

## Dynamique des flèches sableuses des Rivières du Sud, de la basse Casamance (Sénégal) au Rio Gêba (Guinée Bissau): Approche par télédétection

### [ Dynamics of the sandy spits of the Rivières du Sud, from lower Casamance (Senegal) to Rio Gêba (Guinea Bissau): Approach by remote sensing ]

*Dome Tine<sup>1</sup>, Mbagnick Faye<sup>2</sup>, Mamadou Thior<sup>3</sup>, and Guilgane Faye<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>Université Cheikh Anta DIOP de Dakar, Département de Géographie, Laboratoire de Télédétection  
Appliquée (LTA), BP 5005 Dakar, Senegal

<sup>2</sup>Université Cheikh Anta DIOP de Dakar, Département de Géographie, Laboratoire de Climatologie et d'études  
environnementales (LCE), BP 5005 Dakar, Senegal

<sup>3</sup>Université Cheikh Anta DIOP de Dakar, Département de Géographie, Laboratoire de géographie physique,  
BP 5005 Dakar, Senegal

<sup>4</sup>Université Cheikh Anta DIOP de Dakar, Département de Géographie, Laboratoire de géographie physique,  
BP 5005 Dakar, Senegal

---

Copyright © 2022 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** The sedimentary dynamics of the littorals studied is governed by the northern swell which induces a north-south littoral drift and the continental sedimentary contributions transported essentially by the rivers. The aim of this study is to analyse the evolution of sandy spits in the northern part of the Rivières du Sud. The methodology adopted is based on diachronic mapping using Landsat satellite images acquired in 1973, 1986, 2003 and 2018. The results show that the morphological evolution of the Sankoye Spit and the Bird Peninsula is marked by the extension of their spatial coverage. The statistics for the Bird Peninsula show an extension of 116.89 ha between 1973 and 1986, a gain of 220 ha between 1986 and 2003 and a regression of 70.53 ha between 2003 and 2018. The Sankoye spit shows an elongation of its distal end in the direction of the dominant longshore sediment transport, thus dragging the mouth of Kalissaye progressively southwards. Its spatial and temporal evolution is marked by a spatial extension which goes from 603.32 ha in 1973 to 716.25 ha in 2018. For the tip of Cap Roxo, the statistics indicate an extension of 38.19 ha between 1973 and 1986, a regression of 7.75 ha between 1986 and 2003 and 2.02 ha between 2003 and 2018.

**KEYWORDS:** Evolution, remote sensing, sediment dynamics, morphodynamics, Southern rivers.

**RESUME:** La dynamique sédimentaire des littoraux étudiés est régie par la houle du Nord qui induit une dérive littoral Nord-sud et les apports sédimentaires continentaux transportés essentiellement les cours d'eau. Cette étude a pour but d'analyser l'évolution des flèches sableuses dans la partie septentrionale des Rivières du Sud. La méthodologie adoptée repose sur une cartographie diachronique à l'aide des images satellitaires Landsat acquises en 1973, 1986, 2003 et 2018. Les résultats montrent que l'évolution morphologique de la flèche de Sankoye et de la presqu'île aux oiseaux est marquée par l'extension de leur emprise spatiale. Les statistiques de la presqu'île aux oiseaux indiquent une extension de 116,89 ha entre 1973 et 1986, un gain de 220 ha entre 1986 et 2003 et une régression de 70,53 ha entre 2003 et 2018. La flèche de Sankoye affiche un allongement de son extrémité distale dans le sens du transport sédimentaire *longshore* dominant, entraînant ainsi l'embouchure de Kalissaye progressivement vers le Sud. Son évolution spatio-temporelle est marquée par une extension

spatiale qui passe de 603,32 ha en 1973 à 716,25 ha en 2018. Pour la pointe du Cap Roxo, les statistiques indiquent une extension de 38,19 ha entre 1973 et 1986, une régression de 7,75 ha entre 1986 et 2003 et 2,02 ha entre 2003 et 2018.

**MOTS-CLEFS:** Evolution, télédétection, dynamique sédimentaire, morphodynamique, Rivières du sud.

## 1 INTRODUCTION

La frange littorale de la partie septentrionale des Rivières du Sud est marquée par des formations de flèches sableuses très dynamiques. Elle se distingue par des plages sableuses macrotidales à pente faible et bordées de cordons dunaires. Les grandes flèches littorales sableuses se sont formées à partir de 3000 ans B.P. Une période pendant laquelle le niveau de la mer, aurait passé à +2 m [1]. La disposition des flèches indique le sens de la dérive littorale, direction dans laquelle s'allonge leur extrémité libre. La sédimentation sur les littoraux des Rivières du Sud est toujours fortement liée aux conditions climatiques [2]. La migration des sables dans les Rivières du Sud est conforme à la dérive littorale induite, qui est de direction sud. À partir de la Guinée Bissau, la direction d'étirement de nombreuses flèches et cordons édifiés les uns devant les autres s'effectue vers le nord-ouest en raison de l'influence locale de la houle du sud-ouest [3].

La dynamique de ces unités morphologiques est liée généralement au rythme du niveau marin, du bilan sédimentaire, de l'énergie dissipée à la côte par les actions hydrodynamiques marines et de la géométrie d'ensemble de la zone côtière [4]. En sus de ces derniers, nous pouvons ajouter les apports sédimentaires fluviaux qui alimentent considérablement les plages. L'évolution spatio-temporelle des flèches sableuses est régie par la dynamique sédimentaire. Les apports externes en sédiments jouent un rôle capital dans le développement de ces unités morphologiques. Dans les Rivières du Sud, plusieurs types d'apports sédimentaires peuvent être identifiés à savoir les apports éoliens et les apports fluviaux qui proviennent en amont des bassins versants. Ces sédiments sont arrachés par le vent et/ou par les eaux de ruissellement pendant la saison pluvieuse et le sapement des berges avant d'être transportés par ces agents d'érosions et déposés dans les estuaires et les deltas. Ces flux sédimentaires suivent un rythme saisonnier, caractérisé par un fort apport en saison pluvieuse et une réduction des quantités de sédiments pendant la saison non pluvieuse. La quantité de sédiments déposée par les rivières et les cours d'eau dépend essentiellement des facteurs climatiques. Les apports éoliens jouent un rôle important dans la stabilisation des plages. Les sédiments transportés par le vent vers le littoral participent à la morphodynamique côtière et à la mise en place de stocks sédimentaires (formation de dunes et de cordons sableux) qui contrôlent l'équilibre des plages et protègent le littoral contre l'érosion. Les apports sédimentaires continentaux ainsi que l'érosion des côtes septentrionales constituent un capital sédimentaire à l'origine de l'extension des flèches littorales sableuses.

Ces matériaux terrigènes arrachés en amont des bassins versants sont redistribués par la dérive littorale ou par les courants d'arrachement. La dynamique des flèches résulte de la conjonction de nombreux facteurs naturels cités plus haut et qui se manifestent dans ce cas de figure par des changements morphologiques. L'évolution spatio-temporelle des flèches sableuses a été déterminée grâce aux des images satellitaires Landsat.

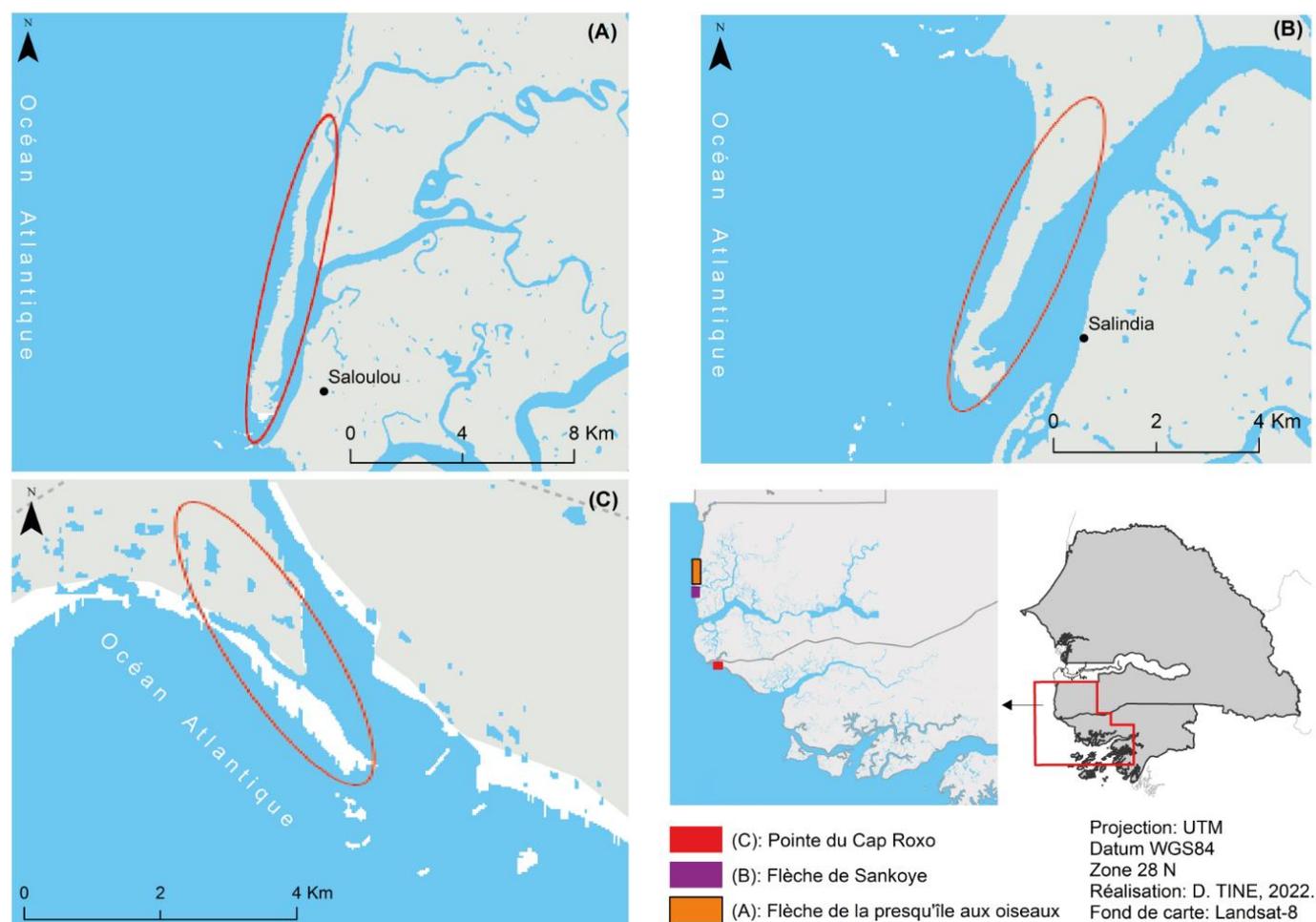
## 2 MATÉRIELS ET MÉTHODE

### 2.1 DESCRIPTION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Les trois flèches étudiées appartiennent au bassin sédimentaire sénégal-mauritanien d'âge Méso-cénozoïque qui s'étend du Cap Blanc en Mauritanie au Cap Roxo en Guinée Bissau. Ce bassin correspond à une vaste zone de subsidence, comblée par des sédiments marins continentaux de la destruction des roches antécambriennes et primaires [5]. Le Nouakchottien reste la période la plus importante pour la reconstitution de la configuration géomorphologique actuelle du littoral et l'histoire géologique des zones estuariennes des Rivières du Sud [3]. La sédimentation est essentiellement marine et comble les basses vallées alors que les fleuves apportent des sables fins et des limons provenant des dépôts de couverture des régions de bordure et notamment du plateau du Continental Terminal [3], [6]. Cette érosion a permis une remobilisation des sables aboutissant à la construction des grandes flèches sableuses [7]. Les plus importants cordons littoraux et flèches sableuses se sont formés sous l'influence de la dérive littorale nord-sud [8].

Le domaine étudié est marqué par la densité du réseau hydrographique composé de cours d'eau et de bolongs envahis constamment par les marées. Au point de vue climatique, la zone appartient au domaine libéro-guinéen au Sud [9] qui est une sous-division du climat tropical. La région est caractérisée par deux saisons dues à l'alternance de la circulation des alizés et de la mousson. Une saison non pluvieuse de novembre à avril et une saison pluvieuse de mai à octobre. La pluviométrie est

relativement abondante (supérieure à 1000 mm 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 [2].



**Fig. 1.** Situation géographique de l'espace étudié

## 2.2 DONNÉES UTILISÉES

Les images Landsat utilisées pour cette étude ont été choisies sur la base de leur disponibilité, de leur libre accès et de leur ancienneté, couvrant une période allant de 1972 à 2022. 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. 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 $\mu\text{m}$	60 m
		5-Vert	0,52-0,6 $\mu\text{m}$	
		6-Rouge	0,63-0,69 $\mu\text{m}$	
		7- PIR	0,76-0,9 $\mu\text{m}$	240 m
TM	1986	1-Bleu	0,45-0,52 $\mu\text{m}$	30 m
		2-Vert	0,52-0,6 $\mu\text{m}$	
		3-Rouge	0,63-0,69 $\mu\text{m}$	
		4- PIR	0,76-0,9 $\mu\text{m}$	
		5-SWIR 1	1,55-1,75 $\mu\text{m}$	
		7- SWIR 2	2,08-2,35 $\mu\text{m}$	
ETM+	2003	1-Bleu	0,45-0,52 $\mu\text{m}$	30 m
		2-Vert	0,53-0,61 $\mu\text{m}$	
		3-Rouge	0,63-0,69 $\mu\text{m}$	
		4- PIR	0,78-0,9 $\mu\text{m}$	
		5-SWIR 1	1,55-1,75 $\mu\text{m}$	
		7- SWIR 2	2,09-2,35 $\mu\text{m}$	
OLI	2018	2- Bleu	0,45-0,51 $\mu\text{m}$	30 m
		3- Vert	0,52-0,60 $\mu\text{m}$	
		4- Rouge	0,63-0,68 $\mu\text{m}$	
		5- PIR	0,84-0,88 $\mu\text{m}$	
		6- SWIR 1	1,56-1,66 $\mu\text{m}$	
		7- SWIR 2	2,10-2,30 $\mu\text{m}$	

### 2.3 MÉTHODE

Le traitement des données satellitaires a été effectué à l'aide des techniques numériques de traitement d'images. La méthode de classification supervisée est utilisée pour ce travail. Cette technique est utilisée pour identifier les zones similaires sur une image à travers la signature spectrale. Il s'agit d'identifier d'abord les sites d'entraînement c'est-à-dire les échantillons assez homogènes sur l'image et représentatifs de différents types de surfaces. Ces échantillons sont, ensuite, utilisés pour définir les classes spectrales qu'ils représentent [10]. Il existe au sein de la classification supervisée plusieurs algorithmes de classification. Cependant, nous avons choisi, dans le cadre de cette étude, la classification par « maximum de vraisemblance ». Ce dernier est très utilisé dans les classifications supervisées et est considéré comme le plus performant dans la production des cartes thématiques dans le domaine de l'occupation du sol [11]. La classification par maximum de vraisemblance est basée sur la règle de Bayes:

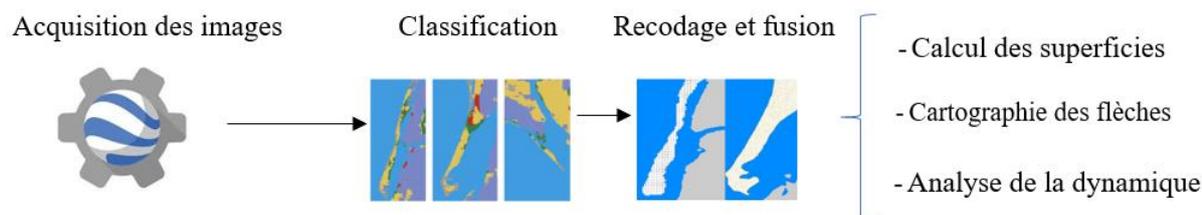
$$Pr\{A_i|B\} = \frac{Pr\{A_i\} \cdot Pr\{B|A_i\}}{\sum Pr\{A_i\} \cdot Pr\{B|A_i\}}$$

(Source: <http://www.seos-project.eu>)

Où  $A_i$  représente la classe  $i$ ,  $B$  représente les valeurs de réponse du pixel.

$Pr\{A|B\}$  est la probabilité conditionnelle que la classe  $A_i$  soit la classe où placer le pixel  $B$ .

Après la classification des images, un recodage a été effectué sur chaque image afin de regrouper les pixels des flèches et les séparer des pixels d'eau et des zones marécageuses. Après le recodage, ces pixels ont été fusionnés en une seule classe représentant l'emprise de la flèche sableuse. Ces résultats ont été également convertis en format vectoriel afin de calculer leurs superficies et d'analyser leur évolution spatio-temporelle. La figure 3 représente les étapes de traitement des images satellitaires.



**Fig. 2. Organigramme méthodologique de traitement des images**

### **3 RESULTATS**

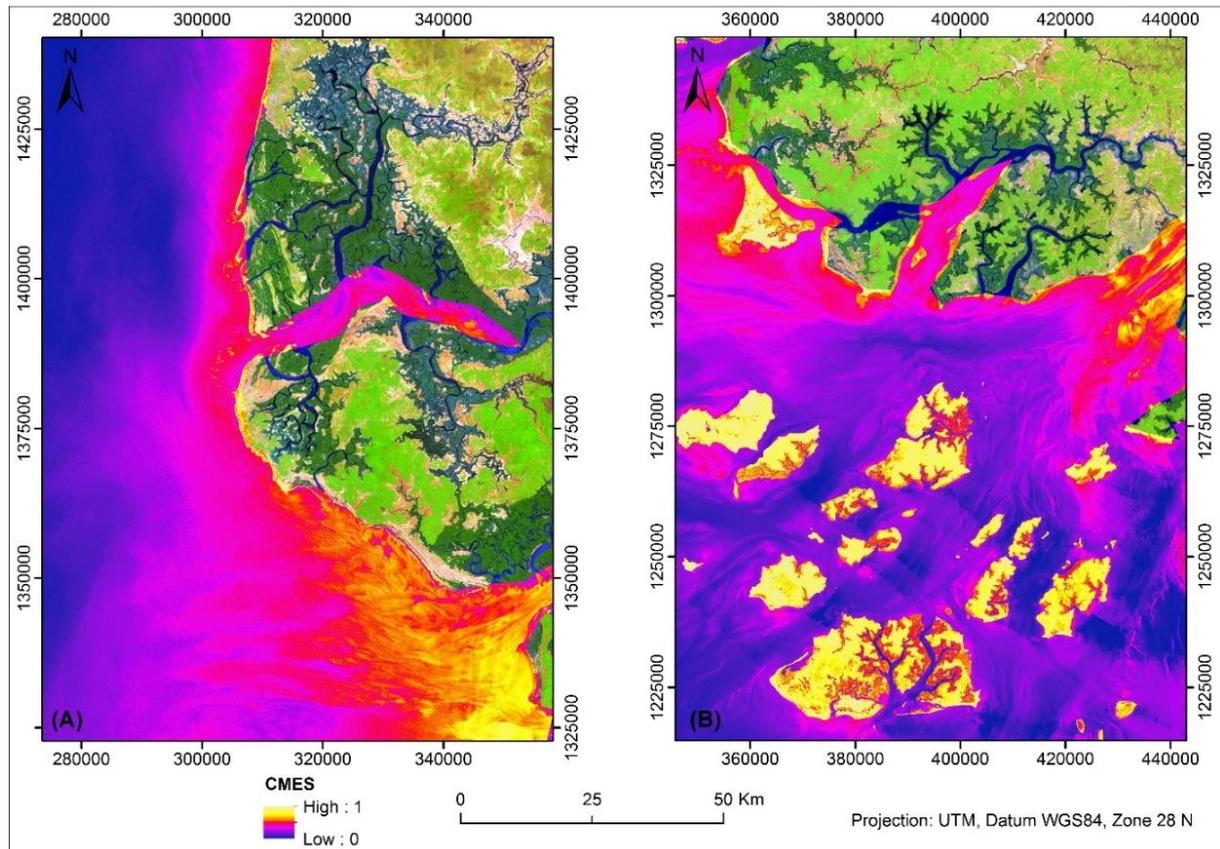
#### **3.1 LA DYNAMIQUE SÉDIMENTAIRE**

La dynamique sédimentaire des littoraux étudiés est régie par la houle du Nord qui induit une dérive littoral Nord-sud et les apports sédimentaires continentaux transportés essentiellement les cours d'eau. Ces derniers, au contact des eaux marines forment des milieux d'accumulations de sédiments appelées panaches. Ces apports sédimentaires sont composés de plancton, de matière organique et inorganique, de sables fins, limons et argiles provenant de l'amont des cours d'eau, de l'érosion des sols, des activités anthropiques et des productions biologiques. Ces matériaux jouent un rôle très important dans la morphodynamique sédimentaire du littoral concerné.

La formation de panache observée au niveau des estuaires met en évidence la concentration de matières en suspension dans l'eau. La rencontre des eaux douces et salées engendre une forte stratification de densité dans la colonne d'eau. Les eaux douces, moins denses, restent au-dessus des eaux salées pour former un panache de particules fines [12].

Les échanges sédimentaires dans les estuaires sont dominés par les apports fluviaux surtout en période de crue. Ces sédiments soumis à un contraste de densité des eaux, sont déposés de part et d'autre des estuaires et forment des bancs de sables et de cordons littoraux. L'analyse spatiale de la concentration de matières en suspension est un élément fondamental pour les études morphologiques fluviales et côtières [13]. L'indice qualitatif de turbidité (figure 4) permet d'analyser la répartition spatio-temporelle des sédiments en suspension au niveau du littoral étudié. Elle met en évidence une forte concentration de matières en suspension dans la partie guinéenne, au niveau de l'embouchure du Rio Cacheu. Ce phénomène peut s'expliquer par le fait que cette région reçoit une forte quantité de précipitations qui augmentent les débits des cours d'eau. Les sédiments arrachés en amont des bassins versants sont acheminés directement vers le littoral où ils peuvent être propagés jusqu'à plusieurs kilomètres au fond de l'océan.

Les particules en suspension drainées par les bassins versants de Kafountine et de la Casamance sont mobilisées vers le Sud en direction de l'embouchure de Cacheu par la houle du Nord-ouest et viennent renforcer les apports sédimentaires du bassin versant de Cacheu. De 1973 à 2018, la concentration des panaches diminue et passe de 100 à 71 km du littoral à Cacheu tandis qu'en Casamance, elle passe de 22 à 11 km du littoral.



**Fig. 3.** *Indice qualitatif de turbidité établi à partir du traitement de l'image satellitaire Landsat OLI (2018) de la Basse Casamance au Rio Cacheu (A) et du Rio Cacheu à l'estuaire de Gêba (B)*

### 3.2 LE BILAN SÉDIMENTAIRE

La morphodynamique des plages dans l'espace étudié s'explique par des variations des conditions de forçages météorologiques qui conditionnent les processus de transport sédimentaires. L'analyse des bilans sédimentaires révèle un transport continu de sables au long du littoral. Ces sables proviennent des apports sédimentaires éoliens et fluviaux, de l'érosion des côtes septentrionales et les sédiments apportés par ravinement et ruissellement. Ces apports sédimentaires d'origine diverses forment des réserves sédimentaires importantes sur l'avant plage. Ces dépôts sont des formes caractéristiques des plages des Rivières du Sud. Il s'agit des réserves de sédiments disponibles, participant à la stabilisation saisonnière des plages. Ces sédiments composés de sables fins et de galets sont issus des échanges entre le continent, l'océan et l'atmosphère. Ils résultent d'un système dynamique caractérisé entre autres par les apports fluviaux, l'érosion des dunes, les apports de dérive littorale et les apports de tempête, contrôlant l'équilibre sédimentaire des plages. Les dépôts de sédiments présents sur les plages (photo 5), constituent une protection contre l'assaut des vagues.



Fig. 4. Dépôts sédimentaires sur la plage de Varela en avril 2021

### 3.3 MORPHODYNAMIQUE DE LA FLECHE DE SANKOYE

Les flèches du littoral des Rivières du Sud dégagent des caractéristiques morphologiques marquant les constructions d'unités des courants de la dérive littorale. La pointe de Sankoye affiche un allongement de son extrémité distale dans le sens du transport sédimentaire longitudinal (*longshore*) dominant. La pointe de Sankoye présente une forme particulière qui a changé au cours de ces dernières années (figure 7), mais avec une forme régulièrement rattachée à l'estran. Au stade actuel de son évolution morphodynamique, la fonction la plus spectaculaire de la flèche sableuse est de servir d'aire de ponte et un reposoir essentiel pour de nombreuses espèces migratrices.

Les résultats statistiques (figure 6) de la cartographie diachronique de la flèche de Sankoye indiquent une extension de 26,87 ha entre 1973 et 1986, une régression de 14,3 ha entre 1986 et 2003 et une progression considérable de 100,36 ha entre 2003 et 2018. De 1973 à 2018, l'emprise spatiale de la flèche est passée de 603,32 ha à 716,25 ha soit une augmentation de 112,93 ha. Le changement morphologique de cette pointe peut intervenir de façon très rapide à la suite de tempêtes inhabituelles. Cette formation est soumise à des phénomènes d'hydrodynamismes très puissants entre l'estuaire et l'océan. Sa taille et sa forme évoluent constamment, parfois dans des proportions importantes. De plus l'action des tempêtes marines entraîne souvent des réponses morphologiques rapides et des impacts importants sur le littoral sableux de la Casamance: recul du trait de côte, submersion et érosion de la plage, franchissements et destruction des systèmes dunaires [14].

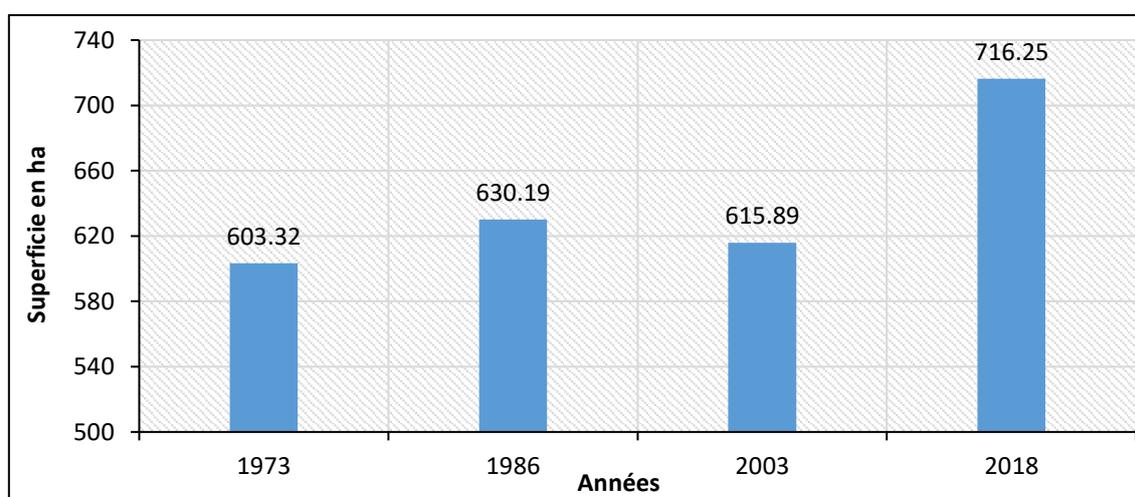


Fig. 5. Statistiques de l'évolution de la flèche de Sankoye de 1973-2018

La flèche de la pointe de Sankoye connaît une évolution formée juste au niveau de l'embouchure de Kalissaye qui la porte. Celle-ci présente une discontinuité de la ligne de rivage et conduit à la formation et au développement de la flèche à la suite du transport *longshore* induit par la dérive littorale. Ainsi, en plus de la sédimentation, conformément à la dérive Nord/Sud (*longshore*), les fleuves jouent ici un rôle non négligeable dans l'apport sédimentaire lors des périodes de crue. Il faut également noter que les plages de la Casamance sont caractérisées par des ruptures d'embouchures secondaires qui piègent les sédiments transportés par la dérive littorale. Par ailleurs, la dynamique fluviale est caractérisée par la présence des réseaux fluviaux méandriques contrôlés par les facteurs topographiques, la charge sédimentaire transportée, la dimension du réseau de drainage, la stabilité des rives, le climat et la tectonique [15], [16], [17]. Ces sédiments soumis à un contraste de densité des eaux, sont déposés de part et d'autre des estuaires et forment des bancs de sables et de cordons littoraux à l'image de la pointe de Sankoye. Ces matériaux jouent un rôle important dans la morphodynamique sédimentaire du littoral [18], [19]. L'analyse spatiale de la concentration de matières en suspension est un élément fondamental pour les études morphologiques fluviales et côtières, en distinguant si possible le charriage qui se fait près du fond, engendré par les collisions intergranulaires.

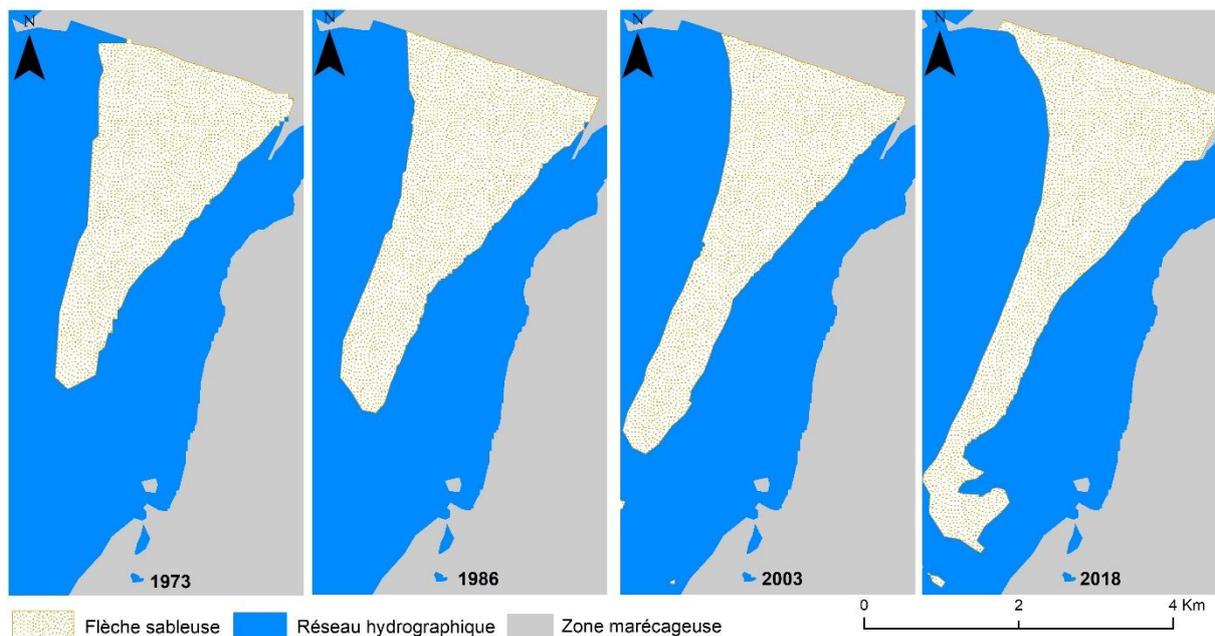
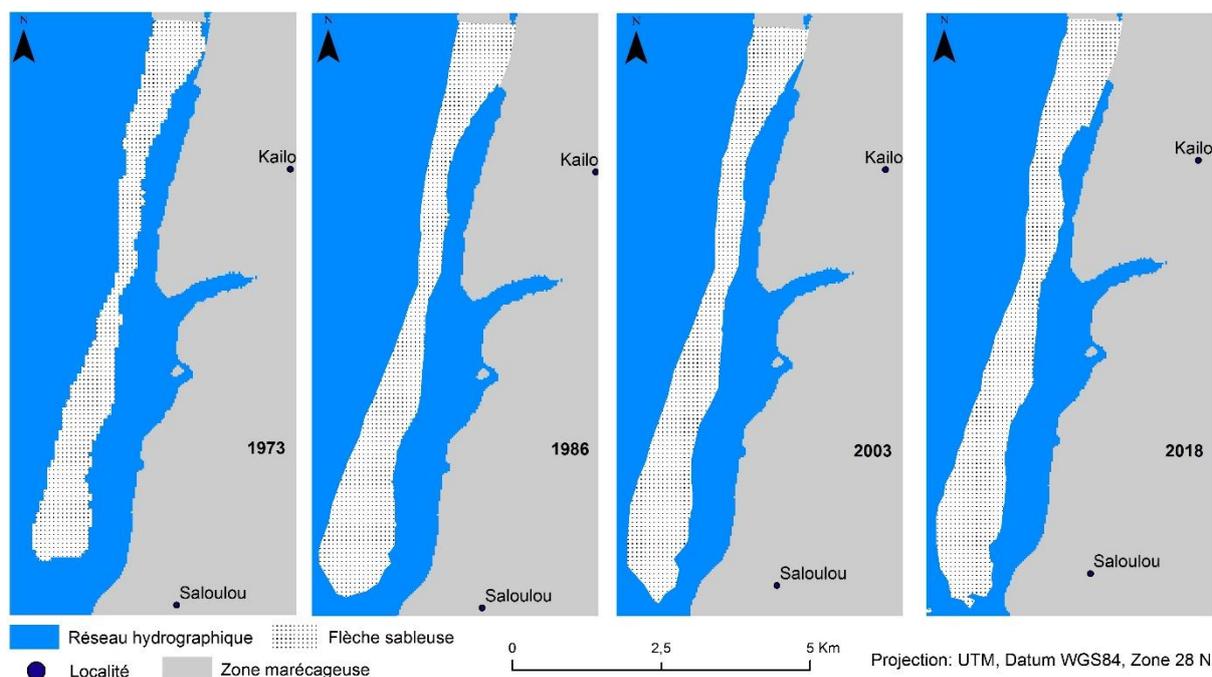


Fig. 6. Morphodynamique de la flèche de Sankoye de 1973 à 2018

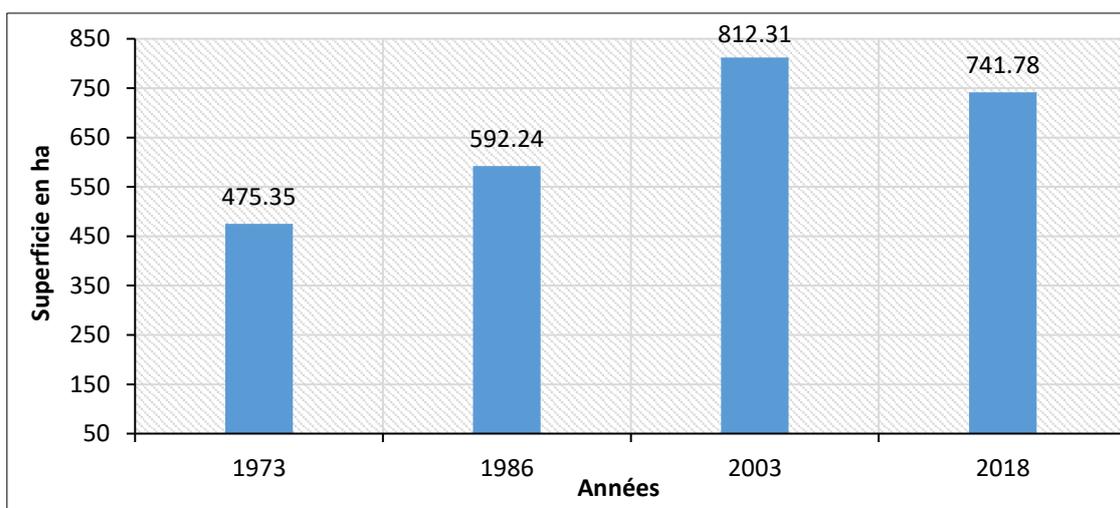
### 3.4 EVOLUTION DE LA FLECHE DE LA PRESQU'ILE AUX OISEAUX

L'évolution morphologique de la flèche de la presqu'île aux oiseaux correspond en grande partie à une redistribution du stock de sédiments. Comme la plupart des flèches analysées, la morphodynamique est contrôlée par la dérive littorale, le transport *longshore* et les apports sédimentaires continentaux. Comme en Afrique de l'Ouest, on note sur le littoral de la Basse-Casamance un important transit sédimentaire caractérisé par un allongement des pointes des flèches sableuses, avec parfois des mises en place de bancs de sable individualisés [20]. La dynamique morphologique de cette flèche est caractérisée par un allongement vers le sud comme la plupart des flèches d'ailleurs. Cet allongement est lié au transport *longshore* qui joue, par ailleurs, un double rôle. Il peut provoquer de l'érosion et entraîner des changements morphologiques très marqués. L'analyse de la dynamique morphologique de cette flèche (figure 8) nous révèle une forte activité érosive de la dérive littorale suivant un gradient Nord-sud. L'allongement des flèches vers le sud le long du littoral de la Casamance est dû à la diminution de la dérive littorale, entraînant un dépôt des charges sédimentaires. Des bancs de sable sont souvent observés à la pointe des flèches, marqués par endroit, par la rencontre des eaux marines et fluviales. Ces bancs résultent des dépôts de charges sédimentaires dus à la rencontre des deux courants. L'évolution de la flèche de la presqu'île aux oiseaux révèle un système morphodynamique défini par des conditions hydrodynamiques turbulentes entraînant des mouvements sédimentaires continus. Toutefois, l'action de la dérive littorale demeure déterminante dans l'édification et l'allongement des flèches sableuses.



**Fig. 7. Évolution spatio-temporelle de la flèche de la presqu'île aux oiseaux de 1973-2018**

L'évolution morphologique de la flèche de la presqu'île aux oiseaux est marquée par le développement de son emprise spatiale. Son développement s'effectue par une progression de sa bordure vers la mer et un allongement vers le sud. La figure 9 représente les statistiques de son évolution spatiale. Elle met en évidence une tendance progressive malgré une perte d'espace observée en 2018 due à l'érosion. Les statistiques indiquent une extension de 116,89 ha entre 1973 et 1986. Une phase d'accumulation qui a vu la flèche s'allonger un peu plus vers le sud tout en s'élargissant au niveau de la pointe. La période 1986-2003 montre un développement significatif de la flèche. Un gain de 220 ha a été constaté. Cette croissance est liée aux apports sédimentaires continentaux et aux courants de dérive. La flèche connaît un léger rétrécissement de sa pointe qui se rattrape par un allongement un peu plus poussé. Cependant, la période 2003-2018 connaît une régression des superficies de l'ordre de 70,53 ha. Ces pertes sédimentaires sont dues à l'érosion par la dérive littorale. C'est la seule période où la flèche a perdu d'énormes quantités de sédiments. Ceci s'explique par une forte érosion et une diminution des apports sédimentaires fluviaux.



**Fig. 8. Statistiques de l'évolution de la flèche de la presqu'île aux oiseaux de 1973-2018**

### 3.5 DYNAMIQUE SPATIO-TEMPORELLE DE LA POINTE DU CAP ROXO

Les flèches sableuses observées le long des rivages meubles de l'espace étudié connaissent, dans l'ensemble, une progradation de sa façade maritime et un allongement libre de leur pointe vers le Sud. Leur dynamique est liée à la présence d'une dérive littorale résultant de l'obliquité de la houle par rapport à la ligne de rivage. En amont de la pointe du Cap Roxo, une forte érosion est observée dont une grande partie des sédiments est transporté par la houle du Nord et la dérive littorale (éléments essentiels du transport sédimentaire) vers l'aval. Un engraissement de la flèche est accompagné d'un déficit sédimentaire en amont (figure 10).



**Fig. 9. Forte érosion côtière du segment proximal de la plage de Varela**

La dynamique des flèches est également liée aux apports sédimentaires fluviaux. La pointe de la pointe du Cap Roxo, à l'image des autres flèches identifiées, se situent à l'intérieur de l'embouchure notamment à la rencontre des eaux marines et fluviales. Une partie de ces sédiments transportés se dépose à la rencontre des eaux marine sous l'effet du contraste de densité. Ce mécanisme entraîne des dépôts continus de sédiments et participe à l'engraissement et à l'allongement de la flèche (figure 11).

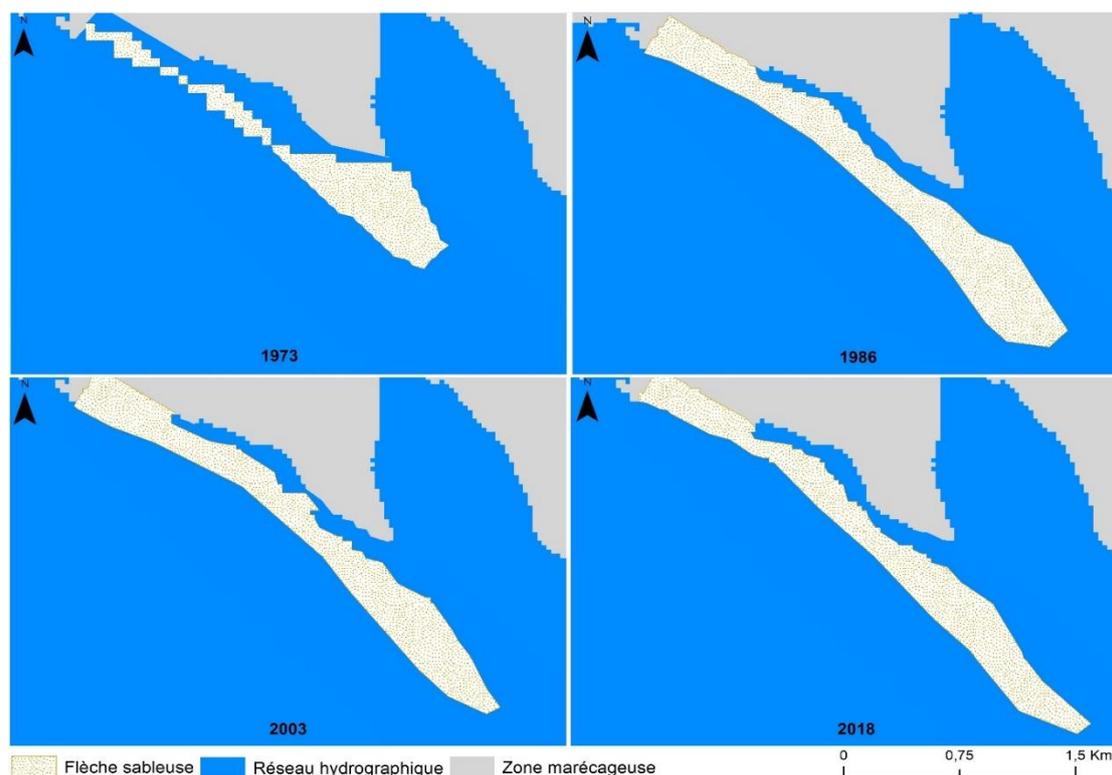


Fig. 10. Évolution spatio-temporelle de la pointe du Cap Roxo de 1973-2018

Les statistiques de l'évolution spatiale de la pointe du Cap Roxo entre 1973 et 2018 indiquent une extension de 38,19 ha entre 1973 et 1986. Ces changements se manifestent par un engraissement de son rivage et une progression de sa pointe vers le Sud. À partir de 1986, une faible tendance à la régression est observée qui passe de 92,19 ha en 1986 à 82,42 ha en 2018. La période 1986-2003 reste la plus érosive avec une régression de 7,75 ha. Ce recul est lié à un déficit sédimentaire dû à l'érosion et à la réduction des apports sédimentaires fluviaux.

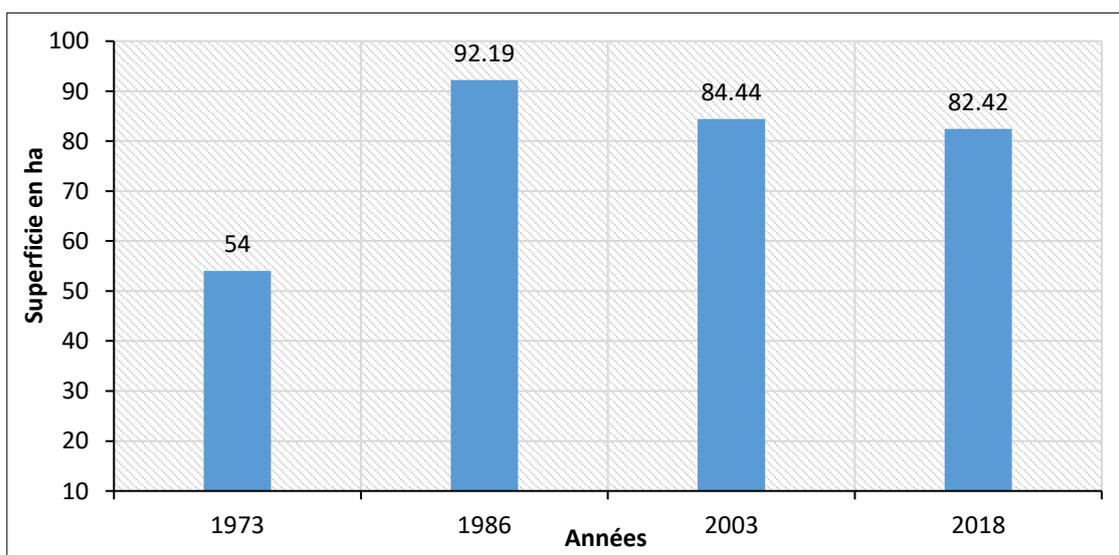


Fig. 11. Statistiques de l'évolution de la pointe du Cap Roxo de 1973-2018

## 4 DISCUSSION

La densité du réseau hydrographique de la zone d'étude constitue un vecteur de flux sédimentaires qui participe à la morphodynamique du littoral. Les flux sédimentaires déclenchés par les fortes précipitations et l'érosion des berges sont piégés dans les estuaires par la densité des formations de mangrove. Au contact entre les eaux marines et celles des fleuves Casamance et Cacheu se forment des milieux d'accumulation de sédiments appelés panaches. En effet, les côtes casamançaises, à l'instar des côtes ouest-africaines, sont touchées par les houles du Nord-Ouest des hautes latitudes boréales et les houles du Sud-Ouest [17], [19], [21], [22], [23]. Ces agents hydrodynamiques ont une incidence non négligeable sur l'évolution des plages. Les flèches sableuses de la basse Casamance et de la Guinée Bissau évoluent dans le domaine climatique sub-guinéen marqué par une forte pluviométrie. Cela se traduit par une augmentation de la charge sédimentaire des cours d'eau en saison pluvieuse. L'allongement de la pointe libre des flèches peut être lié à un approvisionnement permanent en sédiments par les agents hydrodynamiques fluvio-marins. Cet allongement est facilement remarquable sur les images satellitaires Landsat utilisées. Leur direction Nord-sud indique leur évolution sous l'influence de la houle Nord-ouest. La presqu'île aux oiseaux est remarquable par la forme concave qui affecte sa bordure externe [5].

Au niveau de la pointe de Sankoye, une partie du transport sédimentaire est effectué par la dérive littorale Nord-Ouest/Sud-Ouest. Cependant, ces particules transportées par la dérive Nord-Ouest sont séquestrées à l'embouchure, et s'y accumulent. Ces accumulations se réalisent par une contre-dérive locale qui s'exerce généralement lors du passage de la houle Sud-Ouest [18], [22], [24], [25]. Sur la pointe de Sankoye l'accrétion est le résultat de ce système de double dérive. Par ailleurs, les apports continentaux sont non négligeables dans la contribution à l'accrétion des plages [10], [16], [26]. La flèche de la Presqu'île aux Oiseaux au nord de l'embouchure de la Casamance est la plus large et la plus longue (10 km environ) de toutes les flèches étudiées. Elle atteint son extension maximale à son extrémité avec une largeur d'un kilomètre environ [26]. Cette flèche a connu une extension remarquable entre 1973 et 2018. Les superficies issues des résultats cartographiques montrent un développement de son emprise spatiale de 336,96 ha. La dynamique des trois flèches est facilement observable sur les images Landsat analysées. En ce qui concerne la pointe du Cap Roxo, elle est marquée par une extension de ses superficies entre 1973 et 1986 avant de connaître une régression progressive jusqu'en 2018. Les extrémités de la pointe libre des flèches ne sont touchées par l'érosion. Celle-ci concerne généralement les racines des flèches.

## 5 CONCLUSION

La cartographie diachronique des flèches sableuses à l'aide des images satellitaires Landsat a permis de montrer leur évolution entre 1973 et 2018. La morphodynamique des flèches littorales des Rivières du sud est liée à l'action de la houle du Nord-ouest qui engendre une dérive littorale Nord-sud et détermine la direction des sédiments charriés. À cela s'ajoutent les apports sédimentaires fluviaux et éoliens. L'ensemble de ces éléments contrôle l'évolution morphologique et ont permis de constater une évolution morphologique rapide des flèches sableuses dont la plus remarquable reste la migration de leurs embouchures et l'allongement de leurs pointes vers le sud. Entre 1973 et 2018, les trois flèches ont augmenté de 266,43 ha pour la flèche de la presqu'île aux oiseaux, 112,93 ha pour la flèche de Sankoye et 28,42 ha pour la pointe du Cap Roxo.

## REFERENCES

- [1] A. PIMMEL, Contribution à l'étude sédimentologique des mangroves de Casamance (Sénégal). Étude granulométrique et exoscopique. Thèse de doctorat, Université Louis Pasteur, 149 p, 1984.
- [2] 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, 233 p, 1999.
- [3] E. S. DIOP, La côte ouest-africaine du Saloum (Sénégal) à la Mellancorée (Rep. De Guinée). Thèse de doctorat, Université de Strasbourg, 379 p, 1990.
- [4] S. Jolicoeur, M. Giangioppi & D. Bérubé, "Réponses de la flèche littorale de Bouctouche (Nouveau-Brunswick, Canada) à la hausse du niveau marin relatif et aux tempêtes entre 1944 et 2000". Géomorphologie: relief, processus, environnement, vol. 16 - n° 1, 91-108, 2010.
- [5] A. Sy, Étude géomorphologique des flèches sableuses du littoral Sénégalais: langue de Barbarie (Nord-Sénégal), pointe de sangomar (Saloum) et presqu'île aux oiseaux (Casamance). Mémoire de maîtrise, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 103 p, 1982.
- [6] M. C. CORMIER-SALEM, Rivières du Sud: sociétés et mangroves ouest-africaines. IRD éditions. Volume 1. 1999.
- [7] G. PENNOBER, "Dynamique littorale d'un delta estuarien: les Bijagós (Guinée-Bissau)". Cahiers Nantais, n° 59, pp. 139-148, 2003.

- [8] J. L. SAOS, C. LE BOUTEILLER & E. S. DIOP "Aspect géologique et géomorphologique de la Casamance: Étude de la sédimentation actuelle". *Rev. Hydrobiol. trop.* 20 (3-4): 219-232, 1987.
- [9] M. LEROUX, *Le climat de l'Afrique tropicale*. Éditions Champions, Paris, 631 p, vol 2, 1983.
- [10] D. TINE, M. FAYE, M. THIOR, M. MBAYE, L. BIAYE, G. FAYE, D. TINE, "Contribution of water erosion to coastal sedimentary morphodynamics: quantification using universal soil loss (RUSLE) in the Kafountine watershed (southern Senegal) ". *International Journal of Agriculture, Environment and Bioresearch*, Vol. 5, N°06. ISSN: 2456 – 8643, 2020.
- [11] G. Soro, E. K. Ahoussi, E. K. Kouadio, T. D. Soro, S. Oulare, Saley, M. B. N. Soro, J. Biemi, "Apport de la télédétection à la cartographie de l'évolution spatio-temporelle de la dynamique de l'occupation du sol dans la région des Lacs (Centre de la Côte d'Ivoire) ". *Afrique SCIENCE*. 10 (3), pp. 146-160, 2014.
- [12] T. LORTHIOIS, *Dynamique des matières en suspension dans le panache du Rhône (Méditerranée occidentale) par télédétection spatiale « couleur de l'océan »*. Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie, 250 p, 2012.
- [13] E. AMOUSSOU, *Variabilité pluviométrique et dynamique hydro-sédimentaire du bassin-versant du complexe fluvio-lagunaire Mono-Ahémé-Couffo (Afrique de l'Ouest)*. Thèse de doctorat, Université de Bourgogne, p.83-85, 2010.
- [14] Y. BALOUIN, L. DESBIENDRAS, M. GERVAIS & J. TESSON (12-14 juin 2012). *Dynamique à haute fréquence des barres d'avant-côte en milieu microtidal: suivi vidéo du Lido de Sète, Golfe du Lion, XIIèmes*. Journées Nationales Génie Côtier Génie Civil, Cherbourg. DOI: 10.5150/jngcgc.2012.019-B.
- [15] A. M. M. BILONGO, *La modélisation génétique de systèmes fluviaux méandriformes: exemple du bassin de Loranca (Espagne)*. Mémoire de stage, Université Pierre et Marie Curie, 39 p, 2008.
- [16] 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, No.9, 106-130, 2019.
- [17] C. FAYE, M. GRIPPA, L. KERGOAT, E. ROBERT, "Investigating the drivers of total suspended sediment regime in the senegal river basin using landsat 8 satellite images". *Journal of Environmental Geography*, 31-42, 2020.
- [18] M. SADIO, *Morphodynamique et aménagement des flèches littorales de la côte du Sénégal*, Thèse de Doctorat, Université Cheikh Anta Diop/AIX Marseille Université, 375p, 2017.
- [19] A. NDOUR, R. A. LAÏBI, M. SADIO, G. E. DEGBE, A.T. DIAW, L. M. OYEDE, E. J. ANTHONY, P. DUSSOUILLEZ, H. SAMBOU, E. B. DIEYE, "Management strategies for coastal erosion problems in West Africa: Analysis, issues, and constraints drawn from the examples of Senegal and Benin". *Ocean & Coastal Management*, 156, pp. 92-106, 2018.
- [20] E. B. DIEYE, A. T. DIAW, T. SANÉ & N. NDOUR, "Dynamique de la mangrove de l'estuaire du Saloum (Sénégal) entre 1972 et 2010". *Cybergeo: European Journal of Geography. Environment, Nature, Landscape*, 629, 2013.
- [21] M. THIOR, A. A. SY, I. CISSE, E. B. DIEYE, T. SANE, B. D. BA, B. SOLLY, L. DESCROIX "Approche cartographique de l'évolution du trait de côte dans l'estuaire de la Casamance". *Mappemonde*, 131, 2021.
- [22] A. A. SY, *Dynamique sédimentaire et risques actuels dans l'axe Saint-Louis-Gandiou, littoral Nord du Sénégal, littoral Nord du Sénégal*. Thèse de Doctorat, UGB, 328 p, 2013.
- [23] A. T. DIAW, *Évolution des milieux littoraux du Sénégal. Géomorphologie et télédétection*. Thèse de doctorat d'Etat, Université de Paris I: Panthéon - Sorbonne, 270 p, 1997.
- [24] M. THIOR, T. SANE, A. A. SY, E. B. DIEYE, B. BARRY, L. DESCROIX, "Évolution morphologique du cordon sableux de la presqu'île aux oiseaux sur le littoral de la Casamance (Sénégal) ". *Revue marocaine de géomorphologie*, N°4, 11-23 p, 2020.
- [25] T. REY et C. FANGET, "L'inadéquation entre les temporalités côtières et le temps des décisions et des actions au l'exemple de la brèche de Barbarie". *Territoire d'Afriques*, N°10, 15 p, 2017.
- [26] 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, 320 p, 2010.