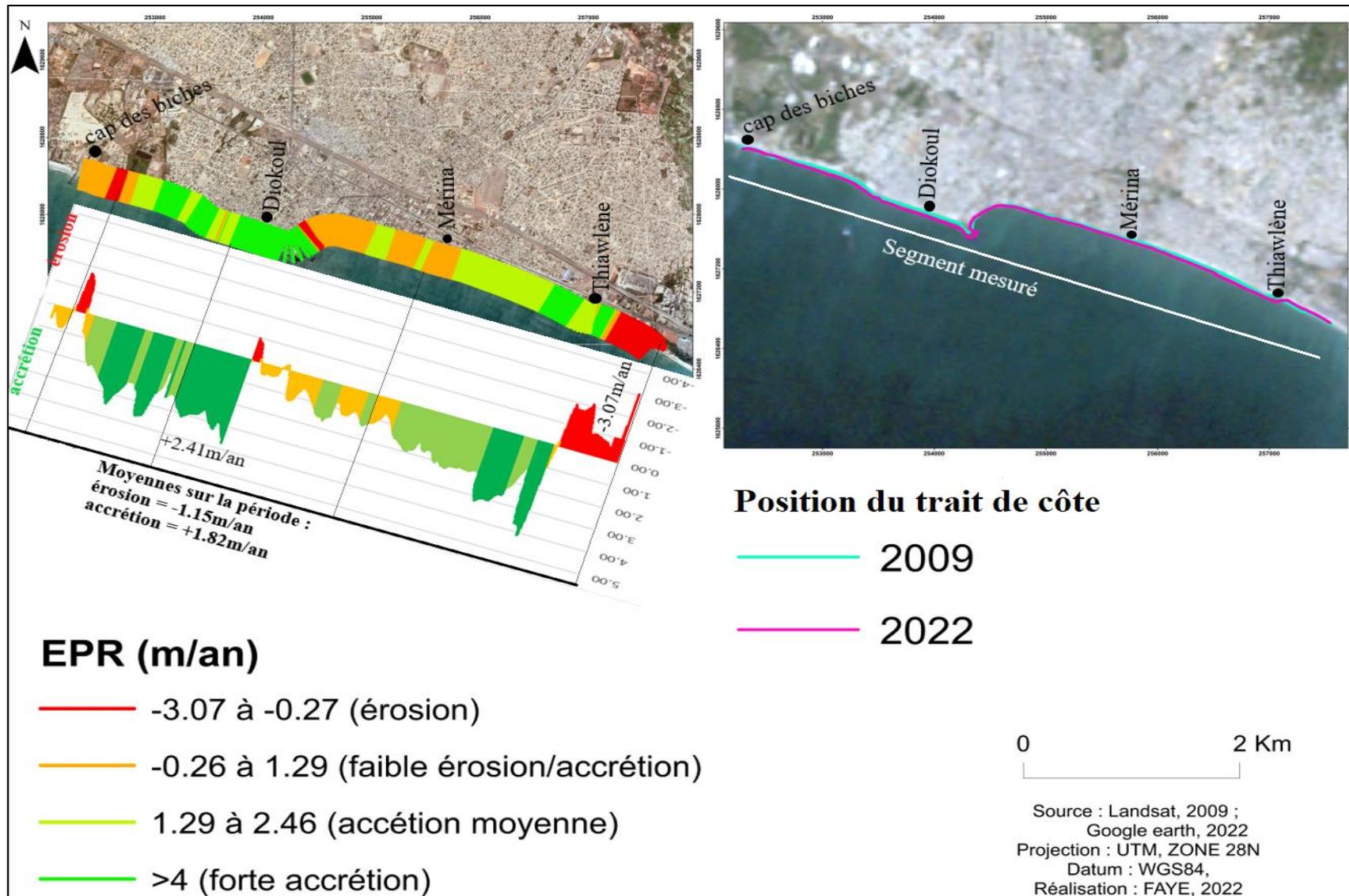


Carte 12 : Evolution du trait de côte du littoral de Rufisque entre 1990 et 2009

L'érosion moyenne durant cette période 1990-2009 est de 1,22 m/an. Cette situation illustre une nette régression du taux d'érosion par rapport à la période 1973-1990 (-4,05 m/an). Cependant, l'érosion est restée plus importante que l'accrétion comme le montre la figure 26, avec un net déficit sédimentaire. La diminution de la vitesse d'érosion est due principalement à la réalisation d'aménagements de protection du littoral. En revanche, le taux d'érosion subit une variabilité spatiale. Aux alentours de Thiawlène et sur la plage de cap des biches, on constate un taux d'érosion moyen de 2,03 m/an traduisant une érosion active. Cette situation est due au déficit sédimentaire noté sur ces plages à cause des prélèvements de sable. Leur nature très sableuse fait que ces plages sont très sensibles au phénomène d'érosion. Tandis que l'accrétion est plus importante sur la plage du cap de Diokoul avec une moyenne de +1,20 m/an. Les surfaces érodées restent supérieures aux surfaces accrétées ; ce qui est témoin d'un déficit sédimentaire important.

1.3. Evolution du trait de côte entre 2009 et 2022

La cartographie de l'évolution spatio-temporelle révèle que le littoral de Rufisque est marqué par une accrétion plus importante allant de +0,0 à +4 m/an, et une érosion moins active d'ordre de 0,1 à 3,07 m/an. Cependant, une érosion et une accrétion moyenne respective de 1,15 m/an et 1,82 m/an a été mesuré sur le long du littoral, avec une marge d'erreur estimée à 0,02 m/an (carte 13).



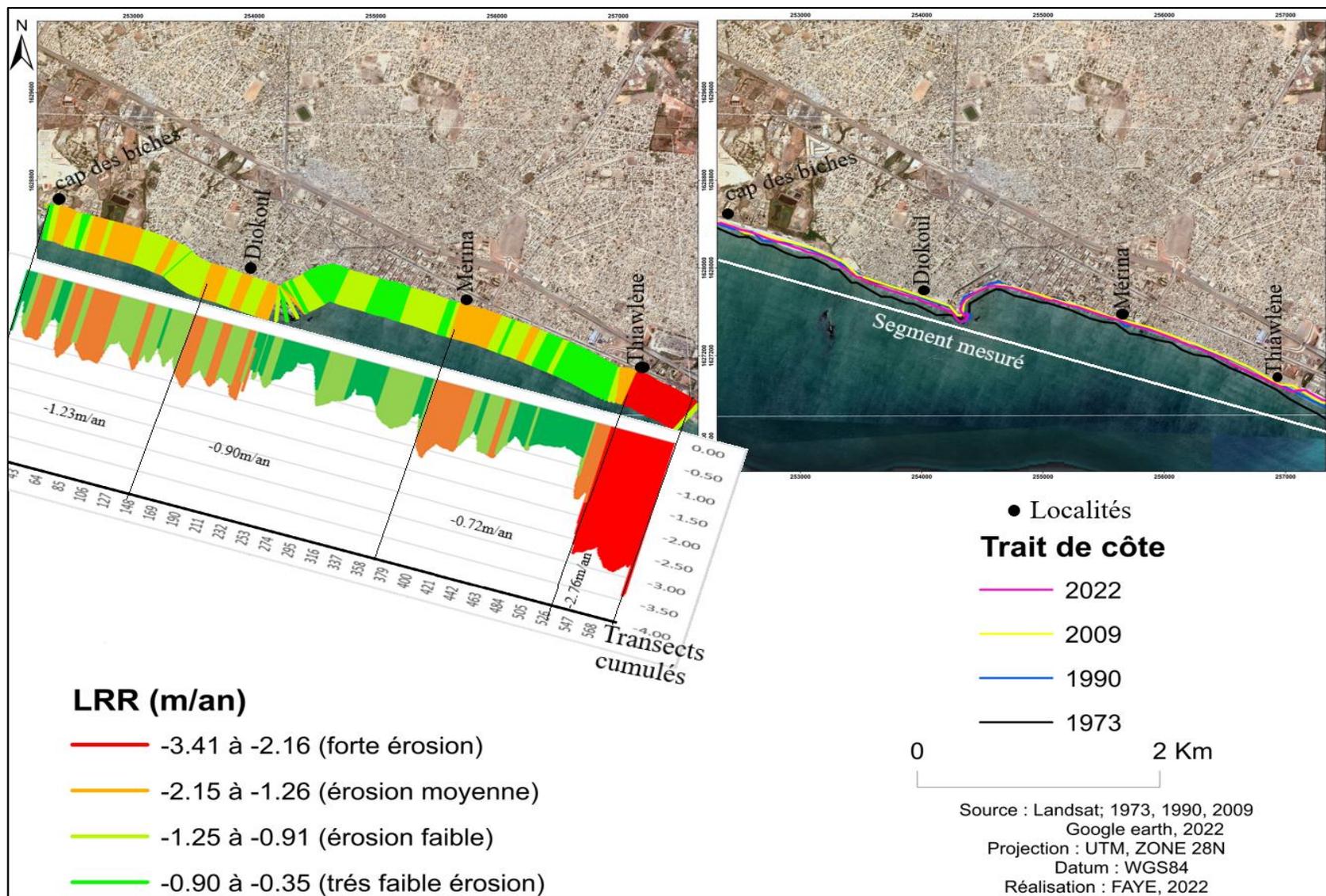
Carte 13 : Evolution du trait de côte du littoral de Rufisque entre 2009 et 2022

Bien que les mesures révèlent que la tendance du littoral de Rufisque est caractérisée par une accrétion entre 2009 et 2022, il n'en demeure pas moins que des dynamiques érosives soient observées par endroit. Dans le secteur compris entre Diokoul/cap des biches, le taux d'accrétion observé atteint 2,41m/an. En revanche, sur la plage de Bata (à la sortie de Thiawlène), ainsi que sur la plage de cap des biches, des taux de recul pouvant atteindre 3,07m/an sont observés.

Les taux d'évolution du trait de côte basés sur le calcul de l'indice *EPR* ont permis de ressortir les statistiques uniquement sur deux dates successives. Or, sur une période de 49 ans (1973-2022), il ressort une tendance globale de l'évolution du littoral de la ville de Rufisque. D'où l'intérêt de calculer la tendance évolutive globale du trait de côte sur toute la période considérée grâce au calcul de l'indice *LRR*. Ce dernier a permis de mettre en évidence la tendance globale de l'évolution du trait de côte sur le littoral de Rufisque, en tenant compte des dates et intervalles intermédiaires (1990 et 2009).

1.4. Synthèse de l'évolution globale du trait de côte de 1973 à 2022

Les résultats obtenus sur la cartographie de l'évolution du trait de côte ont montré, sur l'ensemble de la période considérée avec les dates et intervalles d'analyse y compris les marges d'incertitudes, une tendance érosive active sur l'ensemble du littoral de Rufisque. La dynamique est contrastée mais la tendance globale reste érosive (carte 14).



Carte 14 : Synthèse cartographique de l'évolution du trait de côte du littoral de Rufisque (1973-2022)

Ainsi, on enregistre un taux moyen de recul de 1,24m/an, un taux qui est d'ailleurs supérieur à la marge d'incertitude qui est de 0,18m (tableau 3). Ce taux de recul s'explique par le déficit sédimentaire constaté sur les plages de Rufisque, cumulées à une pression anthropique de l'espace côtier. Ce qui accentue entre autres la sensibilité de la côte face aux phénomènes d'érosion. C'est pourquoi, sur les plages situées vers le sud (après Thiawllène), la tendance est très érosive avec un taux moyen de 2,76 m/an, soit un bilan érosif de 160,01m. Les plages situées entre l'usine Bata et Bargny, sont les principaux sites de prélèvements de sable et sont très sensibles à l'érosion côtière. Et pourtant, on n'y observe pas d'ouvrage de protection contre l'érosion côtière. En revanche, à Thiawllène, la tendance est plus faible avec un taux moyen de 0,72 m/an. Cette diminution de la vitesse d'érosion est occasionnée par la digue de protection mise en place dans cette zone. Sur la plage située entre Mérina et Diokoul, on observe une tendance érosive avec un taux moyen de -0,90m/an. De Diokoul jusqu'au cap des biches, le taux d'érosion moyen est de 1,23m/an.

L'évolution du trait de côte du littoral de Rufisque est soumise à des rythmes d'érosion variables le long de la plage. Cependant, nous avons constaté que malgré les efforts consentis en matière de protection du littoral, l'érosion persiste le long du littoral de la ville de Rufisque. Par conséquent, de graves dégâts sont infligés à la côte et à toutes les communautés.

Tableau 3 : Synthèse de l'évolution moyenne du trait de côte sur le littoral de la ville de Rufisque (1973-2022)

Périodes	Moyennes sur période (érosion/accrétion)	Indices calculés	Marge d'erreur estimée	Ligne de référence
1973-1990	-4,05 m/an	EPR	±0,06m	Ligne instantanée de rivage
1990-2009	-1,22m/an et +0,21m/an	EPR	±0,01m	
2009-2022	-1,15m/an et +1,82m/an	EPR	±0,02m	
1973,1990, 2009, 2022	-1,24m/an	LRR	±0,18m	

L'analyse du trait de côte du littoral de Rufisque a été réalisée grâce à la disponibilité des images *Landsat* multi-dates (1973, 1990, 2009) et de *Google Earth pro* (2022). Ainsi, les résultats obtenus à travers la superposition de ces données géospatiales ont été discutés en fonction des marges d'incertitudes liées à la résolution spatiale des images, à la digitalisation sur *ArcGIS*, mais aussi à l'oscillation de la marée. En ce sens, en comparant nos résultats avec ceux des travaux de Koulibaly *et al.*, (2021), nous constatons des tendances peu similaires, même si les intervalles d'analyses et les segments mesurés sont différents. Dans cette logique, les résultats de Koulibaly *et al.*, (2021) montrent un taux de recul du trait de côte du littoral de Rufisque de -6,25 m/an sur la période 1978-1988 et -4,05 m/an entre 1973-1990. Dans le cadre de notre étude, aucune accrétion n'a été observée sur tout le littoral de Rufisque durant cette période (1978-1988). Pour le dernier intervalle de mesure (2009-2022), on observe une accrétion importante avec un taux de +1,82 m/an et pour les résultats de Koulibaly *et al.*, (2021), on observe un taux de +1,43 m/an entre 2008-2018. Mais aussi, il faut souligner que dans les travaux de Koulibaly *et al.*, (2021), les marges d'erreur ne sont pas précisées dans la discussion de ces résultats.

Conclusion chapitre 4

L'approche par photo-interprétation assistée par ordinateur nous a permis de cartographier la variation du trait de côte sur le littoral de Rufisque. Ainsi, les manipulations au préalable exigées par *DSAS*, ont permis d'aboutir à des résultats statistiques afin d'analyser l'évolution spatio-temporelle du littoral de Rufisque. A partir de ces résultats, des représentations graphiques ont été réalisées. De ce fait, trois situations ont été observées sur le littoral de Rufisque : l'érosion, la stabilisation et l'accrétion. La cinématique du trait de côte entre 1973-2022 a permis aussi de montrer que le littoral de Rufisque est globalement en situation d'érosion, même si on observe dans certains intervalles des situations d'accrétion. Il en ressort aussi que le littoral est généralement plus dynamique vers le sud de Rufisque en allant vers Bargny.

Conclusion de la deuxième partie

En résumé, l'évolution morphodynamique du littoral de la ville de Rufisque est sous l'influence des agents hydrodynamiques (houles, vagues, courant de marée, vents et l'action de la dérive littorale nord-sud) accentués par l'action de l'homme. En effet, les houles du nord-ouest sont diffractées et réfractées à la presqu'île du Cap-Vert, ce qui fait que leur énergie est régie directement sur les plages situées vers le sud-est de Rufisque. Une approche basée sur une analyse historique du trait de côte, a permis de mettre en évidence les différentes situations

observées sur la mobilité du trait de côte qui est à l'origine de plusieurs conséquences environnementales et socioéconomiques.

TROISIÈME PARTIE : IMPACTS DE L'ÉROSION CÔTIÈRE ET PERSPECTIVES D'AMÉNAGEMENTS DU LITTORAL DE RUFISQUE

Face aux assauts naturels de la mer, la côte de Rufisque est soumise à une forte urbanisation (humaine et industrielle), ce qui accentue entre autres sa vulnérabilité. L'ensemble de ces facteurs participe à la dynamique du trait de côte. Or, celle-ci n'est pas sans conséquence sur l'environnement littoral ainsi que les conditions de vie de la population locale.

Au regard de l'ampleur des dégâts observés sur cette bande littorale, il est nécessaire d'analyser les impacts de cette érosion et de proposer des solutions d'aménagements du littoral de Rufisque au regard de sa dynamique en cours pour freiner l'avancée de la mer.

CHAPITRE 5 : IMPACTS DE L'ÉROSION CÔTIÈRE SUR LE LITTORAL DE RUFISQUE

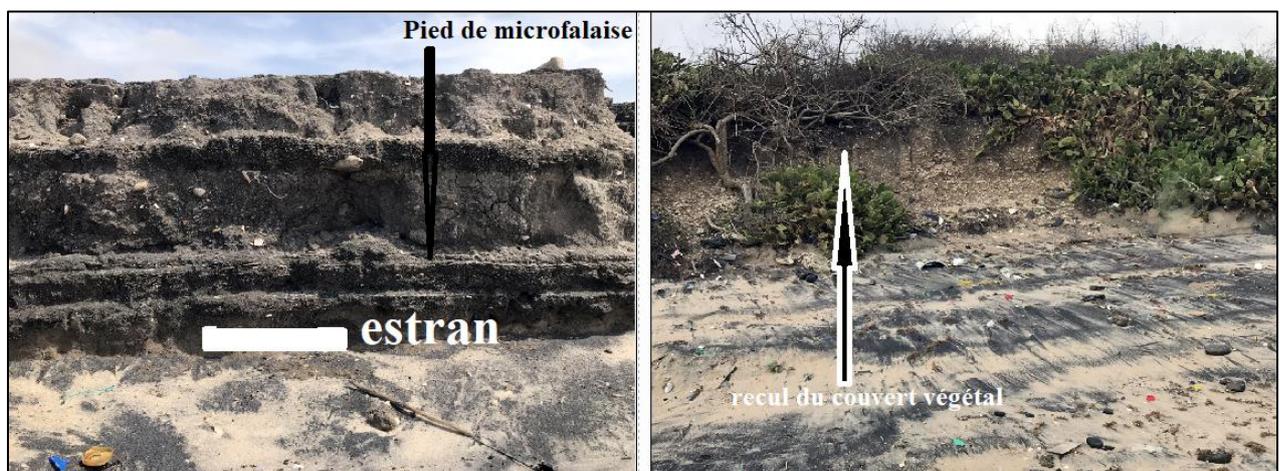
L'érosion côtière affecte l'environnement biophysique et les activités socioéconomiques de la population. Dans la zone côtière de Rufisque, l'environnement côtier est menacé par l'avancée de la mer.

I. Impacts de l'érosion côtière sur l'environnement

Les conséquences de l'érosion côtière se manifestent par un déséquilibre de l'environnement littoral, un recul constant de la végétation littorale et des submersions.

1.1. Modifications environnementales sur le littoral de Rufisque

La côte de Rufisque dispose d'une position particulière dans la presqu'île du Cap-Vert. En effet, elle est fortement soumise à l'influence des agents hydrodynamiques. Ce qui entraîne des modifications sur les différentes unités morphologiques suite à l'hydrodynamisme littoral. On observe globalement une érosion favorisée par la nature sableuse de ces plages marquées par un décapage des microfalisés dunaires bordant une bonne partie de la plage de Bata ainsi qu'un recul de la végétation qui les colonise (photographie 7).



Photographie 7 : Erosion par sapement de microfalisés dunaires sur la plage de Bata (Faye, septembre 2022)

Par ailleurs, la côte de Rufisque est bordée par des dunes noires, sensibles aux mouvements de masse. Ces derniers peuvent se manifester par des effondrements, des éboulements, des dérochements et des ravinelements. Ces phénomènes affectent généralement les côtes à cordons sableux avec une hauteur qui varie selon la cohérence du substrat (Paskoff, 2000 ; Thior, 2020). L'ensemble de ces phénomènes alimentent la plage de Rufisque en sédiments. Mais ces sédiments sont immédiatement ravagés par l'action des vagues : c'est la dynamique

sédimentaire. L'absence de végétation sur ce segment ne permet pas aux dunes de se stabiliser. 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. Ainsi, 80% de la population interrogée confirment avoir observé des changements environnementaux sur le littoral de Rufisque (figure 15)

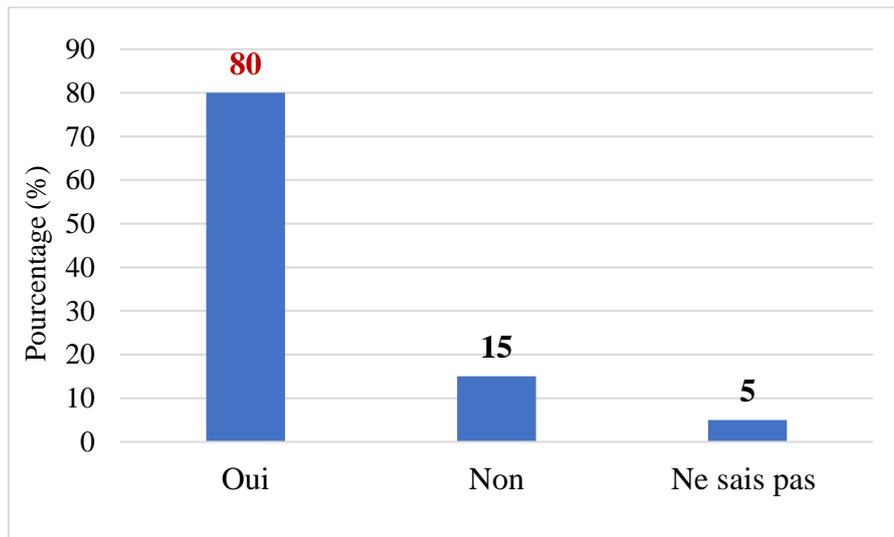


Figure 15 : Perceptions de la population sur les changements environnementaux observés sur le littoral de Rufisque (Enquêtes Faye, 2022)

Ces modifications environnementales résultent des agents hydrodynamiques naturels qui engendrent le recul significatif du trait de côte. La majeure partie de la population (65%) affirme que ces changements environnementaux sont négatifs (figure 16).

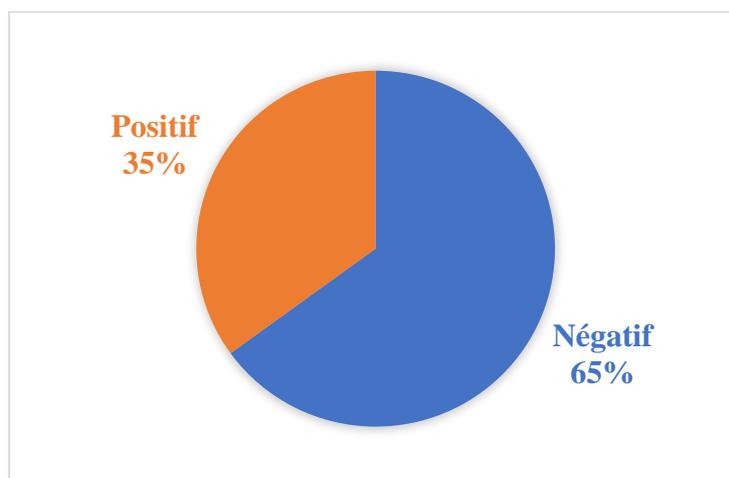


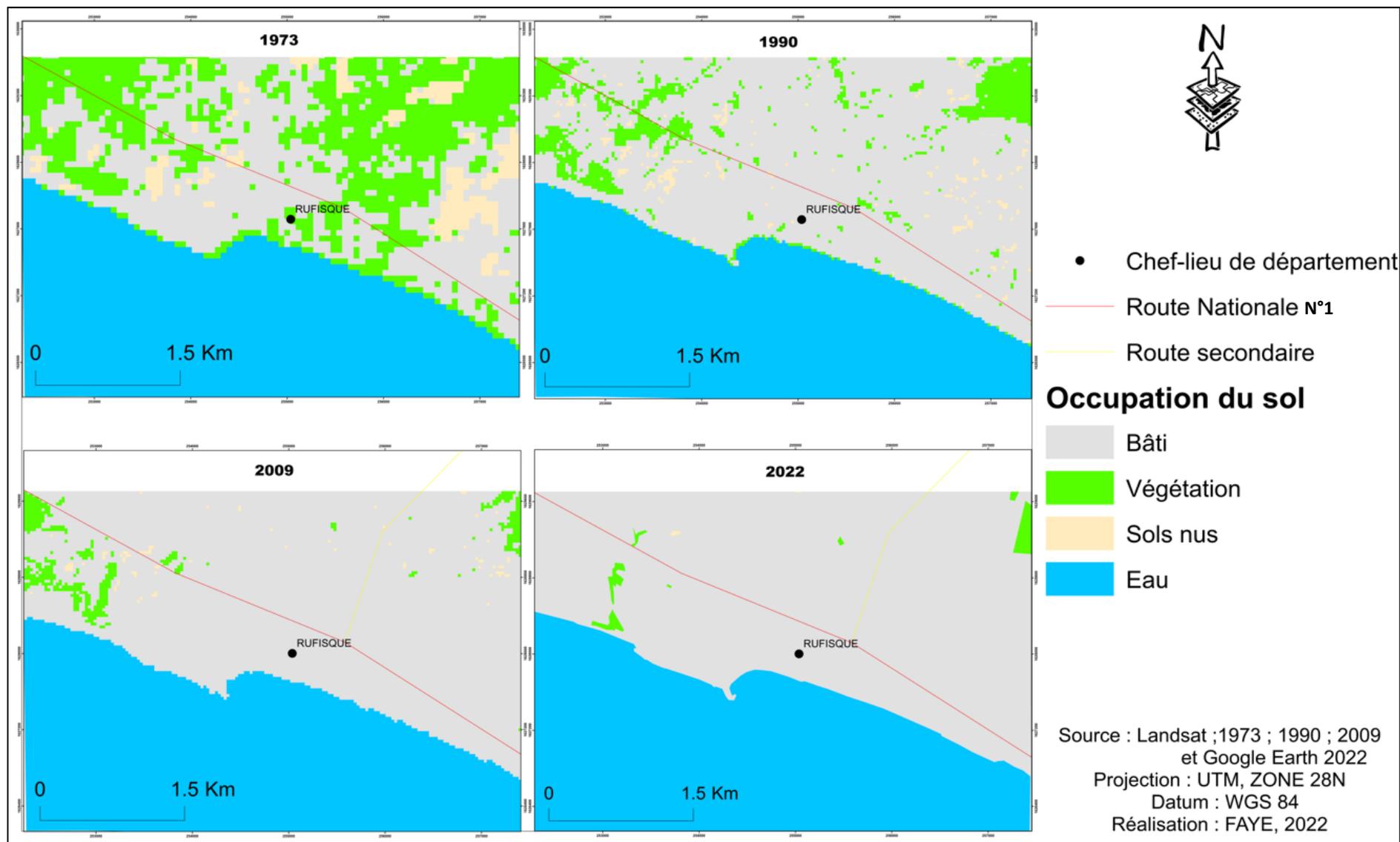
Figure 16 : Nature des modifications observées sur le littoral de Rufisque (Enquêtes Faye, 2022)

Ces agents hydrodynamiques favorisent l'avancée de la mer et par conséquent le rythme d'érosion s'accroît. Ce qui entraîne un déséquilibre au niveau de la côte, un décapage des formations dunaires et un recul du couvert végétal. Ces dernières augmentent le déficit sédimentaire sur cette bande littorale. Seul les 35% de la population interrogée affirment que ce changement est positif.

Donc, le littoral de Rufisque est caractérisé par une morphodynamique côtière, ce qui laisse voir une modification de son environnement naturel.

1.2. Un recul constant de la végétation littorale

Au-delà de ces modifications environnementales observées, on note un recul constant de la végétation littorale à cause de l'érosion marine. Le couvert végétal dans cette zone a connu une régression importante au profit de l'avancée de la mer. Celui-ci (recul du couvert végétal) est accentué par une augmentation considérable du bâti. Ce dernier (bâti) est plus marqué dans les zones péri-urbaines du littoral de la presqu'île du Cap-Vert, où l'essentiel des formations végétales sont converties en zones d'habitations et industrielles. La dynamique de l'occupation des sols est illustrée à travers les cartes multi-dates qui permettent de retracer l'évolution spatiale de la zone d'étude (carte 15).



Carte 15 : Evolution de l'occupation du sol de la ville de Rufisque (1973-2022)

Entre 1973-1990, la mer a gagné de l'espace avec une avancée de 5,6 ha environ. Cela se justifie par le phénomène d'érosion côtière qui s'est accentué durant les années quatre-vingt dans la zone, et le manque d'ouvrages de protection côtière durant cette période. Or, sur cette même période, la superficie du bâti est passée de 546,9ha en 1973 à 907,7ha en 1990 soit une évolution progressive de 360,8 ha (figure 17).

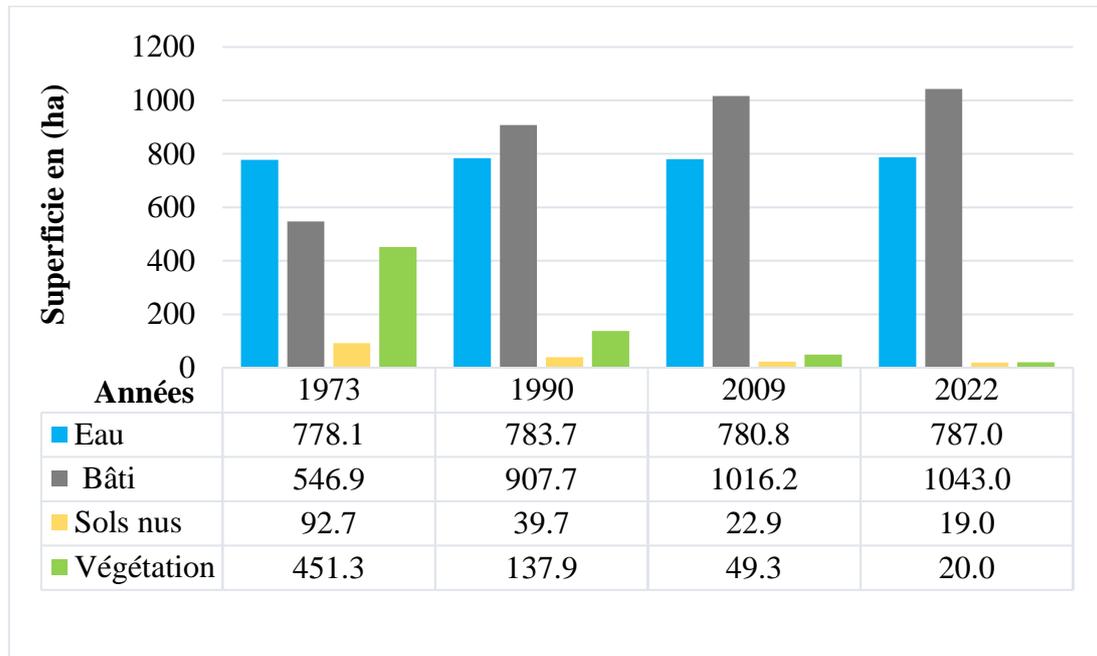


Figure 17 : Statistiques d'évolutions des superficies d'occupation du sol de la ville de Rufisque (1973-2022)

Cette évolution est due à l'attractivité de la ville liée à sa position côtière et au développement des activités économiques. Selon nos entretiens, sa position géographique dans la presqu'île du Cap-Vert fait de la ville un site historique notamment avec le premier port du Sénégal à l'époque coloniale qui permettait le transport des marchandises comme l'arachide vers l'étranger. Les activités économiques et le climat notés dans la zone permettent d'attirer les populations, ce qui a accentué le processus d'urbanisation. Ce dernier a entraîné un recul de la végétation de 451,3 ha à 137,9 ha soit 313,4 ha entre 1973 et 1990, la superficie des espaces cultivables ou sols nus est passée de 92,7 ha à 39,7ha pendant cette même période.

Entre 1990-2009, nous notons une légère diminution du rythme d'avancée de la mer passant respectivement de 783,7ha à 780,8ha.

En effet, l'accroissement de la population entraîne une occupation anarchique de l'espace surtout le long de la côte. Ainsi, la mise en place d'ouvrages de protections (digues, murs, épis, etc.), contribue à la régulation du phénomène d'érosion côtière dans la ville. En 1990, un projet nommé « *Fissérol* » avait initié la construction d'un mur de protection dans la zone. Ce mur a été construit vers les années 1993. Mais cet ouvrage n'était pas durable à cause de la pression des vagues. Ce qui a poussé les populations à envisager d'autres types de stratégies plus efficaces. S'agissant des cimetières (Thiawlène, Diokoul Kaw et Diokoul Wague), les tombes situées à la côte sont en train d'être détruites par l'érosion littorale. Pour faire face à ce phénomène, une digue de protection a été mise en place pour protéger ces cimetières (photographie 8). Mais cet ouvrage n'est pas continu sur tous les quartiers situés sur la côte. Cette digue a été financée par la banque mondiale (BM) et l'UEMOA.



Photographie 8 : Digue de protection des cimetières (Faye, septembre 2022)

Malgré cette quiétude de protéger la zone côtière, l'urbanisation ne cesse de s'accroître. La superficie du bâti passe de 907,7 ha en 1990 à 1016,2 ha en 2009. Ce qui entraîne une diminution remarquable de 39,3 ha de la végétation et de 16,8 ha des sols nus (1990-2009).

Entre 2009-2022, la superficie du bâti augmente davantage et passe de 1016,2 à 1043 ha. Ce qui a comme conséquence une diminution de la superficie du couvert végétal de 29,3 ha et de

celle des surfaces de cultures/sols nus de 3,9 ha. Parallèlement à cette urbanisation galopante, l'érosion côtière s'accroît. La mer a encore gagné de l'espace avec une avancée de 7 ha sur cette même période. Celle-ci est le résultat de l'inefficacité des ouvrages de protection à laquelle s'ajoutent les actions humaines au niveau de cette bande côtière.

La forte concentration humaine et industrielle dans la zone d'étude 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 9).



Photographie 9 : Recul de la végétation par l'avancée de la mer (A) ; mortalité de la végétation par la pression anthropique (B). (Faye, septembre 2022)

Ainsi, une perte importante de la végétation naturelle a été observée sur le littoral, étant donné que celle-ci marque la limite supérieure de la plage. 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. Cependant les plantations mono-spécifiques de filaos sont quasi-inexistants à cause de l'érosion littorale ; ce qui constitue une menace pour les ressources fauniques (oiseaux). Ces espèces sont frappées par le manque de nourriture lié à la rareté des ressources halieutiques et à la perturbation de l'espace côtier. Les rares espèces fauniques répertoriées dans cette zone sont constituées essentiellement des pélicans et des canards à plumes.

1.3. La submersion marine

Une submersion marine est une inondation temporaire de la zone côtière, engendrée par la mer dans les conditions météorologiques et marégraphiques très sévères. Ainsi, elle envahit généralement les terrains situés en dessous du niveau des plus hautes mers, mais aussi parfois

la fréquence des vagues. Elle se produit lorsqu'il y a un débordement du jet de rive ou une rupture des digues et des ouvrages de protection. Dans certains segments caractérisés par une faible pente, on observe des zones submergées lors des phénomènes extrêmes (photographie 10).



Photographie 10 : Des zones submergées à Diokoul sur la côte de Rufisque (Faye, septembre 2022)

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 ; GIEC, 2019 ; Universalis.fr, 2022). 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. Ce phénomène est bien observé par une bonne partie des habitants de Rufisque. D'ailleurs, 45% contre 55% l'ont observé (figure 18).

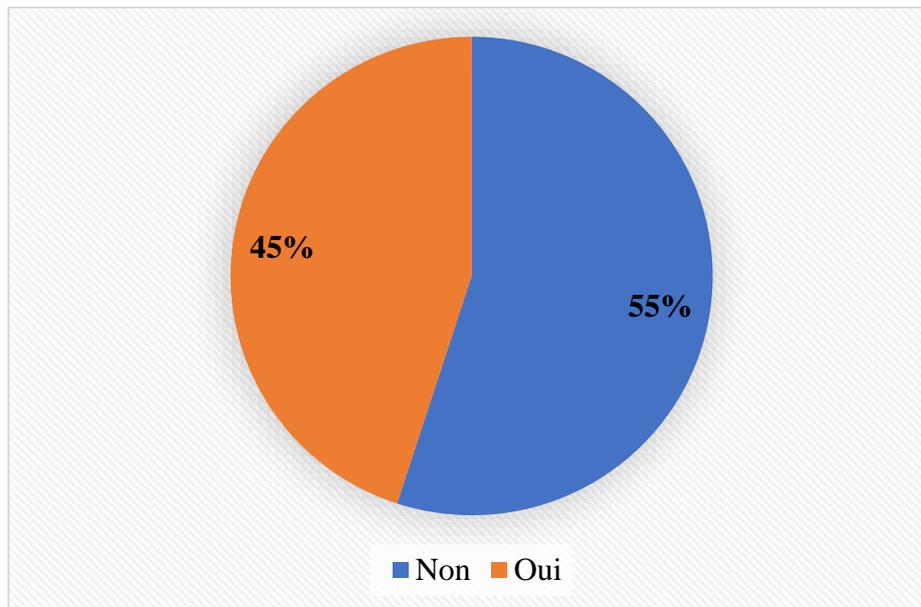


Figure 18 : Perceptions des populations sur les inondations d'origine marine (Enquêtes Faye, 2022)

Ce phénomène (submersion) se manifeste généralement au milieu de la saison des pluies (août), lors des conditions marégraphiques très sévères. Cet environnement qui subit des perturbations et des modifications est un milieu dans lequel des activités socioéconomiques sont développées. Ces activités sont également impactées.

II. Impacts socioéconomiques de l'érosion côtière

D'importantes activités socioéconomiques se développent sur les plages de Rufisque. Mais celles-ci sont menacées par l'avancée de la mer. Dans cette section, les résultats obtenus des enquêtes de terrain sont traités, ainsi que les biens matériels qui subissent les impacts de l'évolution morphodynamique littorale.

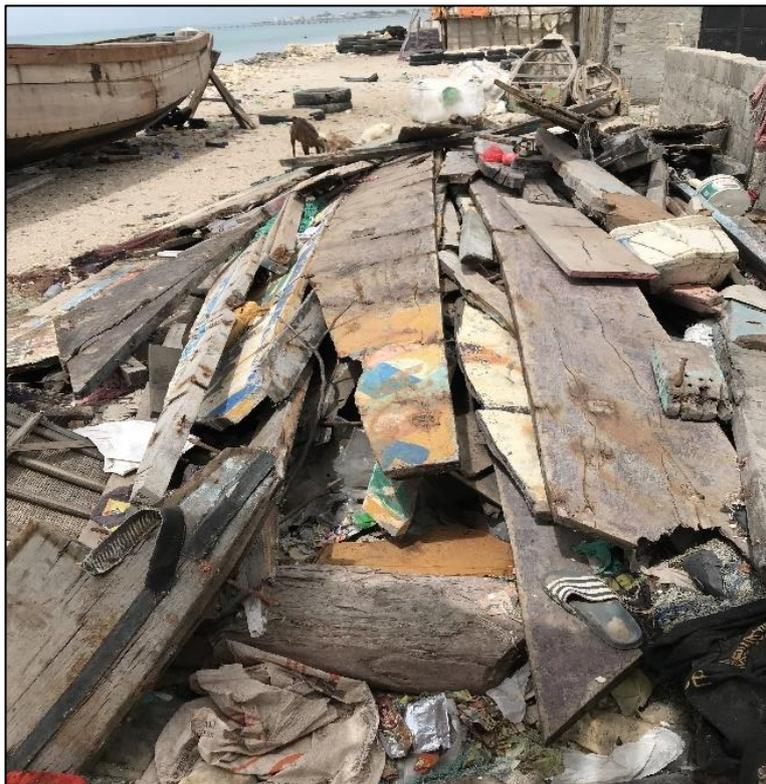
2.1. Les impacts de l'érosion côtière sur les activités de la pêche

Les activités liées à la pêche sont plus exercées sur le littoral de Rufisque. Elles sont pratiquées par plus (60%) de la population interrogée. En effet, la pêche est considérée comme le poumon de l'économie en tant que première activité économique de la zone. On peut distinguer trois types de pêche selon les populations :

- ✓ la pêche à la senne qui s'effectue sur une distance d'environ 300 à 800m. Elle contribue à l'approvisionnement en poissons frais de la ville ; mais elle est pratiquée de moins en moins de nos jours, du fait de la rareté des espèces pélagiques à cause de la pollution ;

- ✓ la pêche au filet tournant qui se fait au large et débarquant généralement des poissons de la même espèce suivant les saisons ;
- ✓ enfin la pêche au filet dormant qui se pratique non loin de la côte sur des embarcations de taille moyenne et motorisée.

L'estran et la haute plage étant leur espace de travail sont rétrécis avec le recul du trait de côte. Il en est de même pour le matériel (pirogues de pêche), détruit par la forte pression des vagues (photographie 11).



Photographie 11 : Destruction des matériels de pêche dans le quartier de Mérina I (Faye, septembre 2022)

Les pêcheurs autochtones sont confrontés à d'énormes problèmes liés au recul du trait de côte. Les débarcadères des pirogues sont envahis par la mer 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. Les pêcheurs de la zone sont obligés de se rendre au « quai de pêche », située dans le quartier de Ndéppé, afin de stationner leurs pirogues et de débarquer leurs produits de pêche.

Les autres acteurs victimes de l'avancée de la mer sont les transformateurs des produits halieutiques. En effet, le retrait constant de l'espace littoral engendre d'énormes difficultés pour

la transformation des produits halieutiques. C'est ainsi que 58% de la population témoigne de l'ampleur des pertes causées par l'avancée de la mer (figure 19).

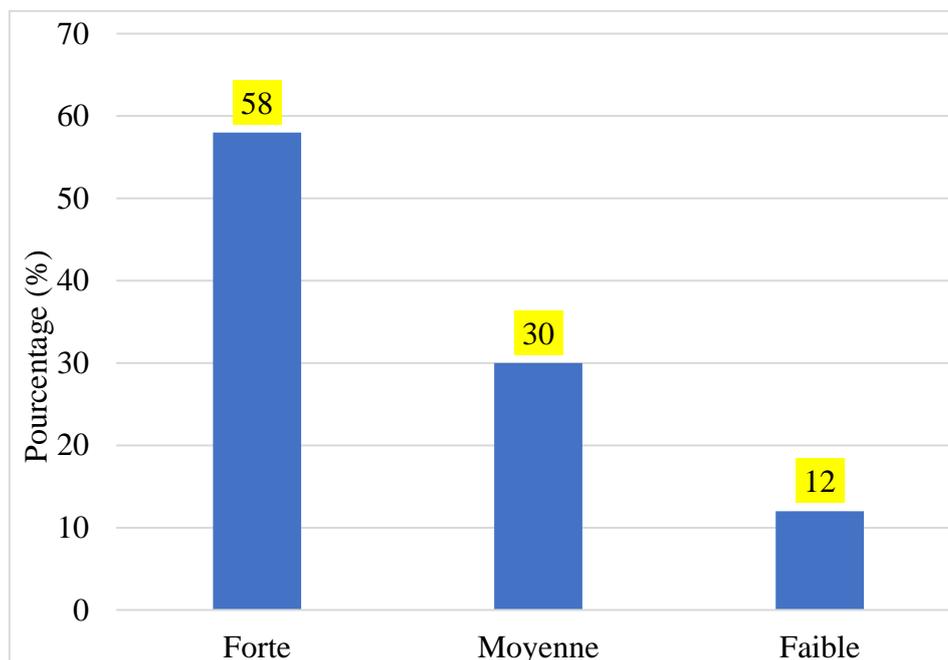


Figure 19 : Appréciations de la population sur l'ampleur de ces pertes d'activités (Enquêtes Faye, 2022)

Les enquêtes de terrain révèlent une perte importante d'activités et matériel de pêche. L'analyse de la figure 20 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.

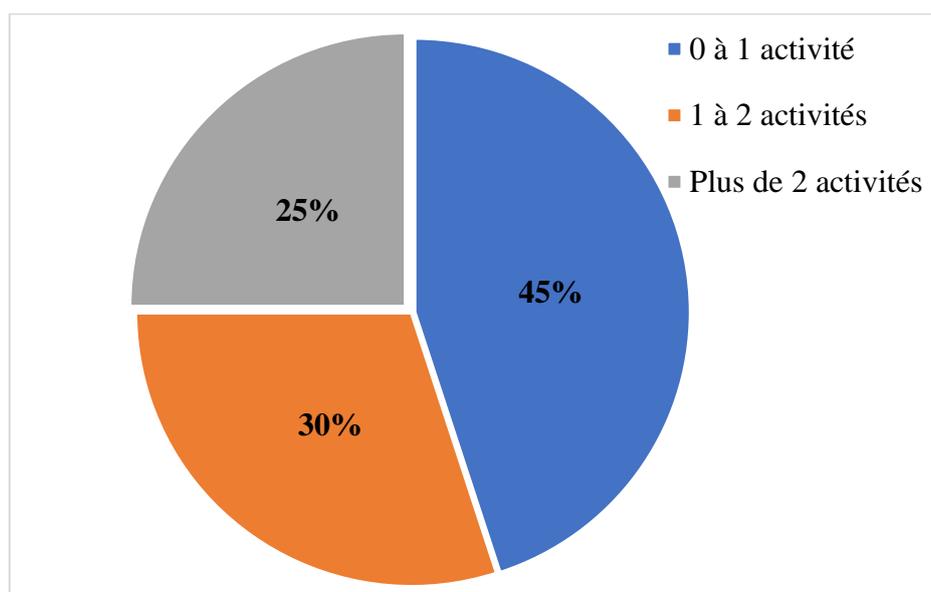


Figure 20 : Activités de pêche perdue à cause de l'avancée de la mer (Enquêtes Faye, 2022)

A ces pertes matérielles et économiques, viennent s'ajouter la destruction des infrastructures et biens sociaux.

2.2. La destruction des biens sociaux, une conséquence de l'érosion côtière

Les habitants de la ville de Rufisque voient certains de leurs biens détruits par l'érosion côtière sous leurs regards impuissants (photographie 12).



Photographie 12 : Effets de l'érosion sur l'école primaire de Mérina 1 et de l'usine Bata
(Source : Faye, septembre 2022).

Ainsi, en période de haute marée, l'eau déborde et envahit toute l'école primaire de Mérina (photographie 12. A) qui est déjà érodée en grande partie. Il en est de même pour l'usine Bata (photographie 12. 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.

2.3. La destruction de l'habitat

L'avancée de la mer touche aussi les maisons, les mosquées et les églises. 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 de l'attaque marine ou susceptible de l'être. Ainsi, le principal site d'accueil était le quartier d'Arafat, situé près de l'ancien camp marchand de Rufisque. La multiplication des dégâts sur le littoral de Rufisque a

favorisé un déplacement massif de ces populations riveraines, d'où la naissance des quartiers Arafat I et Arafat II. La photographie 13 permet d'observer des constructions à usage d'habitations détruites par l'érosion côtière.



Photographie 13 : Destruction des habitations sur la plage de Diokoul Wague (Faye, septembre 2022)

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.

De plus, 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.

2.4. La pollution des plages

L'utilisation des plages 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. En effet, tous les déchets déposés à la mer seront rejetés par la mobilité du trait de côte. 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 et esthétiquement viable et vivable. Par conséquent, des mesures appropriées devraient être prises pour atténuer les dégâts et améliorer la survie de ce littoral nettement menacé de nos jours.

Conclusion chapitre 5

Les conséquences environnementales observées sur le littoral de Rufisque sont en grande partie le résultat de l'hydrodynamisme naturel de la côte. En effet, l'environnement côtier de Rufisque est affecté par une perturbation de ses unités géomorphologiques, ce qui entraîne un déséquilibre des échanges sédimentaires de la plage. Ainsi, ce décapage de sédiments favorise le recul de la végétation littorale, suite à l'action de l'érosion littorale. Cet espace est un milieu où se développent des activités socioéconomiques qui subissent ainsi les impacts des changements environnementaux. Les biens sociaux et les constructions situées sur cette frange côtière sont de nos jours menacés par le phénomène de l'avancée de la mer. Face à une telle situation, il est nécessaire de réfléchir sur des perspectives d'aménagements de cette entité linéaire, afin d'atténuer ou de protéger les communautés et les activités menacées.

CHAPITRE 6 : STRATÉGIES DE PROTECTION CONTRE L'AVANCÉE DE LA MER ET PERSPECTIVES D'AMÉNAGEMENTS DU LITTORAL DE RUFISQUE

L'étude de l'évolution du trait de côte réalisée sur le littoral de Rufisque a permis de mieux appréhender la nature des problèmes environnementaux et socioéconomiques, engendrés par l'érosion littorale. En effet, cette étude a permis d'identifier les facteurs ainsi que les manifestations de la dynamique actuelle afin d'améliorer la compréhension du système littoral de Rufisque. La compréhension des facteurs explicatifs de cette dynamique littorale caractérisée de manière globale par un recul progressif de la côte permet aux autorités administratives et aux décideurs d'accéder aux informations scientifiques mises en évidence dans la cinématique du trait de côte de Rufisque. Une compréhension approfondie sur le fonctionnement hydrodynamique de cet environnement permet d'envisager des solutions d'aménagements et de protection du paysage côtier. D'où l'analyser des stratégies de protection déjà en cours sur le littoral de Rufisque.

I. Analyse des stratégies de protection en cours sur le littoral de Rufisque

L'avancée de la mer dans la ville de Rufisque se traduit par des conséquences environnementales, qui influencent sur les conditions de vie des populations. Face à une telle situation alarmante, les populations locales, les collectivités territoriales ainsi que les partenaires tentent de protéger le littoral par des aménagements avec différents moyens. Selon les informations collectées sur le terrain, 55% de la population ont cité comme aménagements des mesures structurales ou collectives observés sur le littoral de la ville de Rufisque et 45% de mesures communautaires (figure 21).

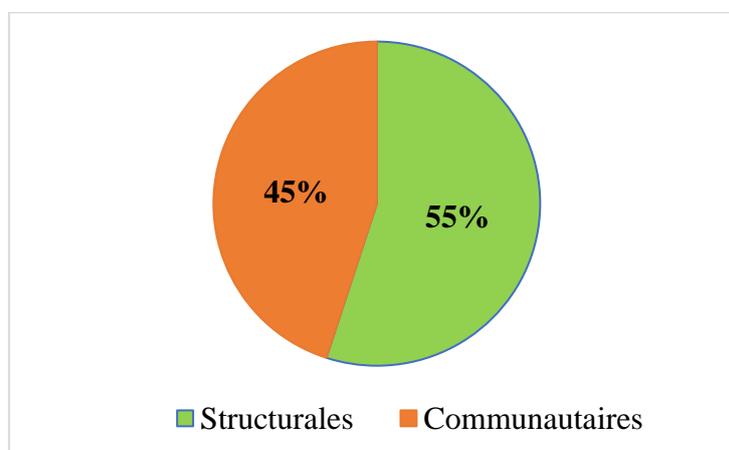


Figure 21 : Stratégies de protection sur le littoral de Rufisque (Enquêtes Faye, 2022)

1.1. Les stratégies communautaires

Les différentes stratégies d'adaptation à l'avancée de la mer observées sur le littoral de Rufisque sont principalement l'utilisation de sacs de sables, de blocs de roches sédimentaires et de pneus. Cependant, nous avons constaté deux types d'utilisation de pneus ; dans certaines zones les pneus sont superposés horizontalement et remplis de sacs de sable et dans d'autres zones, ils sont remplis de roches sédimentaires ou des blocs en ciment. Ainsi, ces roches sédimentaires (calcaire) communément appelées « *Pierre de Rufisque* » sont constituées essentiellement de calcaire, ce qui fait qu'elles ne sont pas durables car elles se dégradent au fil du temps à cause de leur contact avec l'énergie des vagues. Il en est de même pour les sacs de sable car les sédiments se rétrécissent avec les fluctuations du trait de côte (photographie 14).

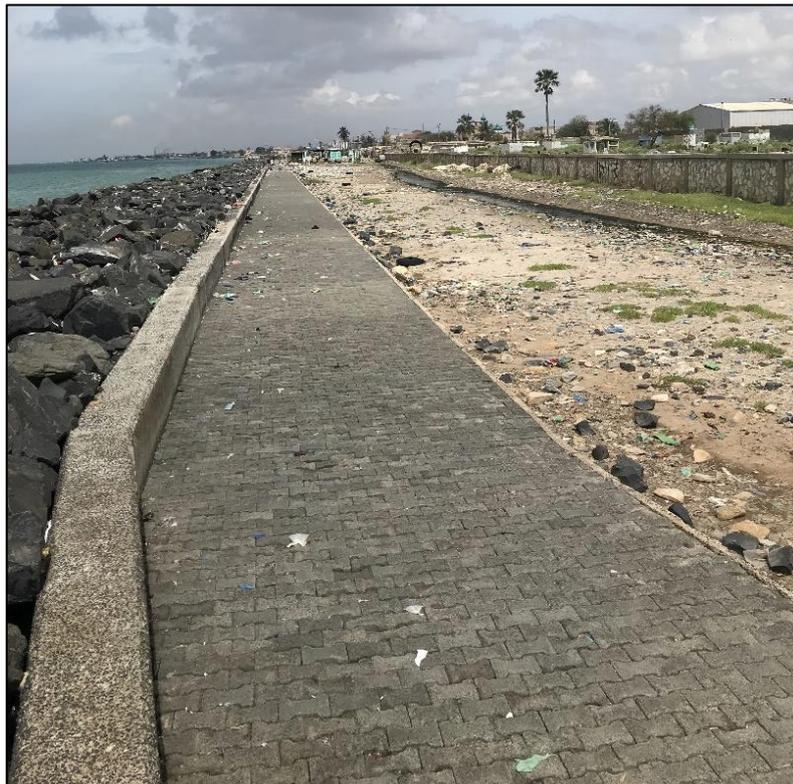


Photographie 14 : Stratégies communautaires d'adaptation à l'avancée de la mer, observées sur le littoral de Rufisque (Faye, septembre 2022)

Ainsi, malgré les efforts fournis par les populations locales, leurs aménagements sont encore inefficaces face à l'érosion côtière. Cependant, d'autres stratégies de protection ont été mises en place par les autorités locales. Elles sont d'ordre structural.

1.2. Les stratégies structurales (collectives)

Ce sont des méthodes basées sur la construction des ouvrages de protection durables à base de roches naturelles. Même si ces ouvrages entraînent une stabilisation de la ligne de rivage, ils sont plus utilisés dans la zone sous forme de barrage ou de mur. En effet, ils offrent des possibilités de défenses plus rigides face à la force des vagues. C'est pourquoi des projets d'immenses installations structurales de protection côtière telles que des digues, des épis, des enrochements et des murs ont été mis en œuvre par l'Etat et les structures (*Green*, Enda tiers monde) sur le littoral de Rufisque. Le dernier type d'aménagement contre l'érosion côtière sur ce littoral est la digue frontale de protection côtière de Thiawlène, inaugurée en juillet 2013 (photographie 15).



Photographie 15 : Digue frontale de protection côtière de Thiawlène (Faye, septembre 2022)

Cette digue qui s'étend sur une longueur de 730m et une largeur de 23m a coûté environ trois milliards six cents millions de francs CFA. La construction de cette nouvelle digue (commune de Rufisque Est) a été décidée lors du drame survenu au mois de juillet 2007 après

l'effondrement du mur de clôture des cimetières. Pour rappel ces cimetières ont été envahis par la mer, ce qui avait causé de dégâts énormes aux communautés. Cet ouvrage est conçu à base de roches basaltiques, jugées plus résistantes au contact des vagues que les roches sédimentaires (*Pierre de Rufisque*). Les observations des populations locales ont permis d'analyser l'efficacité de ces types d'ouvrages (figure 22).

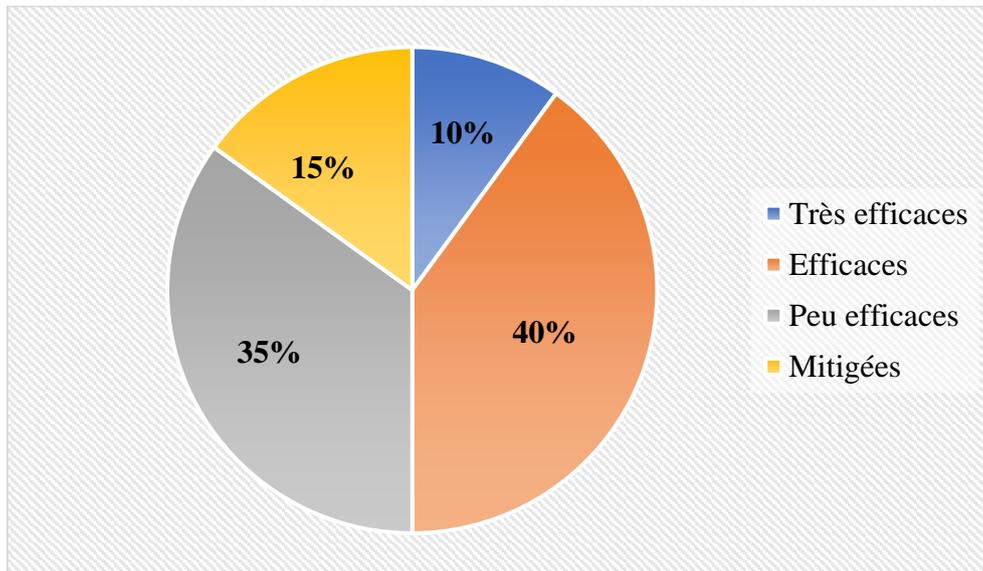


Figure 22 : Perception de l'efficacité des ouvrages de protection d'ordre structural par les populations (Enquêtes Faye, 2022)

Cette appréciation est cependant relative car 35% trouvent que ces types d'ouvrages sont peu efficaces. En effet, une bonne partie de l'ouvrage est en train de s'affaisser, ce qui permet à la vague de traversée en période de haute marée. D'ailleurs, 15% des personnes enquêtées donnent un avis mitigé sur ces ouvrages, car ils sont incapables de stopper l'avancée des eaux marines. Seuls 10% des populations soutiennent que l'ouvrage est très efficace.

Globalement ces infrastructures permettent d'atténuer l'avancée de la mer, mais leurs résultats sont mitigés. D'où la nécessité d'améliorer les stratégies de protection et d'aménagement de cet environnement côtier à partir des dynamiques en cours.

II. Esquisse d'amélioration de l'aménagement du littoral de Rufisque au regard de sa dynamique en cours

Les problèmes identifiés dans cet espace linéaire sont d'ordre divers mais l'érosion côtière est le principal indicateur de dégradation environnementale aux conséquences dramatiques (destructions des biens sociaux, submersion, perturbation des activités littorales, etc.). D'autant

plus que le littoral de Rufisque présente des opportunités économiques et industrielles, il nécessite des enjeux d'aménagements pour assurer sa protection.

2.1. Des mesures pour lutter contre l'avancée de la mer

Les résultats de nos travaux ont montré que littoral de Rufisque a connu une dynamique globalement régressive qui le rend vulnérable face aux assauts des agents hydrodynamiques. Cependant, il faut souligner aussi que les aménagements situés à proximité du rivage, et/ou dans le domaine public maritime contribuent parfois au déséquilibre du système côtier. En effet, ces installations modifient le paysage côtier en détruisant les dunes qui bordent les plages. Les stocks de sable indispensable à l'équilibre sédimentaire sont déséquilibrés. A cela, s'ajoute aussi la pollution des eaux littorales engendrée par les effluents urbains rejetés en mer, entraînant ainsi une dégradation des herbiers qui couvre l'avant-plage. Il est donc nécessaire d'envisager :

- des campagnes de reboisement des plantes caractéristiques du milieu comme le « *Casuarina equisetifolia* » (Filao), qui ont de bonnes capacités de fixation de sable par leur système racinaire. En effet, ces formations végétales jouent un rôle important dans la lutte contre l'érosion côtière. Elles freinent les courants marins et retiennent une importante quantité des sédiments (sable) qu'ils transportent, ce qui contribue par conséquent à un équilibre sédimentaire du système littoral. Etant donné que les houles du Nord-ouest et Sud-ouest sont diffractées et réfractées autour de la tête de la presqu'île du Cap-Vert, il faut penser à la réalisation des :
- des épis ou de brise-vagues qui sont perpendiculaires à la côte et qui freinent le transport de sédiments dû à la dérive littorale. Ces dernières stoppent les courants chargés de sédiments de sable en les permettant de se déferler parallèlement au rivage. Cela va provoquer une accumulation de sédiments du côté amont de l'ouvrage ;
- des brise-lames qui permettent d'arrêter ou de casser l'énergie de la vague. Comme son nom l'indique, ce sont des constructions placées en mer à quelques dizaines de mètres du trait de côte et qui sont destinées à briser la force des vagues un peu plus haute venant du large. Cet ouvrage va permettre de protéger la zone côtière en lui dissipant l'énergie des houles. La photographie 16, montre un système de protection similaire à un brise-lames sur le littoral de Rufisque dans le quartier de Diokoul Kaw.



Photographie 16 : Brise-lame naturelle observée sur le littoral de Rufisque dans le quartier de Diokoul Kaw (Faye, septembre 2022)

Ces ouvrages sont sans doute les lignes de défenses les plus efficaces contre les assauts de la mer, mais aussi ils font partie des plus anciennes. Compte tenu des potentialités socioéconomiques et industrielles qui se développent dans cette zone, il est donc nécessaire de protéger le littoral de Rufisque contre l'avancée de la mer.

2.2. Des mesures pour protéger le littoral de Rufisque

La zone littorale de Rufisque est soumise aux changements environnementaux globaux et à l'accroissement des pressions humaines locales et régionales. Ces facteurs induisent une adaptation à la population aux effets érosifs et à la raréfaction des ressources halieutiques dues à la pollution domestique et industrielle. Les résultats de notre étude ont montré que la pêche est la première activité économique traditionnelle de la zone et reste toujours le poumon de l'économie de la ville. Même si des efforts sont faits pour la sauvegarde de celle-ci, l'essentiel des activités liées à la pêche maritime est aujourd'hui menacé par une avancée considérable de la mer.

Dans la perspective de rendre la ville de Rufisque en une ville de développement économique durable, il faut que l'espace littoral soit non pollué, bien aménagé avec un cadre de vie idéal. Pour ce faire, il faut penser à un réaménagement de l'espace côtier en se débarrassant des dépotoirs d'ordures le long du littoral pour rendre ce milieu plus attractif et plus accueillant en

mettant en place des espaces de travail et de loisirs. Cette perspective de réaménagement du littoral de Rufisque fait partie des solutions les plus probantes pour redynamiser l'espace côtier avec des politiques efficaces et efficientes dans la lutte contre la prolifération des dépotoirs sur le littoral. Bien vraie que l'UCG (Unité de Coordination et de la Gestion des déchets solides) fait un travail remarquable sur la propreté de la ville, il faut aussi que les politiques publiques, les ONG mettent en place des actions pour la protection et la sauvegarde du littoral visant à apporter des solutions durables, offrant des opportunités économiques, culturelles et sociales. Ceci va être un projet porteur d'emplois et des revenus aux jeunes. Vue les potentialités économiques et les opportunités du littoral de Rufisque, il est important de prendre des dispositions nécessaires pour assurer sa protection étant donné que la pêche artisanale est le secteur phare pour l'amélioration des conditions de vie de la plupart des populations locales.

III. Des mesures de conservation et de gestion des ressources halieutiques

Les enjeux socioéconomiques identifiés sur le littoral de Rufisque devront inciter les autorités publiques à mettre en place des politiques de conservation et de gestion concertées des ressources halieutiques. En effet, la pêche occupe une place de choix dans l'économie de notre pays (Sénégal) à l'image de la plupart des pays côtiers. Mais elle est de nos jours menacée à cause de la raréfaction des ressources halieutiques, la surexploitation des produits de la mer due à un libre accès à la mer, des systèmes de pêche non réglementés ainsi que les changements climatiques qui influencent la dynamique marine (GIEC, 2001).

3.1. Des politiques de gestion pour protéger le secteur de la pêche

L'Etat du Sénégal doit prendre conscience de la dégradation avancée des ressources de la mer et d'appliquer les nouvelles politiques de gestion comme l'instauration d'aires marines protégées (AMP) sur tout le long du littoral comme l'indiqué dans le décret N° 2004-1408 du 04 novembre 2004. Ces AMP ont pour mission de conserver les ressources pour assurer la reproduction, de réglementer les systèmes de pêche et de protéger les espèces qui sont menacées. Ainsi, la non-maitrise de la pêche artisanale et industrielle, cumulé aux manques de moyens de surveillance des pêches est à l'origine de la surexploitation des produits de la mer, ce qui se traduit par une disparition de certaines espèces de poissons sénégalais comme le « thiof ». Face à une telle situation le gouvernement du Sénégal doit réagir en mettant l'accent sur la création d'aires marines protégées ou le renforcement du contrôle de pêche. Dans ce contexte économique et social qu'est intervenu le PNUE (Programme des Nations-Unies pour l'Environnement), en collaboration avec le CRODT (Centre de Recherche Océanographique de Dakar-Thiaroye) et le Ministère de la pêche, pour faire une étude sur des politiques de gestion

durable des ressources halieutiques au Sénégal afin de satisfaire les besoins alimentaires des populations.

L'Etat du Sénégal doit aussi procéder à la responsabilisation des acteurs locaux. En effet, la gestion des ressources en milieu côtier reste toujours un enjeu majeur dans l'aménagement du littoral. Les ressources halieutiques sont soumises à une forte pression suite au développement de la pêche artisanale pratiquée par des pêcheurs autochtones et des migrants et la pêche industrielle effectuée par des bateaux plus ou moins contrôlés. Cela doit inciter les organismes publics à prendre des mesures pour régulariser la surexploitation des ressources. L'application de certaines dispositions est à l'origine de tension et de conflit lié à la diversification de certains usagers d'où l'importance de la mise en vigueur des lois et des normes à respecter pour réorganiser l'environnement littoral.

3.2. L'application de la loi pour la protection du littoral

La mise en œuvre d'un cadre juridique réglementaire et une gestion concertée de l'environnement littoral doit constituer l'une des préoccupations des pouvoirs publics sénégalais. Ainsi, la loi n°2002-01 du 15 janvier 2001, portant code de l'environnement permet de prendre en compte des éléments fondamentaux de la protection de l'environnement et d'appliquer les textes de base servant de loi-cadre au Sénégal. En effet, le non-respect de ces lois a entraîné des aménagements de manière individuelle du domaine public maritime (DPM), une accélération de l'urbanisation par l'occupation anarchique et illégale de la zone littorale. Or, le DPM est soumis à toute législation foncière et fait partie du domaine de l'Etat. De ce fait, la Loi n°76-66 du 02 juillet 1976 portant Code du domaine de l'Etat définit le domaine public maritime comme la zone littorale faisant partie du domaine public naturel de l'Etat. Le manque de volonté des pouvoirs publics explique le non-respect des dispositions réglementaires prévues en matière d'aménagement du littoral. Malgré la mise en œuvre de l'acte III de la décentralisation, les collectivités locales n'ont toujours pas un pouvoir absolu sur le domaine public maritime. Il est donc nécessaire de procéder à un transfert des compétences de gestion de l'environnement aux collectivités locales, avec l'adoption de nouveaux instruments de planification stratégique comme le plan national d'actions pour l'environnement (PNAE). Car, il paraît urgent de faire appliquer la loi sur le domaine public maritime pour protéger le reste du littoral ; d'interdire les constructions et installations non réglementées sur la bande littorale à moins de 100mètres ; l'interdiction des activités d'extraction de sédiments sur la frange côtière nuisibles aux cordons littoraux ; faciliter l'accès à la plage pour tous ; prendre conscience des aménagements individuels de protection contre le recul de trait de côte dans la

loi sur le littoral. Même si des efforts sont fournis par l'Etat en matière de politiques publiques, le littoral de Rufisque est soumis à l'absence d'aménagements cohérents, car les problèmes d'érosion côtière persistent toujours.

Conclusion chapitre 6

Le littoral de Rufisque, à l'image de la plupart des littoraux sénégalais est une zone soumise à une pression anthropique et industrielle. Etant un théâtre d'activités économiques local et national, le besoin de loi de planification de son espace littoral s'impose. Contenu des aménagements en cours et des enjeux économiques, la mise en place d'un cadre réglementaire de cet environnement littoral demeure toujours un problème.

Conclusion de la troisième partie

Dans la zone littorale de Rufisque, l'avancée de la mer continue à gagner de plus en plus du terrain. Les dégâts (matériels et socioéconomiques) sont plus intenses du fait de la montée du niveau de la mer, de la force d'énergie des houles et des vagues. Celles-ci engendrent la modification du paysage côtier, le recul du couvert végétal, des submersions. L'avancée de la mer est plus menaçante dans les quartiers dépourvus d'ouvrages de protection comme à Mérina 1, Diokoul Wague, près de la centrale électrique de cap des biches, à la sortie de Thiawène. L'hydrodynamisme accentue la sensibilité de ces zones. Au regard de la faible efficacité des ouvrages de protection en cours, des perspectives d'aménagements se dégagent pour atténuer la vulnérabilité environnementale et socioéconomique du littoral de Rufisque.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Ce mémoire portant sur l'évolution morphodynamique du littoral de la ville de Rufisque, a pour principal objectif de comprendre l'évolution morphodynamique, ses impacts à l'échelle locale. Il est fondé sur un travail de combinaison d'outils d'analyses spatiales (SIG et Télédétection). Ainsi, les résultats ont montré que l'évolution du littoral de Rufisque s'inscrit dans la dynamique de ceux d'Afrique de l'Ouest. L'évolution morphodynamique du linéaire côtier de Rufisque est régie par des facteurs naturels (houle, dérive littorale, courants, vagues, topographie...) et anthropiques. Les interventions humaines sont devenues un facteur de perturbation de l'équilibre du système littoral de Rufisque. L'analyse diachronique basée sur l'utilisation du modèle *DSAS* « *Digital Shoreline Analysis System* » a permis de calculer les statistiques d'évolution du trait de côte, avec un choix minutieux d'un indicateur de trait de côte répondant aux différents soucis liés à la fiabilité des résultats. Ainsi, la ligne instantanée de rivage a été choisie selon le protocole mis en place pour suivre l'évolution historique de cette entité linéaire. Par ailleurs, le calcul des statistiques d'évolution du trait de côte a été effectué par un choix des indices selon leurs pertinences. *L'EPR (End Point Rate)* est choisie pour étudier l'évolution du trait de côte sur des intervalles de temps, soit deux dates successives. Or, le *LRR (Linear Regression Rate-of-change)*, étudie l'évolution du segment mesuré sur toute la période considérée. Selon les résultats de la série chronologique (1973 à 2022), l'érosion a été plus active de 1973 à 1990 allant jusqu'à $-7,99\text{m/an}$ avec un taux moyen de $-4,05\text{m/an}$, tandis que l'accrétion a eu lieu de manière successive de 1990 à 2022. Même si des phénomènes d'accrétions sont observés à partir de 1990 jusqu'à 2022, la côte de Rufisque est inscrite globalement dans une tendance régressive sur toute la période étudiée. Toutefois, ces résultats intègrent des marges d'erreur qui sont dues à la diversité des images géospatiales utilisées (*Landsat et Google Earth pro*). Les autres sources d'erreurs sont liées à la digitalisation (saisie), au géoréférencement (*Root Mean Square Error*) et à l'oscillation de la marée. C'est ainsi que la correction de ces erreurs a permis d'arriver à une meilleure interprétation des résultats obtenus. L'étude a aussi révélé que malgré les efforts fournis, l'érosion est toujours active le long du littoral de Rufisque avec de graves effets sur les communautés riveraines. Il a été remarqué que les stratégies communautaires d'adaptation sont inadaptées et temporaires pour faire face à l'érosion marine. Des ouvrages de protection tels que des digues ont été installés sur le littoral de Rufisque. Seules les zones de Thiawlène et Diokoul Kaw sont bénéficiaires de ces types d'infrastructures, tandis que dans les autres localités du littoral de Rufisque, la situation est toujours alarmante.

Au regards des impacts de l'érosion côtière dans ce contexte de changement permanent, des efforts en termes d'aménagements durables de protection littoral doivent être concentrés davantage le long des localités côtières. Ainsi, il est nécessaire d'impliquer tous les acteurs dans la gestion du littoral. Ce mémoire reste également dans la perspective que la dimension communautaire doit être intégrée dans les plans locaux et nationaux d'aménagement littoral. L'ensemble de ces interrogations interpellent les spécialistes sur les questions d'aménagements littoraux dans la prise de décisions afin de mieux comprendre le fonctionnement du système littoral et d'éviter les interventions individuelles qui peuvent être source de conséquences néfastes pour l'avenir de cet environnement. En effet, la mise en œuvre d'un cadre juridique réglementé et une gestion concertée de l'environnement côtier est recommandée. Mais aussi l'établissement des règles et lois qui veillent à la fois sur l'occupation et les modes d'exploitations de cette entité linéaire. Ce travail de mémoire n'est que le début des recherches sur le littoral ouest-africain, particulièrement dans la presqu'île du Cap-Vert.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ABE J., 2005 : Contribution à la connaissance de la morphologie et de la dynamique sédimentaire du littoral ivoirien (cas du Littoral d'Abidjan) : essais de modélisation en vue d'une gestion rationnelle. *Thèse d'Etat Es-Sciences Naturelles, UFR des Sciences de la Terres et des Ressources Minières, Université de Cocody*, 352 p.

ADJOUSSE P., 2001 : Impact du prélèvement de sable marin sur l'évolution du trait de côte à Yoff : Essai d'étude de vulnérabilité (Presqu'île du Cap Vert). *Mémoire de DEA, UCAD*, 72p.

ANSD., 2013 : Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie : Recensement Général de Population et de l'Habitat, de l'Agriculture et de l'Elevage. *Ministère de l'Economie, des Finances et du Plan, Sénégal*, 418 pages.

BA K., 2013 : Contribution de la télédétection et des SIG à l'étude de l'évolution de la langue de barbarie et de l'estuaire du fleuve Sénégal. *Thèse de Doctorat, UCAD, Dakar*, 218p.

BAKHOUM P., DIAW A. T., SAMBOU B., NIANG D., 2018 : Une presqu'île en érosion côtière ? Dakar, la capitale sénégalaise face à l'avancée de la mer dans le contexte du changement climatique. *TI Journal, Volume 2 Issue 1*, pp. 91-108.

BANQUE MONDIALE., 2010 : Rapport de la Mission de Préparation de « l'évaluation Economique de l'Adaptation aux Changements Climatiques de la Zone Côtière Sénégalaise » du 22 mars au 02 avril 2010. *Sénégal*, 65 pages.

BANQUE MODIALE., 2011 : Profil pays du risque climatique et de l'adaptation : Sénégal. 2011. USAID, 7 p. [wb_gfdr climate_change_country_profile_for_SEN.pdf](#) [accès: 4.07.2022].

BARRY M., 2017 : Erosion côtière et impacts dans la commune de Kafountine (Basse Casamance). *Mémoire de Master 2, UASZ*, 123p.

BARRY M., DIEYE E. H. B., SANE T., SY O., SOLLY B., 2019 : Dynamique du trait de côte de la commune de Kafountine (Basse Casamance, Sénégal). *Laboratoire Mixte International, Patrimoine et Territoire de l'Eau (LMI PATEO)*, pp. 381-391.

BIRD E. C. F., 2007 : Coastal geomorphology. An introduction. *John WILEY and Sons Ltd, Chichester*, 411 p.

BOAK, E.H., TURNER, I.L., 2005 : Shoreline Definition and Detection: A Review. *Journal of Coastal Research*, 21(4), pp. 688–703. *West Palm Beach (Florida), ISSN 0749-0208*.

CAZENAVE A et LLOVEL W., 2010 : Élévation contemporaine du niveau de la mer. *Bilan annuel de Marine Science*, vol. 2, 2010, pp. 145–173.

CREVOLA G., 1978 : Sills, Dyke et pipes de tufs volcaniques fluidifiés dans la presqu'île du Cap-Vert (Sénégal). *Géol.fr.*, p 135-139.

CSE., 2018 : Annuaire sur l'environnement et les ressources naturelles du Sénégal. *DAKAR*, 388 p.

DIA A., 1980 : Contribution à l'étude des matériaux volcaniques de la presqu'île du Cap-Vert et du plateau de Thiès. *Dép. Géol., Université de Dakar*. 92 p.

DIADHIOU Y B., 2010 : Vulnérabilité du littoral de Palmarin (Petite Côte, Sénégal) au Changement Climatique. *Mémoire de master 2, UCAD/DAKAR*, 68 p.

DIADHIOU Y B., 2017 : Littoral sénégalais : dynamique actuelle du milieu, modélisation et approche de la gestion des risques liés au changement climatique (DE JOAL A PALMARIN, PETITE COTE, SENEGAL). *Thèse de doctorat UCAD/DAKAR*, 227p.

DIALLO M., 2009 : Etude du centre-ville de Rufisque, mutations fonctionnelles et Caractéristiques du paysage urbain. Etude du-centre-ville-de-rufisque-caracteristiques-du-paysage-urbain-et-mutations. *Mémoire de maîtrise, UCAD*, 106p.

DIALLO S., 1982 : Evolution géomorphologique du littoral sur la Petite Côte à Rufisque. *Mémoire de Maîtrise, Université de Dakar*, 124 p.

DIATTA L. S., 2021 : Impacts de la dynamique du littoral entre Cabrousse et Boudiediette (Commune de Diembéring), Basse Casamance. *Mémoire de Master, UAS/Z*, 119 p.

DIAW A.T., DIOP N., THIAM M. D., THOMAS Y-F., 1991 : Remote sensing of spit development : a case study of Sangomar spit, Senegal. *Z. Geomorph., Berlin Stuttgart*, 81, pp. 115-124.

DIAW A. T. et al., 1992 : Gestion des Ressources Côtières et Littorales du Sénégal. *Actes de l'Atelier de Gorée. UICN, Gland, Suisse*, 484 p.

DIAW A. T., 1997 : Evolution des milieux littoraux du Sénégal. Géomorphologies et Télédétection. *UER Géographie, Université de Paris I Panthéon-Sorbonne*, 270 p.

DIOP-NIANG I., 1995 : L'érosion côtière sur la petite côte du Sénégal à partir de l'exemple de Rufisque passe-présent futur. *Thèse et documents micros affichés. Édition : ORSTOM. Université d'Angers, UER Environnement*, 477 p.

DOLAND R., HAYDEN B., 1983 : Patterns and prediction of shoreline change. In *Komar P.D. (ed) Handbook of coastal processes and erosion, CRC Press ed., Boca Raton (Ho.)*, p 123-149.

DUBRESSON A., 1979 : L'espace Dakar-Rufisque en devenir : de l'héritage urbain à la croissance industrielle. *ORSTOM, <https://horizon.documentation.ird>, Paris*, 371 p.

ELOUARD P., BRANCART R., HEBRARD L., 1976 : Notice explicative de la carte géologique de la presqu'île 1/20000 (Rufisque). *Dir. Mine et Géol. (Sénégal)*, 35 p, 5 fig.

ELOUARD P., 1980 : Géomorphologie structurale, lithologique et climatique de la presqu'île du Cap Vert (Sénégal). *Notes Africaines, Dakar*, 167 p.

FAYE G., 1993 : L'érosion côtière sur le littoral sud du cap vert à l'embouchure du Saloum (Sénégal). *Thèse de doctorat de 3e cycle U.C.A.D, Dakar, UCAD*, 293p.

FAYE I. B. N., 2010 : Dynamique du trait de côte sur les littoraux sableux de la Mauritanie à la Guinée-Bissau (Afrique de l'ouest) : Approche régionale et locale par Photo-Interprétation, traitements d'images et analyse de cartes anciennes ». *Thèse de doctorat, Université de Bretagne Occidentale, volume 1*, 321 p.

FAYE, S., 1995 : Etude géomorphologique du littoral de Joal-Fadiouth à Palmarin. *Mémoire de maîtrise géographie, FLSH, Dakar*, 84 p.

GIEC., 2007 : Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième. *Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, GIEC, Genève, Suisse*, 103p.

GIEC., 2019 : Rapport sur le changement climatique, la désertification, la dégradation des sols, la gestion durable des terres, la sécurité alimentaire et les flux de gaz à effet de serre dans les écosystèmes terrestres, 39p.

GNINGUE I., 2016 : Contribution à l'étude lithostructurale des formations géologiques de la presqu'île du Cap-Vert (Sénégal). *Mémoire de master UCAD, Dakar*, 65 p.

GUEYE T., 2004 : Morpho dynamiques littorales et crises environnementales dans la Communauté Rurale de Diembéring en Casamance. *Mémoire, Université Gaston berger de Saint-Louis, Sénégal*, 142p.

IBE A. C., QUELENNEC R. E., 1989 : Méthodologie d'inventaire et de contrôle de l'érosion dans la région de l'Afrique de l'Ouest et du centre. *Rapport et étude sur les mers régionales, n° 107, in Mers régionales*, 107 p.

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 de Pays de la Loire, Thèse de Doctorat, Université de Bretagne Loire, Université de Nantes, LETG-Nantes Géolittomer (UMR 6554, CNRS), 232p.

KOULIBALY C. T. et AYOADE O. J., 2021 : L'application du SIG et de la télédétection dans une analyse spatio-temporelle du recul du littoral à Rufisque, Sénégal. *Géomatique et Génie de l'environnement, Volume 15, Numéro 3, Sénégal*, 26 p.

KULING B., 2016 : Télédétection en milieu littoral, variation du trait de côte avec DSAS 4.3. *Partenariat public / privé états-unien*), 125p.

LEATHERMAN S. P., 2018 : Coastal Erosion and the United States National Flood Insurance Program. *Océan & Coastal Management, Volume 156, 2018, ISSN 0964-5691*, pp. 35-42.

MOORE L. J., 2000 : Shoreline mapping techniques. *Journal of Coastal Research, vol. 16, n°1*, pp. 111 - 124.

NGOM M. T., 2020 : Problématique de l'érosion côtière à NIANING, région de Thiès. *Mémoire De Master, UASZ*, 108p.

PASKOFF R., 2001 : L'élévation du niveau de la mer et les espaces côtiers, le mythe et la réalité. *Paris, Institut Océanographique*, 190p.

PENNOBER G., 1999 : Analyse spatiale de l'environnement Côtier de l'Archipel des Bijagos (Guinée Bissau). *Thèse de Doctorat, Université de Bretagne Occidentale*, 232p.

ROBIN M., 1995 : La télédétection : Des satellites au Système d'Information Géographique, analyse complète de processus de création d'un type essentiel d'information géographique. *Edition Nathan 1995-ISBN ; 209 190293-4*, 318p.

SALL M., 1982 : Dynamique et morphogénèse actuelle du Sénégal occidental. *Thèse de Doctorat d'Etat ès-Lettres, 2 tomes, Université Louis Pasteur, Strasbourg*, 604p.

SANE T., 2017 : Vulnérabilité et adaptabilité des systèmes agraires à la variabilité climatique et aux changements sociaux en Basse-Casamance (Sud-Ouest du Sénégal). *Préparée à l'Université Paris Diderot-Paris 7*, 377p.

SANE T., DIEYE EL. H. B., DIA A., DESCROIX L., SOW B A., DIEDHIOU P., DIAKHATE M D., NDOUR N., 2019 : Vulnérabilité des sociétés et des milieux côtiers et estuariens d'Afrique de l'Ouest. *Actes du Colloque international LMI-PATEO-UASZ, tenu à l'Université Assane Seck de Ziguinchor (Sénégal)*, 20p.

SARR K., 1998 : Erosion et Pollution littoral l'exemple de la plage de Rufisque (du cap des biches aux environs de Bargny). *Mémoire de maîtrise, UGB/Saint-Louis*, 117 p.

SOW A., 2020 : Evolution morpho sédimentaire des plages de la petite côte : cas de la station balnéaire de Saly (Sénégal). *Mémoire de Master II, UASZ*, 115p.

STAFFORD D.B., LANGFELDER J., 1971: Air photo survey of coastal erosion. *Photogrammetric Engineering, vol. 37*, pp. 565 - 575.

SY A., 2013 : Dynamiques sédimentaires et risques actuels dans l'axe Saint Louis-Gandiou, littoral Nord du Sénégal. *Thèse de doctorat, Université Gaston Berger de Saint-Louis*, 328p.

SY I., 2006 : Gestion de la salubrité à Rufisque (Sénégal), enjeux sanitaires et pratiques urbaines. *Thèse de doctorat à l'Université Louis Pasteur-Strasbourg*, 564p.

THIOR M., 2014 : Impacts environnementaux et socioéconomique de l'érosion côtière dans la communauté rurale de Diembéring (Basse Casamance). *Mémoire de Master, Université Assane Seck*, 132p.

THIOR M., SANE T., SY O., DESCROIX L., BA D. B., SOLLY B., MENDY V., 2019 : Analyse Spatiale de l'évolution du Trait de Côte Autour de l'embouchure du Fleuve Casamance (Sénégal) de 1968 à 2017, à Partir de l'outil DSAS. *European Scientific Journal*. p106.

THIOR M., SANE T., SY O., DESCROIX L., NDIAYE G L., SAMBOU K A., CISSOKHO D., SOLLY B., 2019 : Caractéristiques granulométriques et dynamique sédimentaire entre les différentes unités géomorphologiques du littoral de la Casamance, Sénégal. *Revue Science Technologie*, pp. 189 - 213.

THIOR M., SANÉ T., DIÈYE EL H. B., 2019 : Érosion côtière et impacts socioéconomiques dans la commune de Diembéring en basse Casamance (Sénégal). *Bulletin de l'IFAN*, n° 1-2, pp. 83-99.

THIOR M., 2020 : Dynamique du littoral de la Casamance : caractéristiques morpho dynamiques, changements environnementaux et impacts socioéconomiques. *Thèse de Doctorat, UAS/Z. UASZ*, 388p.

THIOR M., SY A., CISSE I., DIEYE E. H. B., SANE T., BA D., SOLLY B. et DESCROIX L., 2021 : Approche cartographique de l'évolution du trait de côte dans l'estuaire de la Casamance. *Article, numéro 131, Open Edition Mapped Monde*, 119-131p.

THIOR M., SANE T., SY A., DIEYE EL H. B., BARRY B., DESCROIX L., 2020 : Evolution morphologique du cordon sableux de la presqu'île aux oiseaux sur le littoral de la Casamance (Sénégal). *Revue Marocaine de Géomorphologie*. N°4. PP.11- 23. ISSN : 2508-9382

WEISSENBERGER S., NOBLET M., PLANTE S., CHOUINARD O., GUILLEMOT J., AUBE M., MEUR F. C., MICHEL G. E., GAYE N., KANE A., KANE C., NIANG A., SECK A., 2016 : Changements climatiques, changements du littoral et évolution de la vulnérabilité côtière au fil du temps : comparaison de territoires français, canadien et sénégalais. *Volume 16 numéro 3. Open Edition journal*, 59p.

WÉBOGRAPHIE

<https://doi.org/10.1146/annure-marine>.

[https:// www.greenfacts.org/fr/dossiers/changement-climatique](https://www.greenfacts.org/fr/dossiers/changement-climatique).

www.memoireonline.com.

www.google.scholar.com

<https://www.ansd.com>

<https://geoconfluence.com>

<http://bibnum.ucad.sn>

<https://www.rivieresdusud.sn>

<https://www.openedition.org>,

<https://www.jstor.org>,

<https://univ-senegal.scholarvox.com>,

<https://msp.org/publications/journals/>,

<https://uasz.sn/ressources-numérique/>

<https://revues.imist.ma/journal=remageom>

<https://www.institut-numérique.org>

<https://aquadocs.org>

<http://www.uscibooks.com/taylorhb.htm>

<https://horizon.documentation.ird>.

<https://climateknowledgeportal.worldbank.org/sites/default/files/2018-10/rine-120308-081105>

<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.04.004>

ANNEXES

ANNEXE 1 : Les marges d'erreurs

Erreur/Dates	1973	1990	2009	2022
Erreur de pixel	79	30	30	0,6
Erreur de géoréférencement (RMSE)	0,2	0,21	0,2	0,1
Erreur de numérisation	1	1	1,01	1
Erreur de positionnement globale du trait de côte	78.04	29.1	30	0,9
Périodes	1973-1990	1990-2009	2009-2022	1973-2022
Erreur globale en moyenne en m/an	0.06	0,01	0,02	0,18
Erreur sur la période en m	4.90	2.20	2.31	

ANNEXE 2 : Le questionnaire

Identification :

Enquêteur : Prénom.....Nom.....Tél.....

Date : ... / ... /

Enquêté :

Quartier :

PRENOM :

NOM :

TEL :

ADRESSE :

Profession :

Pêcheur Commerçant Fonctionnaire Guide touristique

Employé (e) d'hôtel Restauratrice Transformatrice Mareyeur Ouvrier

Autres

1°) Avez-vous une activité secondaire ?

Oui Non

2°) Si oui laquelle ?

3°) Si non, Pourquoi ?

4°) Ethnies : Lébou Sérères peulh autre

Age :

0-18 18-65 plus de 65

5°) Depuis combien de temps habitez-vous dans ce quartier ?

-5 ans 5-10 ans 10-15 ans 15-20 ans plus de 20 ans

Depuis toujours

Questions relatives aux facteurs de changements du littoral de Rufisque

6°) Quelle type de construction de la concession avez-vous ?

Traditionnel Moderne Mixte

7°) Quel type de revêtement de la concession avez-vous ?

Ciment sable carreaux

8°) Si c'est du sable, d'où provient-il ?

Carrières extrait de la plage sable autour de la concession

9°) Avez-vous accès à la plage ?

Oui Non pas totalement

10°) Sinon, pourquoi ?

Installation touristique construction illégale plage éloignée

Occupation anarchique de l'espace côtier

11°) Avez-vous remarqué un changement de votre environnement naturel ?

Oui Non Pas d'observation

12°) Si oui, comment est ce changement ?

Positif Négatif

13°) Si négatif, à quel niveau l'observez-vous ?

Recul du trait de côte inondations salinisation Autres

Questions relatives à l'évolution morphodynamique des plages

14°) Quelles observations faites-vous sur la plage ?

Avancée de le mer stabilisation Retrait de la mer Autres pas d'observation

15°) S'il y a avancé de la mer, depuis quand l'avez constaté ?

3 ans 5 ans 10 ans 15 ans Depuis toujours

16°) Combien de mètres par an ?

Moins d'un 1 m 1 à 2 m 2 à 3 m 3 à 4 m 4 à 5 m

17°) Quels sont les éléments qui vous indiquent l'avancée de la mer ?

18°) Le recul de la plage est-elle ?

Rapide Moyen Lent

19°) Cette avancée est-elle saisonnière ou permanente ?

Saisonnier Permanente

20°) Si c'est saisonnier, pendant quelle saison ?

Houle courte houle longue Ne sait pas

21°) Pendant quelle saison les houles sont plus fréquentes ?

Saison sèche saison humide Ne sait pas

22°) Si permanent, pendant qu'elle période l'avancée de la mer est plus rapide ?

Saison Sèche Saison des pluies

23°) Les facteurs à l'origine de cette avancée de la mer sont-ils d'ordre ?

Naturel anthropique les deux

24°) S'ils sont d'ordre naturel, quel en sont les principaux facteurs ?

Elévation du niveau de la mer Augmentation de la fréquence des vagues

Faible pente du milieu La nature de la plage

Autres facteurs.....

25°) S'ils sont d'ordre anthropique, quel en sont les principaux facteurs ?

Prélèvement de sable marin Constructions d'ouvrages

Occupation anarchique de l'espace côtier Exploitation des produits halieutiques

Forte urbanisation du milieu

Autres facteurs.....

Questions relatives aux impacts de l'érosion côtière

A- Impacts sur les activités socio-économiques

26°) Avez-vous exercé une (des) activité (s) socioéconomique(s) au bord de la mer ?

Oui non

27°) Si oui, quel est la nature ?

Commerce tourisme pêche agriculture Autres

28°) Avez-vous des problèmes de production ?

Oui non

29°) Si oui, à quoi sont-elles liées ?

Avancée de la mer ensablement salinisation inondations

Autres

30°) Comment appréciez-vous l'ampleur de ces pertes ?

Forte moyenne faible

31°) Depuis quand avez-vous fait cette remarque ?

10 ans 15 ans 20 ans plus de 20 ans

32°) Avez-vous perdu des activités en rapport avec la mer ?

Oui non

33°) Si oui, lesquelles et combien ?

0 à 1 1 à 2 2 et plus

34°) Quelle est la raison principale de ces pertes ?

Avancée de la mer inondations ensablement autres

35°) Avez-vous des solutions face à ce phénomène ?

Oui non

36°) Si oui, comment ?

37°) Etes-vous personnellement impacté par l'avancée de la mer ?

Oui Non

38°) Si oui ; Comment ?

Directement Indirectement

39°) Comment êtes-vous impacté ?

40°) Avec l'avancée de la mer, pratiquez-vous toujours votre activité ?

Oui Non

41°) Si non, quelle est votre activité de reconversion ?

B- Impacts environnementaux

1) Risques de submersion

42°) Etes-vous confronté à des inondations d'origine marine ?

Oui non

43°) Si oui, depuis quand ?

44°) Comment appréciez-vous le rythme d'avancement de la mer ?

Rapide moyen lent

45°) Y'a-t-il des infrastructures ou des maisons menacées de submersion ?

Oui non

46°) Si oui, quelles stratégies mettez-vous en place pour lutter contre ?

Mur de protection sac de sable dunes de pierres épis

47°) Avez-vous envisagé de se déplacer en cas d'avancement rapide de la mer ?

Oui non

48°) Vers où ?

2) Sur le milieu biophysique

49°) Avez-vous remarqué l'avancée de la mer vers le continent ?

Oui non

50°) Si oui, quels sont les impacts sur l'environnement ?

Destruction des infrastructures hôtelières dégradation des activités économiques Inondations
destruction de l'habitat

Autres

51°) Comment appréciez-vous l'intensité des dégâts ?

Importante Moyenne Faible

52°) Existent-ils des infrastructures qui sont démolies par l'avancée de la mer ?

Oui Non

53°) Si oui, quelle est la nature de ces infrastructures ?

Hôtels Restaurants Bâtiments artisanaux

Autres.....

54°) Qu'est ce qui explique cette situation selon vous ?

55°) A quel rythme pouvez-vous le qualifier ?

Rapide lent

56°) Y'a-t-il des espèces animales ou végétales qui sont victimes de ce fléau ?

Oui non

57°) Si oui, lesquelles et comment ?

3) Sur le tourisme

58°) Avez-vous des activités directement ou indirectement liées au tourisme ?

Oui non

59°) Si oui, quel genre ?

Employé (e) d'hôtel/campement commerce pêche

Autres activités.....

60°) Comment sont vos revenus liés au tourisme ?

Baisse stable augmentation

61°) Quel besoin le tourisme vous permet de satisfaire ?

Santé nourriture loyer scolarité autres besoin

62°) La destruction des infrastructures (hôtels/campements) affecte-elle les revenus liés au tourisme ?

Oui non

63°) Quels sont les hôtels/campements les plus touchés ici ?

64°) Depuis quand remarquez-vous ce phénomène et comment le vivez-vous ?

4) Sur la qualité de l'eau

65°) La qualité de l'eau est-elle inquiétante ?

Oui non

66°) Avez-vous facilement accès à l'eau ?

Oui non

67°) Sinon, quelles sont les difficultés ?

68°) Quelle eau consommez-vous ?

Robinet puit autres

69°) Quel est le goût de cette eau consommée ?

Salée saumâtre douce

70°) Dans quelle partie du quartier trouve-t-on ces types d'eau ?

Questions relatives aux stratégies de lutte mises en place

71°) Avez-vous établi des mesures de lutte contre l'avancée de la mer ?

Oui Non

72°) Si oui, quels genres ?

Individuelles Collectives Mesures traditionnelles

73°) Quelles sont les mesures individuelles.....

74°) Quelles sont les mesures collectives.....

75°) Quelles sont les mesures traditionnelles.....

76°) Ces mesures de lutte sont-elles efficaces ?

Peu efficaces efficaces très efficaces mitigées inefficaces

77°) Avez-vous envisagé d'autres types de stratégies de lutte ?

Oui Non

78°) Si oui, lesquelles ?

79°) Avec qui ?

Le Gouvernement Les ONG Des partenaires locaux

Des partenaires internationales Des associations Acteurs locaux

80°) Quel est votre point de vue sur les actions déjà en cours ?

81°) Avez-vous des recommandations ou des suggestions à faire ?

ANNEXE 3 : Le guide d'entretien

I. Manifestation de l'évolution morphodynamique du littoral

1°) Quel constat faites-vous sur la plage ?

2°) Quels sont les facteurs explicatifs des fluctuations du trait de côte sur le littoral ?

II. Impacts de l'érosion côtière sur la ville

3°) Comment percevez-vous l'avancée de la mer sur la ville ?

4°) Quels sont les conséquences les plus remarquables sur l'économie de la ville ?

III. Les stratégies de lutte contre l'avancée de la mer sur la ville de Rufisque

5°) Quelles sont les stratégies mises en place pour lutter contre l'avancée de la mer sur la ville de Rufisque ?

- 6°) Quelles sont les acteurs ou initiateurs de ces stratégies de lutte contre l'avancé de la mer sur la ville de Rufisque ?
- 7°) Quels sont vos partenaires dans la mise en place de ces stratégies ?
- 8°) Quel genre de partenariat avez-vous ?
- 9°) Quelle appréciation faites-vous sur la nature de ce partenariat ?
- 10°) Comment jugez-vous l'efficacité et la durabilité de ces stratégies déjà en cours ?

LISTES DES ILLUSTRATIONS

Liste des figures

Figure 1 : Répartition ethnique de la population	18
Figure 2 : Principales activités des populations	19
Figure 3 : Correction géométrique de l'image <i>Landsat</i> de 1973	34
Figure 4 : Correction géométrique des images <i>Google Earth</i>	35
Figure 5 : Ligne instantanée de rivage sur les images <i>Landsat</i> : composition colorée 321 (A) et 432 (B)	46
Figure 6 : Les composantes (entités) d'une géodatabase personnalisée.....	52
Figure 7 : Table attributaire des indices <i>EPR</i> et <i>LRR</i>	54
Figure 8 : Synthèse de la méthodologie de calcul de l'évolution du trait de côte	60
Figure 9 : Des courants générés par la houle.....	65
Figure 10 : Directions dominantes des vents à la station de Dakar-Yoff (2020)	70
Figure 11 : Perceptions de la population sur les plages de Rufisque.....	74
Figure 12 : Appréciation du rythme d'avancée de la mer par la population	75
Figure 13 : Origine du sable utilisé pour la construction des maisons	83
Figure 14 : Types de construction des concessions.....	83
Figure 15 : Perceptions de la population sur les changements environnementaux observés sur le littoral de Rufisque.....	102
Figure 16 : Nature des modifications observées sur le littoral de Rufisque	102
Figure 17 : Statistiques d'évolutions des superficies d'occupation du sol de la ville de Rufisque (1973- 2022).....	105
Figure 18 : Perceptions des populations sur les inondations d'origine marine	109
Figure 19 : Appréciations de la population sur l'ampleur de ces pertes d'activités	111
Figure 20 : Activités de pêche perdue à cause de l'avancée de la mer.....	111
Figure 21 : Stratégies de protection sur le littoral de Rufisque	115
Figure 22 : Perception de l'efficacité des ouvrages de protection d'ordre structural par les populations	118

Liste des tableaux

Tableau 1 : Nombre de ménages enquêtés dans les deux communes de Rufisque	30
Tableau 2 : Caractéristiques des données géospatiales utilisées dans l'analyse diachronique (1973-2022).....	32
Tableau 3 : Synthèse de l'évolution moyenne du trait de côte sur le littoral de la ville de Rufisque (1973-2022).....	97

Liste des cartes

Carte 1 : Localisation de la zone d'étude	17
Carte 2 : Structure géologique de la presqu'île du Cap-Vert	22
Carte 3 : La géologie de Rufisque	24
Carte 4 : Localisation des quartiers enquêtés dans la ville de Rufisque	28
Carte 5 : Lignes de références marégraphiques par images <i>Google Earth pro</i>	40
Carte 6 : Composition colorée 752 (A) et composition colorée 432 (B), appliquée sur le littoral de Rufisque	48
Carte 7 : Représentation graphique des transects initiaux (A) et des transects classifiés (B) de l'EPR55	
Carte 8 : Schématisation des houles du nord et du sud-ouest observées sur le littoral de Rufisque	68
Carte 9 : Les altitudes par <i>MNT</i> du département de Rufisque	77
Carte 10 : Les caractéristiques morphopédologiques du département de Rufisque	79
Carte 11 : Evolution du trait de côte du littoral de Rufisque entre 1973 et 1990	90
Carte 12 : Evolution du trait de côte du littoral de Rufisque entre 1990 et 2009	92
Carte 13 : Evolution du trait de côte du littoral de Rufisque entre 2009 et 2022	94
Carte 14 : Synthèse cartographique de l'évolution du trait de côte du littoral de Rufisque (1973-2022)	96
Carte 15 : Evolution de l'occupation du sol de la ville de Rufisque (1973-2022)	104

Liste des photographies

Photographie 1 : Dépôts d'ordures ménagères et pollution de la plage	20
Photographie 2 : Limite de végétation sur la plage de Bata	43
Photographie 3 : Plages à large estran (A) et absence d'estrans (B).....	72
Photographie 4 : Extraction de sable par un charretier sur la plage de Bata (1) ; zone de coquillage sur la plage entre Cap des biches et Diokoul.....	82
Photographie 5 : Mur de protection sur le littoral de Rufisque	86
Photographie 6 : La digue frontale de protection côtière à Rufisque	87
Photographie 7 : Erosion par sapement de microfalaises dunaires sur la plage de Bata.....	101
Photographie 8 : Digue de protection des cimetières	106
Photographie 9 : Recul de la végétation par l'avancée de la mer (A) ; mortalité de la végétation par la pression anthropique (B)	107
Photographie 10 : Des zones submergées à Diokoul sur la côte de Rufisque	108
Photographie 11 : Destruction des matériels de pêche dans le quartier de Mérina I.....	110
Photographie 12 : Effets de l'érosion sur l'école primaire de Mérina 1 et de l'usine Bata.	112
Photographie 13 : Destruction des habitations sur la plage de Diokoul Wague.....	113
Photographie 14 : Stratégies communautaires d'adaptation à l'avancée de la mer, observées sur le littoral de Rufisque	116
Photographie 15 : Digue frontale de protection côtière de Thiawène	117
Photographie 16 : Brise-lame naturel observée sur le littoral de Rufisque dans le quartier de Diokoul Kaw	120

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	ii
ABSTRACT	iii
DÉDICACES	iv
REMERCIEMENTS	v
SOMMAIRE	vii
SIGLES ET ACRONYMES	viii
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
PREMIÈRE PARTIE : CADRE THÉORIQUE ET MÉTHODOLOGIQUE DE LA RECHERCHE	3
CHAPITRE 1 : CADRE THÉORIQUE	4
1. Problématique.....	4
1.1. Contexte.....	4
1.2. Justification du choix de la thématique et de la zone d'étude.....	6
1.3. Etat de l'art.....	7
1.4. Analyse conceptuelle.....	9
1.5. Objectifs de recherche.....	15
1.6. Questions de recherche.....	15
1.7. Hypothèses de recherche.....	16
2. Présentation du cadre de l'étude.....	16
2.1. Situation géographique de la zone d'étude.....	16
2.1.1. Aperçu sur le peuplement de la zone.....	18
2.1.2. Les activités socioéconomiques.....	19
2.2. Géologie de la presqu'île du Cap-Vert.....	21
2.2.1. Structure géologique de la presqu'île du Cap-Vert.....	21
2.2.2. La lithologie de la presqu'île du Cap-Vert.....	23
Conclusion chapitre 1.....	25
CHAPITRE 2 : CADRE MÉTHODOLOGIQUE	26
1. La revue bibliographique.....	26
2. Collecte et traitement des données.....	26
2.1. Les observations directes sur le terrain.....	26
2.2. Les enquêtes de terrain.....	27

2.2.1.	Traitement des données d'enquête	30
2.3.	Les entretiens.....	30
2.4.	Les données géospatiales utilisées.....	31
2.4.1.	Le traitement des données géospatiales.....	32
2.4.1.1.	Les corrections géométriques	33
2.4.1.2.	Prétraitement et correction des images satellites Landsat	33
2.4.1.3.	Correction des images <i>Google Earth pro</i>	34
2.5.	Définition du trait de côte et des lignes de référence	35
2.5.1.	Ambiguïté et diversité du trait de côte.....	35
2.6.	Définition et choix d'une ligne de référence adaptée au littoral de Rufisque.....	36
2.7.	Définition des lignes de référence	36
2.7.1.	Les critères marégraphiques	36
2.7.1.1.	La ligne instantanée de rivage	37
2.7.1.2.	Les limites d'humectations.....	37
2.7.1.3.	La zone de saturation.....	38
2.7.1.4.	La limite entre le sable mouillé et le sable sec	38
2.7.1.5.	Les limites des pleines mers	38
2.7.1.6.	La limite des pleines mers habituelles	39
2.7.2.	Les critères géomorphologiques	41
2.7.2.1.	Les pieds de falaises dunaires.....	41
2.7.2.2.	Les pieds de dunes végétalisées	42
2.7.3.	La limite de la végétation	42
2.8.	Choix de la ligne de référence	43
3.	Méthodologie d'extraction des lignes de référence du trait de côte	44
3.1.	Extraction de la ligne de référence sur les images satellitaires Landsat.....	44
3.1.1.	Les limites d'humectations.....	44
3.1.2.	La ligne instantanée de rivage sur les images satellitaires de <i>Landsat</i>	45
3.1.3.	Limite de la végétation sur les images satellitaires	46
3.1.4.	Traitement des images satellitaires <i>Landsat</i>	47
3.1.4.1.	Composition colorée et classification des images	47
3.1.4.2.	Numérisation de la ligne instantanée de rivage	49
4.	Extraction des lignes de référence sur les images <i>Google Earth pro</i>	49
5.	Méthode de cartographie de l'évolution du trait de côte	49
5.1.	L'usage de l'outil « Digital Shoreline Analysis System » pour mesurer les taux d'évolution du trait de côte.....	50
5.1.1.	Digitalisation sur ArcMap	50
5.1.2.	Le calcul statistique	50

5.1.3.	Les indices calculés	51
5.1.4.	La phase pré-calculé	51
5.1.5.	<i>La Baseline</i>	52
5.1.6.	<i>Les Shorelines</i>	52
5.1.7.	Les Buffers_ <i>Shorelines</i>	53
5.1.8.	Les calculs statistiques avec DSAS	53
5.1.9.	La mise en place des transects.....	53
5.2.	Le calcul des indices : EPR et LRR.....	53
5.3.	La représentation graphique	54
5.4.	Les marges d’incertitudes.....	56
5.4.1.	Les erreurs techniques	56
5.4.2.	Les erreurs météo-marines	56
5.4.3.	L’estimation des marges d’erreurs	57
5.4.4.	Prise en compte de la marge d’erreur	57
Conclusion du chapitre 2.....		60
Conclusion de la première partie.....		61
DEUXIÈME PARTIE : LES CARACTÉRISTIQUES MORPHODYNAMIQUES ET ÉVOLUTION DU LINÉAIRE COTIER DU LITTORAL DE RUFISQUE		62
CHAPITRE 3 : LES FACTEURS EXPLICATIFS DE L’ÉVOLUTION MORPHODYNAMIQUE DU LITTORAL DE LA VILLE DE RUFISQUE		63
I.	Les facteurs morphodynamiques naturels du littoral de Rufisque.....	63
1.1.	Les agents hydrodynamiques	63
1.1.1.	Les houles.....	63
1.1.1.1.	Les houles du nord-ouest.....	66
1.1.1.2.	Les houles du sud-ouest.....	66
1.1.2.	Les vents.....	69
1.1.2.1.	Les alizés	69
1.1.2.2.	La mousson.....	70
1.1.3.	Les vagues	71
1.1.4.	Les courants de la marée	72
1.1.5.	La dérive littorale	73
1.1.6.	L’élévation du niveau de la mer	73
1.2.	Les facteurs morphologiques.....	75
1.2.1.	La topographie du milieu.....	75
1.2.2.	Les caractéristiques morphopédologiques.....	78
II.	Les facteurs anthropiques de l’évolution morphodynamique du littoral de Rufisque.....	81
2.1.	Une littoralisation intense de la ville de Rufisque.....	81

2.2.	Les extractions de sable sur les plages de Rufisque	82
2.3.	L'installation des structures perpendiculaires au rivage.....	84
2.4.	La réalisation des ouvrages de protection sur le littoral de Rufisque, un facteur de perturbation des échanges sédimentaires.....	84
2.4.1.	Le champ d'épis à Diokoul.....	85
2.4.2.	Le mur de protection	85
2.4.3.	La digue frontale de protection côtière.....	86
Conclusion chapitre 3.....		87
CHAPITRE 4 : ÉVOLUTION DU LINÉAIRE COTIER DU LITTORAL DE RUFISQUE		89
1.	Analyse de la variation du trait de côte du littoral de Rufisque	89
1.1.	Evolution du trait de côte entre 1973 et 1990.....	89
1.2.	Evolution du trait de côte entre 1990 et 2009.....	91
1.3.	Evolution du trait de côte entre 2009 et 2022.....	93
1.4.	Synthèse de l'évolution globale du trait de côte de 1973 à 2022	95
Conclusion chapitre 4.....		98
Conclusion de la deuxième partie		98
TROISIÈME PARTIE : IMPACTS DE L'ÉROSION CÔTIÈRE ET PERSPECTIVES D'AMÉNAGEMENTS DU LITTORAL DE RUFISQUE		100
CHAPITRE 5 : IMPACTS DE L'ÉROSION CÔTIÈRE SUR LE LITTORAL DE RUFISQUE		101
I.	Impacts de l'érosion côtière sur l'environnement	101
1.1.	Modifications environnementales sur le littoral de Rufisque	101
1.2.	Un recul constant de la végétation littorale	103
1.3.	La submersion marine	107
II.	Impacts socioéconomiques de l'érosion côtière	109
2.1.	Les impacts de l'érosion côtière sur les activités de la pêche.....	109
2.2.	La destruction des biens sociaux, une conséquence de l'érosion côtière	112
2.3.	La destruction de l'habitat	112
2.4.	La pollution des plages.....	113
Conclusion chapitre 5.....		114
CHAPITRE 6 : STRATÉGIES DE PROTECTION CONTRE L'AVANCÉE DE LA MER ET PERSPECTIVES D'AMÉNAGEMENTS DU LITTORAL DE RUFISQUE		115
I.	Analyse des stratégies de protection en cours sur le littoral de Rufisque.....	115
1.1.	Les stratégies communautaires.....	116
1.2.	Les stratégies structurales (collectives).....	117

II.	Esquisse d'amélioration de l'aménagement du littoral de Rufisque au regard de sa dynamique en cours.....	118
2.1.	Des mesures pour lutter contre l'avancée de la mer	119
2.2.	Des mesures pour protéger le littoral de Rufisque	120
III.	Des mesures de conservation et de gestion des ressources halieutiques	121
3.1.	Des politiques de gestion pour protéger le secteur de la pêche	121
3.2.	L'application de la loi pour la protection du littoral.....	122
	Conclusion chapitre 6.....	123
	Conclusion de la troisième partie	123
	CONCLUSION GÉNÉRALE	124
	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	126
	WÉBOGRAPHIE	132
	ANNEXES	133
	ANNEXE 1 : Les marges d'erreurs.....	133
	ANNEXE 2 : Le questionnaire.....	133
	ANNEXE 3 : Le guide d'entretien	138
	LISTES DES ILLUSTRATIONS	140
	Liste des figures	140
	Liste des tableaux	141
	Liste des cartes	142
	Liste des photographies	143
	TABLE DES MATIÈRES	144