

DYNAMIQUE DU TRAIT DE CÔTE ET SES IMPACTS SUR LES LITTORAUX SABLEUX DES RIVIÈRES DU SUD : CAS DE LA BASSE CASAMANCE

Dome TINE^{1*}, Mbagnick FAYE² et Guilgane FAYE³

¹ Université Cheikh Anta DIOP de Dakar, Département de Géographie, Laboratoire de Télédétection Appliquée (LTA), BP 5005 Dakar, Sénégal

² Université Cheikh Anta DIOP de Dakar, Département de Géographie, Laboratoire de Climatologie et d'Études Environnementales (LCE), BP 5005 Dakar, Sénégal

³ Université Cheikh Anta DIOP de Dakar, Département de Géographie, Laboratoire de Géographie Physique, BP 5005 Dakar, Sénégal

(reçu le 15 Mai 2022; accepté le 28 Juin 2022)

* Correspondance, e-mail : dometine85@gmail.com

RÉSUMÉ

Cette contribution a pour objectif d'analyser la dynamique du trait de côte et ses impacts sur les littoraux sableux de la basse Casamance. La méthodologie adoptée consiste à extraire le trait de côte à l'aide d'un traitement d'images satellitaires Landsat multidates et d'analyser la cinématique du trait de côte à l'aide de l'outil DSAS (Digital Shoreline Analysis System) sous ARGIS. Les résultats montrent que le premier segment analysé qui s'étend de Niafourang à Saloulou est en érosion sur toute la période (1973 - 2018) excepté qu'au niveau de la flèche de Sankoye où on note une progradation moyenne de 2,86 m/an. Cette progradation est liée aux apports sédimentaires fluviaux qui se déposent à la rencontre des deux courants marins et fluviaux. Ces dépôts constituent des réserves sédimentaires qui jouent un rôle important dans la lutte contre l'érosion côtière. Le deuxième segment va de Gnikine à Cabrousse et s'inscrit dans la même dynamique que le premier. Les plus importants taux de recul du trait de côte sont enregistrés entre 1973 et 1986 pour tous les segments analysés. Les taux d'érosion évoluent entre -3,08 et -19,79 m/an tandis que les taux d'accrétion varient entre 5,48 et 31,07 m/an. Les aménagements côtiers ont subi les foudres des vagues et des tempêtes qui leur mettent dans un état de dégradation très avancée comme on peut le constater à Cabrousse et à Capskiring. Certains bâtiments sont exposés directement aux sapements continus des vagues qui leur mettent dans un processus de destructions.

Mots-clés : *dynamique, trait de côte, rivières du sud, Basse Casamance, littoraux sableux, impacts.*

ABSTRACT

Dynamics of the coastline and its impacts on the sandy coastlines of southern rivers : the case of the Lower Casamance

The aim of this contribution is to analyse the dynamics of the coastline and its impacts on the sandy coastlines of the Lower Casamance. The methodology adopted consists of extracting the coastline using multirate Landsat satellite images and analysing the kinematics of the coastline using the DSAS (Digital Shoreline Analysis System) tool under ARGIS. The results show that the first segment analysed, which extends from Niafourang to Saloulou, is eroding over the entire period (1973 - 2018), except for the Sankoye spit, where an average progradation of 2.86 m/year is noted. This progradation is linked to the fluvial sedimentary inputs that are deposited at the meeting of the two marine and fluvial currents. These deposits constitute sedimentary reserves which play an important role in the fight against coastal erosion. The second segment runs from Gnikine to Cabrousse and follows the same dynamics as the first. The highest rates of coastline recession are recorded between 1973 and 1986 for all the segments analysed. Erosion rates vary between -3.08 and -19.79 m/year, while accretion rates vary between 5.48 and 31.07 m/year. The coastal settlements have suffered the wrath of waves and storms, which have left them in a very advanced state of degradation, as can be seen at Cabrousse and Capskiring. Some buildings are directly exposed to the continuous undermining of the waves which put them in a destructive process.

Keywords : *dynamics, coastline, southern rivers, Lower Casamance, sandy coastlines, impacts.*

I - INTRODUCTION

L'érosion côtière est un problème environnemental auquel sont confrontés tous les pays côtiers d'Afrique occidentale. D'après le programme de gestion du littoral Ouest-Africain, « chaque année, près de 500 000 habitants du littoral Ouest-Africain sont touchés par l'impact des inondations et l'aggravation de l'érosion côtière. L'érosion côtière et les inondations frappent des littoraux dans l'ensemble du monde » [1]. Le 5^{ième} rapport du GIEC fait état d'une élévation moyenne de 0,28 à 0,98 m, avec de fortes variations régionales à l'horizon 2100 [2]. La montée du niveau marin, accompagnée du recul des plages ces dernières années devient de plus en plus préoccupante. Environ 70 % des littoraux du monde vont connaître un changement du niveau de la mer proche de l'élévation moyenne, à plus ou moins 20 %. Les impacts directs du changement climatique ne peuvent qu'être que négatifs dans les zones côtières. Ces effets font des espaces côtiers, des entités dynamiques au regard

de l'érosion côtière qui affectent les régions littorales du monde [3]. L'érosion côtière est un phénomène naturel contrôlée par un ensemble de facteurs naturels comme anthropiques qui conditionnent l'évolution naturelle et continue du littoral. Son équilibre dépend des échanges sédimentaires fluvio-marins et la production biogène (sable coquillier), et des activités anthropiques (extractions, dragages, ouvrages bloquant le transit sédimentaire) [4]. La vulnérabilité des zones côtières aux impacts du changement climatique résulte conjointement de la dynamique du milieu naturel et à l'homme qui façonnent le système socio-écologique [5]. L'étude de la cinématique du trait de côte exige de travailler sur des séries de données et des intervalles de temps longs [6] et le choix d'un indicateur [7]. L'élaboration d'une méthode d'extraction du trait de côte dépend de l'indicateur retenu. Les indicateurs sont nombreux et variés. Il existe environ 38 indicateurs de lignes de références matérialisant la position du trait de côte [8]. Ces indicateurs sont souvent choisis en fonction des milieux tels que les plages et dunes, les côtes à falaise rocheuse, les marais maritimes, les marais à mangrove et les côtes artificialisées (ouvrages en l'absence de plage). Dans cette contribution, la ligne instantanée du rivage a été retenue comme indicateur de trait de côte. La ligne de rivage désigne l'interface physique entre la terre et la mer [9]. La ligne correspondant à la limite des eaux en marée basse a été identifiée comme indicateur de la ligne de rivage et de trait côte. L'objectif de cette contribution consiste à analyser la dynamique spatio-temporelle du trait de côte et ses impacts sur les littoraux sableux de la basse Casamance.

II - MATÉRIEL ET MÉTHODES

II-1. Cadre géographique de l'espace étudié

Le littoral étudié appartient aux grands ensembles géostructuraux qui s'étendent du Saloum au Sénégal à la Mellancorée en République de Guinée. Il est formé généralement de plages et de cordons sableux formant un ensemble de stock sédimentaire meuble le long du linéaire côtier Ouest Africain. Cependant, le littoral de la Basse Casamance (*Figure 1*) qui fait l'objet de cette étude, est caractérisée par des formations sédimentaires datées du Crétacé et du Tertiaire, constituées de grès profondément altéré et de sable argileux et des formations meubles d'apport récent composées de sédiments sablo-vaseux abritant les formations de mangrove. C'est une région où le transport sédimentaire est dominé par les apports fluviaux marqués par une forte interception des unités morphologiques dont la mangrove et les bas-fonds. Ces interceptions entraînent de faibles stocks sédimentaires en zone pré-littoral. C'est un milieu de transition entre les domaines maritime et continental avec une topographie relativement basse tout au long de la zone côtière. Ce relief

est dominé par des marais maritimes constitués à l'état naturel par des vasières à mangroves, domaine de prédilection des palétuviers (*Rhizophora mangle* et *Avicennia africana* en particulier) avec des vasières plus fines dans la partie sud [10]. Aux limites des vasières à mangrove se forment des étendues de tannes inondées par endroit en saison pluvieuse en raison de la platitude du relief. Le milieu étudié est marqué par la densité du réseau hydrographique composé de cours d'eau et de bolongs envahis constamment par les marées. Le milieu étudié appartient au domaine climatique libéro-guinéen au Sud [11] qui est une sous-division du climat tropical. La région est caractérisée par deux saisons dues à l'alternance de circulation des alizés et de la mousson. Une saison non pluvieuse de novembre à mai et une saison pluvieuse de juin à octobre. La pluviométrie est relativement abondante (supérieure à 1000mm par an). Cette abondance est essentiellement liée au fort potentiel précipitable advecté et au relief qui conditionne la translation estivale de la zone intertropicale de convergence [12].

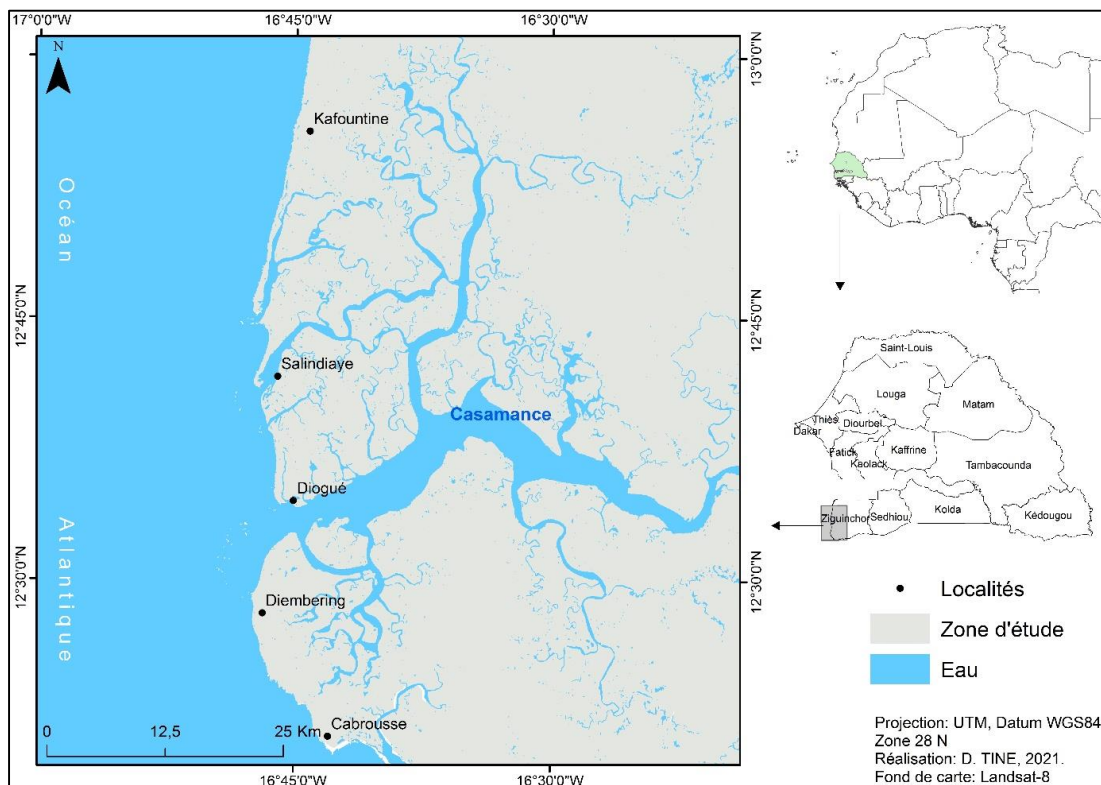


Figure 1 : Localisation du littoral de la Basse Casamance

II-2. Données et méthodes

L'approche méthodologique adoptée dans la présente étude est différente de la méthodologie fréquemment utilisée dans les études de cinématique de trait de côte utilisant des données d'observation de la terre. Elle repose essentiellement sur l'analyse d'images satellitaires multidates et un traitement automatique basé sur un seuillage spectral. Deux segments ont été retenus en raison de la discontinuité du linéaire côtier de la Basse Casamance. Le premier s'étend de Niafourang à Saloulou tandis que le deuxième va de Gnikine à Cabrousse. Le choix de ces segments est basé également sur leur accessibilité. La densité du réseau hydrographique du milieu a fait que certaines zones sont difficilement accessibles. Le linéaire étudié est entrecoupé d'estuaires et de delta qui constituent des discontinuités du trait de côte. Compte tenu de ces paramètres, nous avons délimité quelques transects dont le linéaire est continu afin d'étudier la mobilité du trait de côte.

II-2-1. Le choix de la ligne de référence

La ligne instantanée du rivage correspondant à la limite des eaux en marée basse a été identifiée comme indicateur de la ligne de rivage et de trait côte. Elle est l'un des indicateurs qu'on peut retenir dans la mesure où la résolution spatiale des images n'est pas assez fine afin de faire la distinction entre cette ligne et celle des plaines précédant le passage du satellite [13]. Cependant, la résolution spatiale des images, leurs périodes d'acquisition ainsi que la littoralisation constituent des sources d'erreurs à prendre en compte. La dynamique de la marée peut être source d'erreur de délimitation du trait de côte basée sur le choix de ligne instantané du rivage. L'alternance de marée haute et de marée basse doit être prise en compte ainsi que l'heure de passage du satellite au-dessus des régions étudiées.

II-2-2. Données utilisées

Les images Landsat utilisées pour cette étude (*Tableau 1*) ont été choisies sur la base de leur disponibilité, de leur libre accès et de leur ancienneté, couvrant une période allant de 1972 à nos jours. Elles ont été téléchargées à partir de la plateforme Google Earth Engine (GEE). Les images contenues dans cette plateforme subissent une série de corrections afin d'augmenter la qualité de l'information et de minimiser l'incertitude sur les données, souvent liée aux perturbations atmosphériques. Les données corrigées et prêtes à l'utilisation sont mises gratuitement à la disposition des utilisateurs. La plateforme GEE permet l'analyse et la visualisation d'images satellites de notre planète. Cette plateforme cloud regroupe une archive de plus de 40 ans d'imagerie satellitaire, ainsi que des outils dotés de la puissance de calcul pour analyser et exploiter cet immense entrepôt de données géospatiales.

Tableau 1 : Caractéristiques des images Landsat utilisées

Capteurs	Date d'acquisition	Bandes	Longueurs d'onde	Résolution
MSS	1973	4- Bleu	0,45 - 0,52 μm	60 m
		5- Vert	0,52 - 0,6 μm	
		6- Rouge	0,63 - 0,69 μm	
		7- PIR	0,76 - 0,9 μm	240 m
Capteurs	Date d'acquisition	Bandes	Longueurs d'onde	Résolution
TM	1986	1- Bleu	0,45 - 0,52 μm	30 m
		2- Vert	0,52 - 0,6 μm	
		3- Rouge	0,63 - 0,69 μm	
		4- PIR	0,76 - 0,9 μm	
		5- SWIR 1	1,55 - 1,75 μm	
		7- SWIR 2	2,08 - 2,35 μm	
Capteurs	Date d'acquisition	Bandes	Longueurs d'onde	Résolution
ETM+	2003	1- Bleu	0,45 - 0,52 μm	30 m
		2- Vert	0,53 - 0,61 μm	
		3- Rouge	0,63 - 0,69 μm	
		4- PIR	0,78 - 0,9 μm	
		5- SWIR 1	1,55 - 1,75 μm	
		7- SWIR 2	2,09 - 2,35 μm	
Capteurs	Date d'acquisition	Bandes	Longueurs d'onde	Résolution
OLI	2018	2- Bleu	0,45 - 0,51 μm	30 m
		3- Vert	0,52 - 0,60 μm	
		4- Rouge	0,63 - 0,68 μm	
		5- PIR	0,84 - 0,88 μm	
		6- SWIR 1	1,56 - 1,66 μm	
		7- SWIR 2	2,10 - 2,30 μm	

II-2-3. Extraction du trait de côte

Pour effectuer une reconstitution historique des traits de côte et suivre l'évolution spatio-temporelle, un seuillage spectral sur le canal proche infrarouge a été appliqué (**Figure 2**). Le résultat marque la limite qui sépare le domaine marin du domaine continental correspondant à la ligne instantanée du rivage en période de marée basse. Le contraste terre-mer dans le proche infrarouge justifie le choix de cette bande. Ce dernier est extrêmement important compte tenu des informations recherchées sur le terrain. Le résultat du seuillage a été vectorisé suivi d'une digitalisation automatique et le stockage du trait de côte dans une géodatabase personnelle.

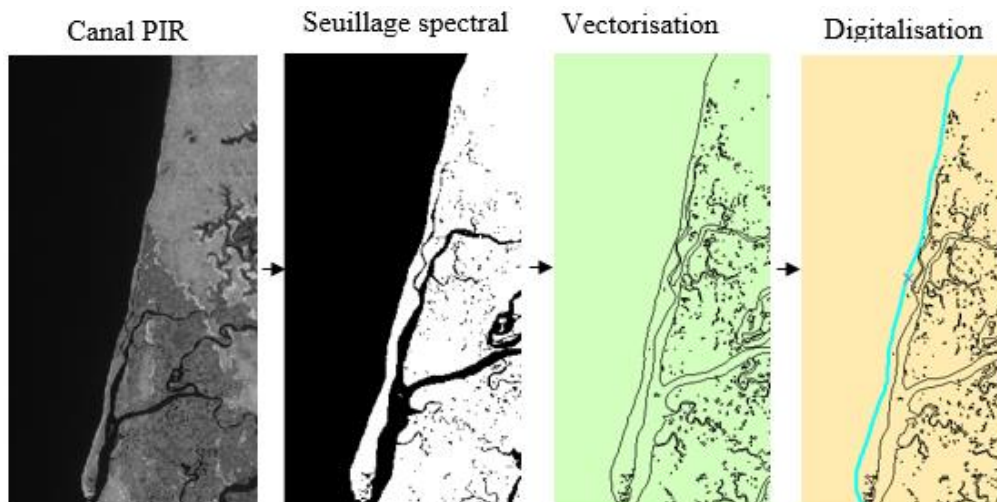


Figure 2 : Méthode d'extraction du trait de côte par seuillage spectral

II-2-4. Calcul des tendances d'évolution des traits de côte

La quantification des changements de position du trait de côte est effectuée avec l'extension DSAS (Digital Shoreline Analysis System) conçue par Thieler et Danforth en 1994. Trois éléments sont fondamentaux pour utiliser l'outil DSAS : deux traits de côte de différentes dates et une ligne de référence imaginaire. Le paramétrage consiste à définir la longueur des transects (qui doit être supérieure ou égale à la distance entre les deux traits de côte) et le pas de mesure. Lorsque tous les paramètres d'entrée sont correctement saisis, DSAS génère automatiquement, selon le pas de mesure défini, des transects perpendiculaires aux linéaires côtiers, mesure les écarts entre les traits de côte et calcule les moyens de déplacement le long de chaque transect [13]. C'est une extension qui intègre le programme (ESRI Arc Gis). Il permet de calculer le taux de changements du littoral à partir de différentes séries d'emplacements du littoral afin d'analyser les changements historiques de la plage. L'outil DSAS génère des résultats statistiques en offrant à l'utilisateur la possibilité de choisir les indices avec lesquels il veut travailler. Dans ce cas de figure nous avons retenu l'EPR. L'EPR ou *End Point Rate* est calculé en divisant la distance entre le trait de côte le plus ancien et le plus récent sur le nombre d'années qui sépare les deux dates. Le choix de l'EPR repose sur sa facilité à calculer et le minimum de données en entrée. La limite de (l'EPR) dans le calcul de plusieurs rivages se manifeste par des plages supplémentaires et des changements de taille de la direction de la plage ou aux fluctuations cycliques du comportement à négliger [14]. La **Figure 3** illustre les étapes de traitement et d'analyse de la dynamique du trait de côte.

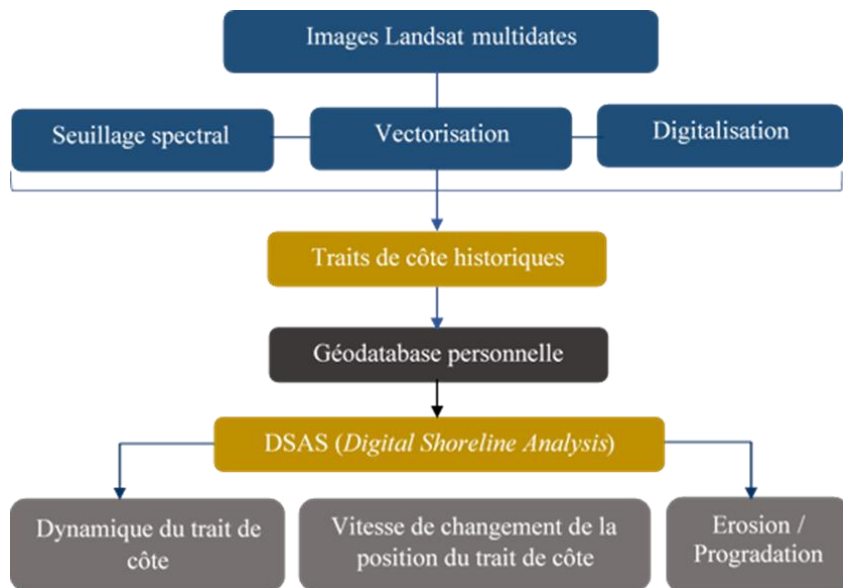


Figure 3 : Les étapes de traitement et d'analyse de l'évolution du trait de côte

III - RÉSULTATS

III-1. Dynamique du trait de côte de Niafourang à Saloulou de 1973 à 2018

L'analyse des résultats cartographiques issus de la cinématique du trait de côte est considérée comme l'étude des formes indépendantes des forces qui en sont les causes. La dynamique érosive est fonction de la morphologie littorale ainsi que de ses caractéristiques sédimentologiques et bathymétriques. L'analyse historique de la variabilité temporelle et spatiale de la ligne de rivage est effectuée sur trois intervalles de temps (1973-1986, 1986-2003 et 2003-2018). Les périodes étudiées sont regroupées dans la **Figure 4** qui représente l'évolution temporelle de la position du trait de côte de 1973 à 2018, basée sur l'indice EPR (*End Point Rate*) proposé par l'outil DSAS. Ce dernier génère un taux de variation annuel moyen estimé à partir de la régression linéaire entre la date du trait de côte et la distance entre chaque trait de côte. Pour chaque transect, l'extension DSAS détermine un nuage de point à partir duquel est calculée une régression linéaire. La pente de la droite de régression permet ensuite d'estimer le taux de variation annuel moyen.

- *La période 1973-1986*

L'analyse de l'évolution du trait de côte de Niafourang à Saloulou entre 1973 et 1986 révèle des situations érosives, d'engraissement et de stabilité. Ce sègment côtier est généralement en érosion au Nord de Kafoutine avec un

taux de migration compris entre -31,35 et -4,36 m/an. C'est une période marquée par une évolution très irrégulière du trait de côte. Les secteurs à érosion sont dominants malgré l'intermittance de secteurs à très forte accrétion notamment au niveau des transects 656 à 665 situés sur la flèche sableuse à hauteur de Saloulou avec un taux évoluant entre 23,75 et 35,48 m/an. Le phénomène dominant dans cette période est l'érosion avec une vitesse de -1,70 m/an.

- ***La période 1986-2003***

Cette période affiche un taux moyen global positif de 0,014 m/an. Ce taux correspond à une stabilité du littoral. Cependant, nous pouvons observer des secteurs à forte érosion au Nord d'Abéné avec un taux compris entre -5,99 et -1,68 m/an. Des tronçons à accumulation sont notés au Sud de Kafountine avec un taux variant entre 3,51 à 10,05 m/an. Cette période est moins dynamique par rapport à la première avec un mode de 0,37 et une médiane de 0,24. Des tronçons à érosion peuvent également être notés le long de la flèche au Nord-ouest de Saloulou.

- ***La période 2003-2018***

La période 2003-2018 présente un taux d'évolution moyenne de 1,06 m/an, ce qui représente une tendance à la hausse de l'engraissement par rapport à la période précédente. Cette période est caractérisée par une alternance régulière de secteurs positifs et négatifs. L'extrême nord du segment a enregistré un fort taux d'évolution du trait de côte compris entre 3,77 à 31,81 m/an. Cette situation est constatée à la pointe de la flèche de la presqu'île aux oiseaux et à hauteur de Kailo.

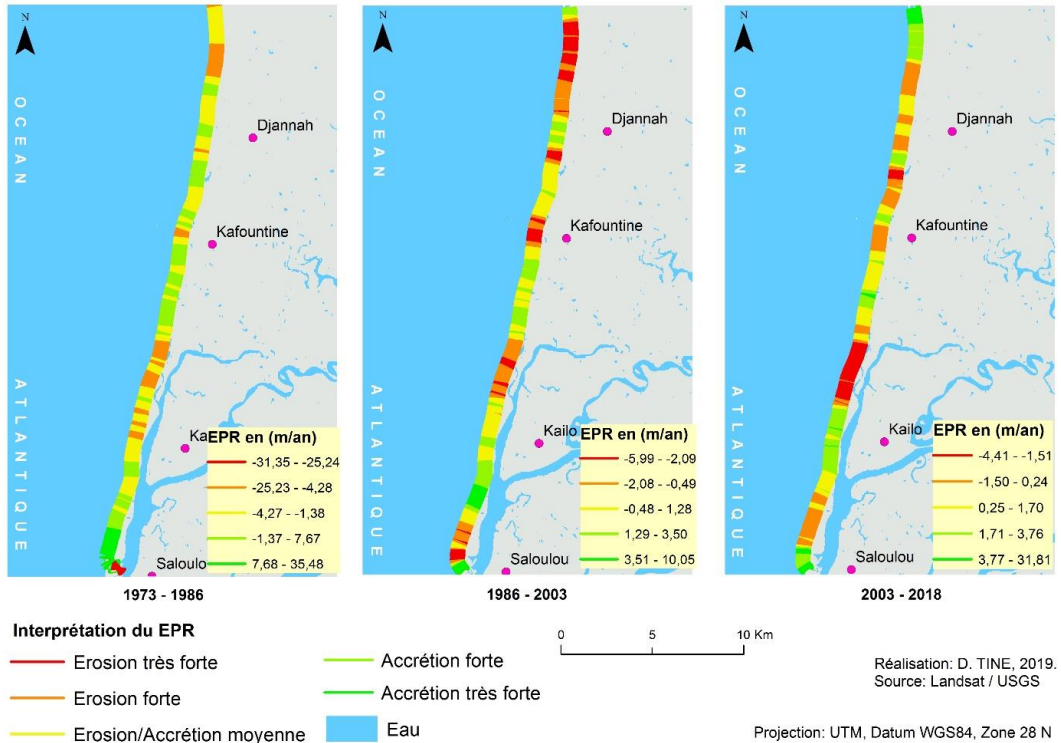


Figure 4 : Variation du taux d'évolution moyen annuel du trait de côte de 1973 à 2018 de Niafourang à Saloulou

III-2. Dynamique du trait de côte de Gnikine à Cabrousse de 1973 à 2018

Ce secteur est caractérisé par des cordons sableux et des dunes littorales particulièrement au Nord de Capskiring. C'est un segment meuble et très dynamique souvent battu par des houles hautes et très agressives sur le littoral (*Photo 1*). La *Figure 5* illustre spatialement la migration du trait de côte de Gnikine à Cabrousse pour les 3 périodes analysées. Ce secteur s'étend sur un peu plus de 36 km à partir de l'embouchure du fleuve Casamance jusqu'à la frontière sénégalobissau-guinéenne. Il est alimenté par les apports sédimentaires du fleuve Casamance qui sont remobilisés vers le sud par la houle du nord. Les fortes accrétions notées sont liées à un grand volume de sédiments d'apports fluviaux et une faible capacité des vagues et des courants à les disperser. L'analyse détaillée de la dynamique de ce secteur est répartie en trois périodes.



Photo 1 : *Impacts des actions hydrodynamiques sur le cordon littoral à Diembéring*

- La période 1973 - 1986

Cette période affiche un taux moyen global négatif de $-5,93$ m/an. Tout le secteur est en érosion excepté la partie sud de Cabrousse. Cette période est marquée par la recrudescence des grands épisodes de sécheresse qu'a connus l'Afrique de l'Ouest. Ces sécheresses ont eu des impacts dramatiques sur les débits des cours d'eau et par conséquent ont réduit les apports sédimentaires fluviaux. Les plus importants taux de recul du trait de côte sont enregistrés pendant cette période pour tous les segments analysés. Les taux d'érosion évoluent entre $-3,08$ et $-19,79$ m/an tandis que les taux d'accrétion, bien qu'ils concernent de faibles portions, varient entre $5,48$ et $31,07$ m/an. Cette période est caractérisée par une érosion régulière de Gnikine à Capskiring. Les secteurs d'accumulation concernent de petits tronçons et sont plus remarquables vers le Sud.

- La période 1986 - 2003

La période 1986-2003 est un peu différente de la précédente bien que son taux d'évolution soit négatif ($-0,23$ m/an). On observe un taux minimum de régression de $-2,49$ m/an tandis que le taux maximum d'accrétion est $8,35$ m/an. Une accrétion régulière est notée à partir des côtes de Diembering jusqu'à Kabrousse. Les secteurs d'érosion de la période précédente se sont légèrement déplacés vers le Nord avec une baisse de leur taux de recul.

- La période 2003 - 2018

La période 2003-2018 est différente des deux périodes précédentes avec un taux moyen d'évolution positif de $0,75$ m/an et un taux maximum de $10,88$ m/an. Les tronçons à forte érosion se situent dans le secteur de Diembéring et de Gnikine. Cette partie est presque en recul pour toutes les trois périodes étudiées. Cette situation peut être liée au caractère meuble des

sédiments côtiers qui jouent un rôle important dans la morphodynamique des plages sableuses. Les taux de variation moyens annuels les plus importants observés sur la période 2003-2018 sont de l'ordre de 10,88 m/an pour l'accrétion et -9,98 m/an pour l'érosion. Cette période est caractérisée par une alternance irrégulière des secteurs aux taux positifs et négatifs. C'est une période semblable à la précédente par rapport à l'alternance des tronçons à érosion et à accumulation. Les deux dernières périodes (1986 - 2003 et 2003 - 2018) ont montré plus de secteurs à accrétion par rapport à la première où l'érosion domine largement. Cela peut s'expliquer d'une part, par la hausse des débits, accompagnée d'une augmentation de la charge sédimentaire des cours d'eau due à l'amélioration des conditions pluviométriques et d'autre part par la hausse du niveau marin, lié au changement climatique.

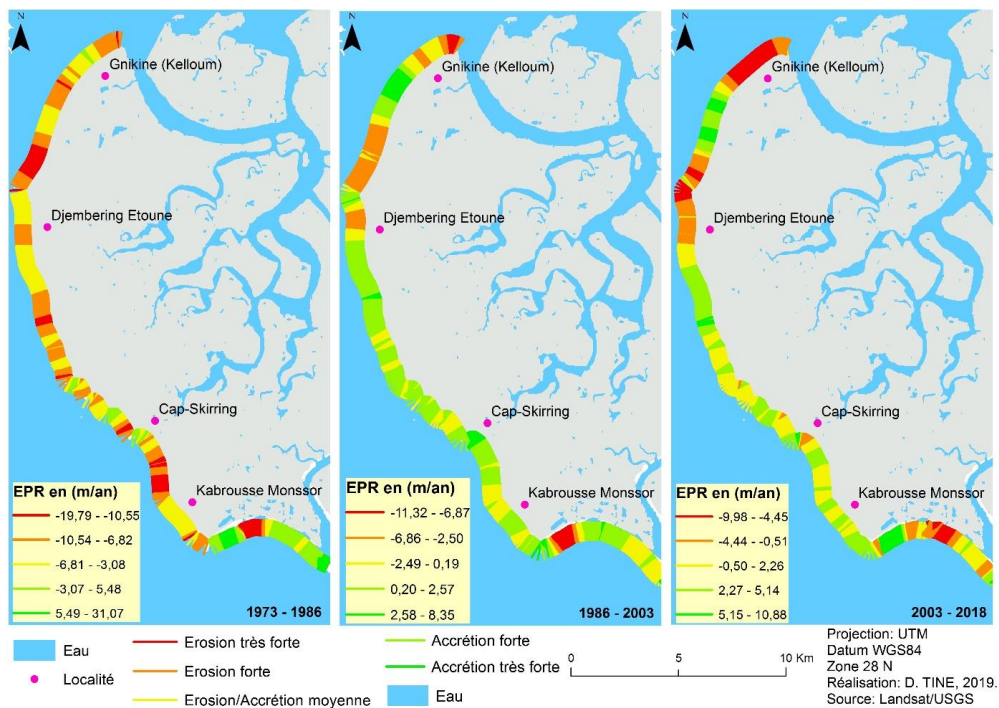


Figure 5 : Variation du taux d'évolution moyen annuel du trait de côte de 1973 à 2018 de Gnikine à Cabrousse en Basse Casamance

III-3. Variation de l'ampleur de l'érosion littorale

L'analyse de la dynamique de la ligne instantanée du rivage à partir d'une série temporelle d'images Landsat nous a permis d'identifier les secteurs à forte érosion, confirmée également par les données de terrain. L'activité érosive est intense dans ces secteurs. La tendance actuelle est à l'érosion et on assiste à un recul des cordons dunaires et une réduction des stocks sédimentaires. Ces

secteurs à forte érosion sont majoritairement constitués de littoraux sableux dont leur dynamique est régie par le forçage météo-marin. L'ampleur des microfalaises et la dégradation accélérée de la végétation au niveau du littoral témoignent de l'agressivité des actions hydrodynamiques. La vitesse de recul du trait de côte dans ces secteurs montre la complexité des facteurs qui interviennent. Il s'agit d'un système météo-marin très complexe, constitué de nombreux facteurs naturels (les vagues, les courants, les tempêtes, et les apports sédimentaires, etc.) qui agissent simultanément. Leurs actions synchronisées débouchent sur l'alternance de phénomènes d'érosion et d'engraissement. Sur les images MSS de 1973, la presque totalité des traits de côte montre des littoraux à érosion. Cependant, une alternance de phases de régression et de progradation tantôt fortes tantôt faibles voire nulles, est observée après superposition des différentes lignes de rivage extraites des images TM, ETM+ et OLI. Ces résultats issus de la télédétection sont confirmés par les données de terrain contenues dans la **Figure 6**. En effet, il reste des secteurs à forte érosion, illustrés par les images satellitaires et sur lesquelles nous n'avons pas pu obtenir de vérité terrain.



Figure 6 : Localisation des secteurs à forte érosion littorale à Kafountine et à Diembéring

III-4. Les impacts de la dynamique littorale

Les impacts de la dynamique littorale sont observés sur l'ensemble des littoraux de la planète. Ces effets sont causés par l'action des vagues, le vent, les tempêtes côtières et les structures faisant obstacle à la circulation naturelle des sédiments côtiers et accentués ces dernières décennies par le changement climatique et l'élévation du niveau marin. Les actions hydrodynamiques marines, plus marquées lors des grandes marées et de fortes tempêtes, ont pour effet de creuser les plages et de déplacer les sédiments vers le large. On observe alors un recul des côtes et une dégradation des milieux littoraux. Cet état de fait est observé sur le littoral de la basse Casamance.

III-4-1. Les impacts sur la végétation côtière

Les impacts de la dynamique littorale se manifestent par la destruction du couvert végétal naturel et artificiel. Cependant, l'ampleur varie d'une zone à une autre. Le littoral de la basse Casamance est caractérisé par des unités morphologiques qui abritent une végétation naturelle très diversifiée. Cette dernière subit continuellement l'agressivité des facteurs hydrodynamiques dont les conséquences se résument entre autres au recul du trait de côte et à la destruction de la végétation. Une perte importante du couvert végétal est observée sur le terrain notamment à Diogué et à Diembéring (**Photo 2**). Certains filaos plantés par les populations locales pour stabiliser la côte sont complètement déracinés par le déferlement des vagues. Étant donné que la plupart des plages sont caractérisées par une limite supérieure de la végétation. Ce qui entraîne un affaiblissement progressif de la végétation côtière [15] et la formation de microfalaises. Cet affaiblissement de la végétation est accompagné du recul du cordon dunaire et la perte d'énormes quantités de sédiments remobilisées vers le large.



Photo 2 : *Déracinement des arbres par l'action des vagues à Diembéring*

III-4-2. Impacts sur l'agriculture

L'agriculture est l'une des activités socioéconomiques la plus importante pour les populations de cette partie des Rivières du Sud. Les terres de cultures sont menacées de salinisation par la remontée du biseau salé. Cette dernière est observée dans tous les cours d'eau de la basse Casamance. Le riz étant à la base de l'alimentation des populations des Rivières du Sud [16], sa production s'effectue généralement dans les bas-fonds où les actions hydrodynamiques marines sont susceptibles de les envahir et les rendent inaptes à l'agriculture. C'est le cas de nos jours où on observe de vastes étendues de rizières salées le long de la frange littorale (175581,36 ha en 2018) mais également à plusieurs kilomètres des côtes. Ce phénomène entraîne la réduction des surfaces rizicoles dans un contexte de croissance démographique. Une forte pression sur les terres arables (*Figure 7*) est notée en réponse à la forte demande en produits alimentaires.

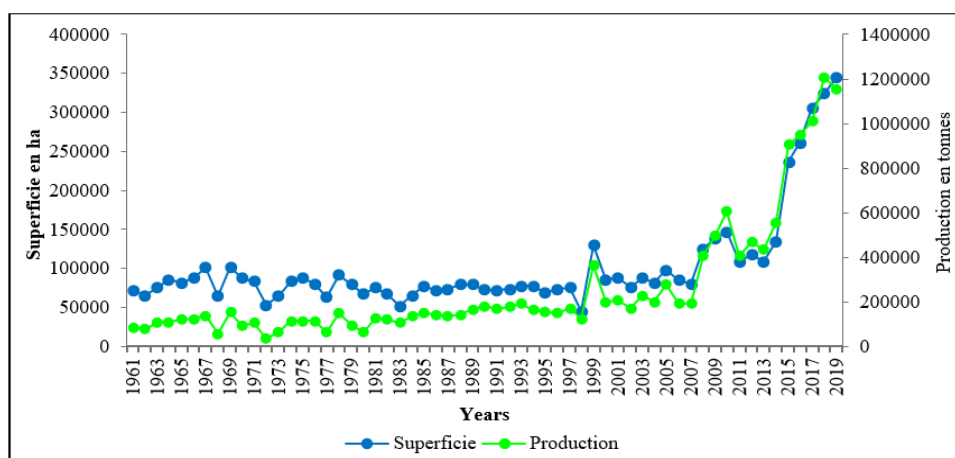


Figure 7 : Évolution des superficies et productions rizicoles au Sénégal de 1961 à 2019

Les statistiques relatives aux superficies emblavées chaque année et les productions agricoles annuelles ne semblent pas montrer un impact négatif de la dégradation des terres arables par la salinisation ou des effets dramatiques liés à l'évolution climatique. Cela signifie que les changements souvent observés ne sont pas toujours négatifs. Les terres salées sont plus accentuées au niveau des espaces côtiers qu'à l'intérieur du continent. Elles sont passées de 52758,72 ha en 1973 à 175581,36 en 2018 soit une augmentation de 122822,64 ha. L'accroissement démographique a entraîné une pression sur les terres arables. L'exploitation des bas-fonds à des fins rizicoles est de plus en plus observée en amont des cours d'eau. Ces pratiques ont augmenté les superficies cultivées chaque année malgré la perte des terres fertiles liée à la salinisation (*Photo 3*).

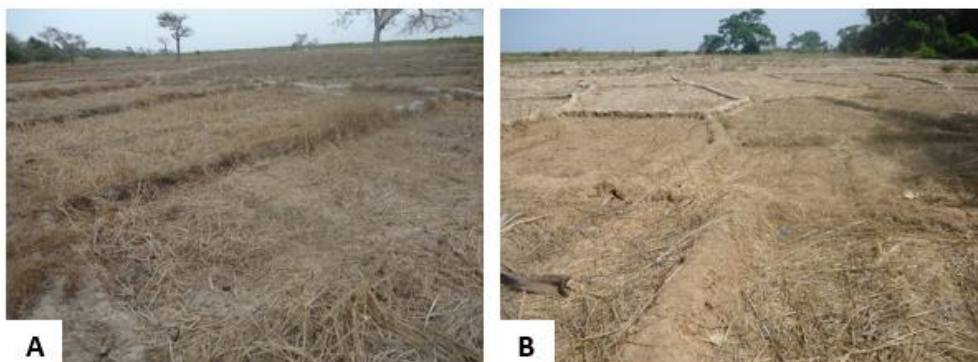


Photo 3 : *Rizières contaminés par le sel à Cabrousse (A) et à Bignona (B)*

III-4-3. Impacts sur les aménagements côtiers

En dehors de l'érosion côtière, les fluctuations climatiques à l'image de la hausse des températures, provoquent le déplacement des populations vers le littoral. Ce phénomène, illustré plus haut, est observé sur les côtes de la Basse Casamance. Ces populations sont à l'origine de nombreux aménagements littoraux comme les quais de pêche et les habitations qui viennent s'ajouter aux installations touristiques menacées, aujourd'hui, de destruction par la dynamique littorale. Plusieurs infrastructures touristiques ont subi les foudres des vagues et des tempêtes qui leur mettent dans un état de dégradation très avancée comme on peut le constater à Cabrousse et à Capskiring. Certains bâtiments sont exposés directement aux sapements continus des vagues qui leur mettent dans un processus de destructions (**Photo 4**). Les dégâts causés par l'érosion côtière sont partout observables le long du littoral étudié.



Photo 4 : *Destruction d'infrastructures touristiques à Capskiring*

III-4-4. Impacts économiques

Les impacts de l'érosion côtière affectent considérablement l'économie touristique de la région. Les acteurs investissent dans la lutte contre l'érosion littorale afin de protéger leurs infrastructures. Les activités touristiques sont fortement ralenties notamment à Kafountine, Niafrang, Diogué, Capskiring et Cabrousse. Le tourisme est l'une des activités phares génératrices de revenus dans le secteur étudié. Au Sénégal, les revenus sont passés de 168 millions à 557 millions entre 1995 et 2018. Beaucoup d'aménagements touristiques sont des propriétés familiales dont leur survie dépend, en grande partie, de ces activités. Aujourd'hui, beaucoup de campements et hôtels situés sur la plage et pourvoyeurs d'emplois locaux sont menacés par les assauts des vagues [15]. Le processus étant dynamique, les frais de protection augmentent nécessairement car un règlement définitif du problème est quasiment impossible. Ce sont ces raisons pour lesquelles le programme de gestion du littoral ouest-africain (West Africa Coastal Areas - WACA) a été conçu pour renforcer la résilience des communautés et des secteurs ciblés. La Commission de l'UEMOA bénéficie dans le cadre de ce projet d'un don de 12 millions de dollars pour sa mise en œuvre. La part de l'agriculture dans le produit intérieur brut au Sénégal est passée de 24 % à 16 % entre 1970 et 2020 [17]. Cette baisse peut être liée à plusieurs facteurs dont la dégradation des ressources en sol et en eau et la variabilité climatique.

IV - DISCUSSION

Le choix d'une ligne de référence de trait de côte reste toujours compliqué en raison de la complexité du système côtier. Plusieurs éléments doivent être pris en compte comme l'alternance des marées, l'heure de passage du satellite etc. Les données satellitaires utilisées n'offrent pas une résolution spatiale permettant de digitaliser le trait de côte bien que cette méthode soit la plus utilisée dans la littérature. Il existe plusieurs démarches méthodologiques pour suivre la dynamique du trait de côte. Ainsi, la diversité des méthodes fait que plusieurs auteurs peuvent travailler sur une même thématique avec des approches différentes et arriver à des résultats similaires [7]. Compte tenu des caractéristiques spatiales et spectrales des images satellitaires, la méthodologie basée sur le seuillage spectrale a été utilisée. La ligne instantanée du rivage a été choisie comme indicateur de trait de côte pour toutes les dates retenues. Cette ligne extraite des images satellitaires correspond à la limite terre-mer en marée basse, coïncidant avec l'heure du passage du satellite. Le résultat apparaît plus juste par rapport à la digitalisation manuelle qui peut contenir beaucoup d'erreurs de commission. Dans un contexte de généralisation et d'accélération du recul du trait de côte, l'étude de la cinématique côtière est un

préalable indispensable à la gestion des espaces littoraux, milieux convoités mais fragiles. L'analyse des images satellitaires de 1973, 1986, 2003 et 2018 a permis d'estimer les rythmes d'évolution du trait de côte de Niafourang à Saloulou et de Gnikine à Cabrousse. Le secteur le plus touché reste celui de Kafountine au nord de l'estuaire de la Casamance. Ce dernier enregistre le taux de recul moyen le plus élevé entre 1973 et 1986 avec $-31,35$ m/an observé au niveau de la pointe libre de la flèche de la presqu'île aux oiseaux. Cependant, une évolution contradictoire est observée au sud notamment le long de la flèche où une progradation de $+2,86$ m/an est notée. Une tendance à la baisse de la vitesse de recul est notée à partir de 1986. Les taux de recul varient entre $-5,99$ et $-0,48$ m/an entre 1986 et 2003 tandis qu'entre 2003 et 2018, ils évoluent entre $-4,41$ et $-0,24$ m/an. L'évolution morphologique de la flèche de la presqu'île aux oiseaux correspondant en grande partie à une redistribution du stock de sédiments. La morphodynamique sédimentaire est contrôlée par la dérive littorale, le transport *longshore* et les apports sédimentaires continentaux. La houle du nord entraîne un transport latitudinal dirigé vers le sud.

L'érosion des côtes septentrionales favorise une remobilisation des sédiments vers le sud par les courants de dérive. D'où les secteurs à forte accumulation observés au niveau de la presqu'île aux oiseaux. Ces résultats corroborent avec ceux de Faye (2010) qui montrent un taux de progression de $32,82$ m/an et un accroissement surfacique de $13,71$ ha entre 1979 - 1986. D'après le sens de la dérive littorale et les résultats de la cinématique du trait de côte, le nord de Kafountine constitue une source des apports sédimentaires dirigés vers le sud. Le secteur de Diembéring qui s'étend de Gnikine à Cabrousse, à l'instar de celui de Kafountine, est en érosion durant la première période (1973 - 1986). Les taux de recul enregistrés entre 1973 et 2018 varient entre $-19,49$ et $-0,50$ m/an. Un taux de progradation de $31,07$ m/an est noté entre 1973 et 1986 au sud de Cabrousse. Ces forts taux de recul des années 1970 et 1980 peuvent être liés à la recrudescence des épisodes de sécheresse durant cette période. Ces sécheresses entraînent des déficits d'écoulement et réduisent les apports sédimentaires fluviaux dans les plages. Un déficit sédimentaire expose les littoraux à l'érosion par le sapement continu des vagues. Cette situation est observée entre Gnikine et Diembéring avec la formation de microfalaises.

V - CONCLUSION

La présente étude a permis d'analyser la dynamique spatio-temporelle du trait de côte et ses impacts sur les littoraux sableux de la basse Casamance. Le premier segment analysé s'étendant de Niafourang à Saloulou est en érosion sur toute la période, excepté qu'au niveau de la flèche de Salindiyaye où on note une progradation moyenne de $2,86$ m/an. Cette progradation est liée aux

apports sédimentaires fluviaux qui se déposent à la rencontre des deux courants marins et fluviaux. Ces dépôts constituent des réserves sédimentaires qui jouent un rôle important dans la lutte contre l'érosion côtière. Le deuxième segment va de Gnikine à Cabrousse et s'inscrit dans la même dynamique que le premier. Une évolution contradictoire peut être un peu étrange dans la mesure où ils partagent les mêmes conditions climatiques et les mêmes caractéristiques morphosédimentaires. L'analyse de la cinématique du trait de côte révèle une dynamique érosive entrecoupée par de petits segments à progradation vers le Sud. Dans un contexte de changement climatique marqué par le recul du trait de côte, l'étude de la dynamique littorale devient fondamentale dans la gestion des espaces côtiers. Le recours à la télédétection spatiale a permis, à travers des méthodes de traitement d'image avancées de suivre l'évolution spatio-temporelle du trait de côte et d'appréhender l'érosion côtière à travers des incursions de mesures et d'observation. Il ressort des analyses que les littoraux sédimentaires analysés sont des milieux fragiles et instables. Les résultats de l'étude de la dynamique du trait de côte révèlent des côtes très dynamiques sous l'action des courants de dérive. Cette dynamique a des répercussions dramatiques sur les environnements immédiats des littoraux étudiés mais également sur le continent avec la remontée des eaux marines.

RÉFÉRENCES

- [1] - Programme de gestion du littoral ouest-africain (WACA), D'une vision partagée du littoral à une réalité durable, (2019) 8 p.
- [2] - N. ROCLE, L'adaptation des littoraux au changement climatique Une gouvernance performative par expérimentations et stratégies d'action publique. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux, (2017) 451 p.
- [3] - A. M. LECLERC, Ouvrages de protection du littoral : effets sur la morphologie des plages et sur les communautés benthiques intertidales, région de Saint-siméon et de bonaventure, baie des chaleurs (Québec, canada). Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Rimouski, (2010) 161 p.
- [4] - ARTELIA, CEREMA, UNPG, Évolution du trait de côte et extraction de granulats marins : point sur les connaissances et les pratiques actuelles, (2021) 114 p.
- [5] - S. WEISSENBERGER, Le système climatique et son évolution à l'échelle géologique. Module 2, (2010) 51 p.
- [6] - Y. B. DIADHIOU, A. NDOUR, I. NIANG ET A. NIANG-FALL, Étude comparative de l'évolution du trait de côte sur deux flèches sableuses de la Petite Côte (Sénégal) : cas de Joal et de Djiffère. *Norois*, 240 (2018) 25 - 42

- [7] - M. THIOR, T. SANE, O. SY, L. DESCROIX, B. D. BA, B. SOLLY, V. MENDY, 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*, Vol. 15, N°9 (2019) 106 - 130
- [8] - C. MALLET & A. MICHOT, Synthèse de référence des techniques de suivi du trait de côte. BRGM/RP/60616-FR, (2012) 41 - 82
- [9] - P. BERNATCHEZ, Méthode de détermination de la ligne des hautes eaux pour le domaine maritime dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent dans un contexte de changements climatiques. Projet MTMDET CC14.1, Rapport final, (2018) 237 p.
- [10] - E. S. DIOP, La côte ouest-africaine du Saloum (Sénégal) à la Mellancorée (Rep. De Guinée). Thèse de doctorat, Université de Strasbourg, (1990) 366 p.
- [11] - M. LEROUX, Le climat de l'Afrique tropicale. Éditions Champions, Paris, Vol. 2, (1983) 631 p.
- [12] - G. PENNOBER, Analyse spatiale de l'environnement côtier de l'archipel des Bijagós (Guinée Bissau), Thèse de doctorat, Université de Bretagne occidentale, Institut supérieur européen de la mer, (2009) 233 p.
- [13] - I. B. N. FAYE, Dynamique du trait de côte sur les littoraux sableux de la Mauritanie à la Guinée-Bissau (Afrique de l'Ouest) : Approches régionale et locale par photo-interprétation, traitement d'images et analyse de cartes anciennes. Thèse de doctorat, UBO, Brest, (2010) 320 p.
- [14] - M. SEBAT & J. SALLOUM, Estimate the rate of shoreline change using the statistical analysis technique (EPR). *Journal Business & IT*, 01/2018, ISSN 2570 - 7434, (2018) 59 - 65
- [15] - M. THIOR, J. S. GOMIS, A. BADIANE & B. SANE, Pêcherie autour du noyau rurbain de Kafountine (Sénégal) : un moteur de recompositions socioéconomiques. *Revue Espace Géographie et Société Marocaine*, N° 36 (2020) 119 - 133
- [16] - J. M. ÉCOUTIN, M. B. BARRY, S. BOUJU, E. CHARLES-DOMINIQUE, O. JOURNET, E. PENOT, O. RUË, D. SQUARE et M. SOW, Chapitre V. Aménagement technique du milieu. In M. C. Cormiler-Salem. Rivières du Sud : société de mangrove ouest Africaine. (1999) 209-268. IRD Éditions. <http://books.openedition.org/irdeditions/4990>
- [17] - West Africa Coastal Areas Resilience Investment Project (WACA), Environmental and Social Management Framework, (2017) 99 p.