

Evolution morphologique du cordon sableux de la presqu'île aux oiseaux sur le littoral de la Casamance (Sénégal).

Mamadou THIOR^{1-2*}, Tidiane SANE¹⁻², AmadouAbou SY³, El Hadj B DIEYE¹⁻², Boubacar BARRY¹, Luc DESCROIX⁴⁻²,

¹Laboratoire de Géomatique et d'Environnement (LGE), Université Assane SECK de Ziguinchor, Ziguinchor, Sénégal. m.thior3145@zig.univ.sn . edieye@univ-zig.sn . b.barry1062@zig.univ.sn

²Laboratoire Mixte International "Patrimoines et Territoires de l'Eau" (LMI PATEO). tsane@univ-zig.sn

³Université Gaston Berger de Saint-Louis/Sénégal, BP 234, Laboratoire Leidi "Dynamiques des territoires et développement". syamadouabou2@yahoo.fr

⁴Institut de Recherche pour le Développement (IRD), Laboratoire Mixte International "Patrimoines et Territoires de l'Eau" (LMI PATEO). luc.descroix@ird.fr

Résumé

Sur le littoral de la Casamance se développe un système de diverses unités morphologiques parmi lesquelles le cordon sableux de la presqu'île aux oiseaux. Celui-ci s'individualise par sa forme linéaire très étroite allongée vers le sud par des accumulations de sédiments transportés par la dérive littorale conditionnant ainsi son évolution morphologique.

Ainsi, sur la base des outils d'analyse spatiale, cette contribution se propose d'étudier l'évolution morphologique de la presqu'île aux oiseaux du littoral de la Casamance.

Pour ce faire, la superposition d'images multi-dates (photographie aérienne 1968, images satellitaires 1986 et images Google Earth de 2004, et 2017) a permis d'apprécier les variations surfaciques et linéaires qui marquent l'évolution morphologique du cordon sableux.

Les résultats à travers l'analyse de l'indice du LRR (Linear Regression Rate), qui nous a permis de calculer le taux d'évolution moyenne du trait de côte sur toute la période (1968-2017), montrent une mobilité très variable sur l'étendue du secteur étudié. En effet, au sud du segment où se développe la flèche sableuse de la presqu'île aux oiseaux, l'accrétion est active et, est de 2,53 m/an, en revanche, la partie centrale est globalement caractérisée par une érosion avec de légères accumulations par endroits. On peut constater un taux de recul sur la globalité de la période de -0,98 m/an. Ce recul est accéléré au nord avec un bilan érosif de 1,25 m/an.

Mots clés : Evolution, morphologique, Cordon sableux, Presqu'île aux oiseaux Casamance, Sénégal.

Abstract

On the Casamance coast, a system of various morphological units develops, including the sandy cordon of the bird peninsula. It is individualized by its very narrow linear shape extended to the south by accumulations of sediment transported by the coastal drift conditioning its morphological evolution.

Thus, on the basis of spatial analysis tools, this contribution aims to study the morphological evolution of the bird peninsula of the Casamance coast.

To do this, the superimposition of multi-date images (aerial photography 1968, satellite images 1986 and Google Earth images from 2004 and 2017) made it possible to appreciate the surface and linear variations that mark the morphological evolution of the sandy cord.

The results through the analysis of the LRR index, which allowed us to calculate the average evolution rate of the coastline over the entire period (1968-2017) shows a very variable mobility over the extent of the sector studied. Indeed, south of the segment where the sandy arrow of the bird peninsula is developing, progradation is active and is 2.53 m / year. Unlike in the south of the segment, the central part is characterized by erosion with slight progradation in places. We can see a decline rate over the entire period of -0.98 m / year. This setback is accelerated in the north with an erosive balance of -1.25 m / year.

Keywords: Evolution, morphological, Sandspit, Casamance bird peninsula, Senegal.

ملخص

يتميز ساحل كاسامانس (Casamance) بتطور نظام من الوحدات المورفولوجية المختلفة التي يعتبر الكتيب الساحلي لشبه جزيرة الطيور (presqu'île aux oiseaux) أهمها. وقد تكون هذا الكتيب، ذوالشكل الخطي الضيق للغاية والممتد إلى الجنوب، بفعل تراكم المواد الرسوبية التي ينقلها التيار الساحلي الذي يتحكم في تكييف تطوره المورفولوجي.

تهدف هذه المساهمة العلمية ، المبنية على أساس أدوات التحليل المكاني، إلى دراسة التطور المورفولوجي لشبه جزيرة الطيور على ساحل كاسامانس (Casamance).

للقيام بذلك ، تم الاعتماد على تراكم الصور متعددة التواريخ (التصوير الجوي 1968 ، صور الأقمار الصناعية 1986 وصور Google Earth من 2004 إلى 2017) لتقدير التطورات السطحية والخطية التي تميز التطور المورفولوجي للكتيب الساحلي .

أظهرت النتائج المحصل عليها من خلال تحليل مؤشر LRR (معدل الانحدار الخطي)، الذي سمح لنا بحساب معدل تطور الخط الساحلي طوال الفترة (1968-2017) ، أن هناك دينامية كبيرة على مدى القطاع المدروس. على مستوى جنوب الجزء الذي يتطور فيه السهم الرملي لشبه جزيرة الطيور ، تم تسجيل عملية تسمين مهمة تصل إلى 2.53 م / سنة . في حين يتميز الجزء الأوسط بشكل عام بالتراجع مع تراكم طفيف في بعض الأماكن. يمكننا أن نسجل معدل تراجع عام طوال فترة الدراسة يصل إلى -0.98 م / سنة. في حين تم تسجيل تراجع في الشمال يقدر -1.25 م / سنة.

الكلمات المفتاحية : التطور ، المورفولوجي ، الكتيب الساحلي ، شبه جزيرة كاسامانس ، السنغال.

Introduction

Selon la typologie de Pinot (2001), il existe des flèches d'estuaires et celles de redan en milieu littoral. Les flèches d'estuaires, baptisées « flèches sénégalaises » par Barusseau (1980), sont celles qui se développent au droit des embouchures des fleuves (Sénégal, Saloum, Casamance) et sont allongées vers le sud sous l'influence du courant de la dérive. Quant aux flèches de redan, elles se développent à l'abri d'une pointe rocheuse, d'un cap ou d'un angle saillant de la côte (Dièye et *al.*, 2013, Faye, 2010 ; Diaw et *al.*, 1997). Les flèches du littoral de la Casamance, bien que moins importantes que celles du littoral nord-sénégalais, dégagent des caractéristiques morphologiques similaires et témoignent les constructions d'unités du courant de la dérive. Ces flèches affichent un allongement de leurs extrémités distales dans le sens du transport sédimentaire *Longshore* dominant, entraînant ainsi l'embouchure vers le Sud (Sadio, 2017).

De plus, le changement morphologique de ces unités peut intervenir de façon très rapide suite à des tempêtes inhabituelles. En effet, l'action des tempêtes marines entraîne souvent des réponses morphologiques rapides et des impacts importants sur les littoraux sableux : recul du trait de côte, submersion et érosion de la plage, franchissements et destruction des systèmes dunaires. Elle provoque également une importante dynamique des barres sédimentaires d'avant-côte (Valadas, 2011 ; Balouin et *al.*, 2012 ; Stephan et *al.*, 2013). C'est pourquoi l'observation sur les données géospatiales montre une morphogénèse récente de la flèche de Niafrang qui suit une orientation Nord-sud sous l'influence du courant de la dérive.

La flèche de la presqu'île aux oiseaux connaît une évolution formée juste au niveau de l'embouchure qui la porte. La morphologie de ce secteur présente donc une particularité. Ainsi, en plus de la sédimentation, suite à la dérive nord-sud (*longshore*), où les rivières jouent un rôle non négligeable dans l'apport sédimentaire (Dieng, 1997).

À l'instar de la plupart des flèches sableuses, où la direction générale de migration est vers le sud, des flèches sableuses du Sénégal, comme la flèche de la Langue de Barbarie (Sy, 2013 ; Sall, 1982), la flèche de Sangomar (Sadio, 2017 ; Sakho, 2011 ; Diaw, 1997) ou la flèche de Mbodienne (Turmine, 2001 ; Ngami-, 2007), etc., la petite flèche du sud de Cabrousse connaît l'influence de la dérive littorale qui entraîne un transit sédimentaire vers le sud.

Situé en Afrique de l'Ouest et bordé par l'Océan Atlantique, le littoral de la Casamance appartient au domaine climatique tropical sud-soudanien côtier. Sa position géographique et son appartenance au bassin sédimentaire sénégal-mauritanien lui confèrent des caractéristiques géomorphologiques particulières qui s'expriment par des dynamiques littorales relativement importantes permettant la mise en place de ces unités morphologiques telle que le cordon sableux de la presqu'île aux oiseaux du littoral de la Casamance (Fig.1).

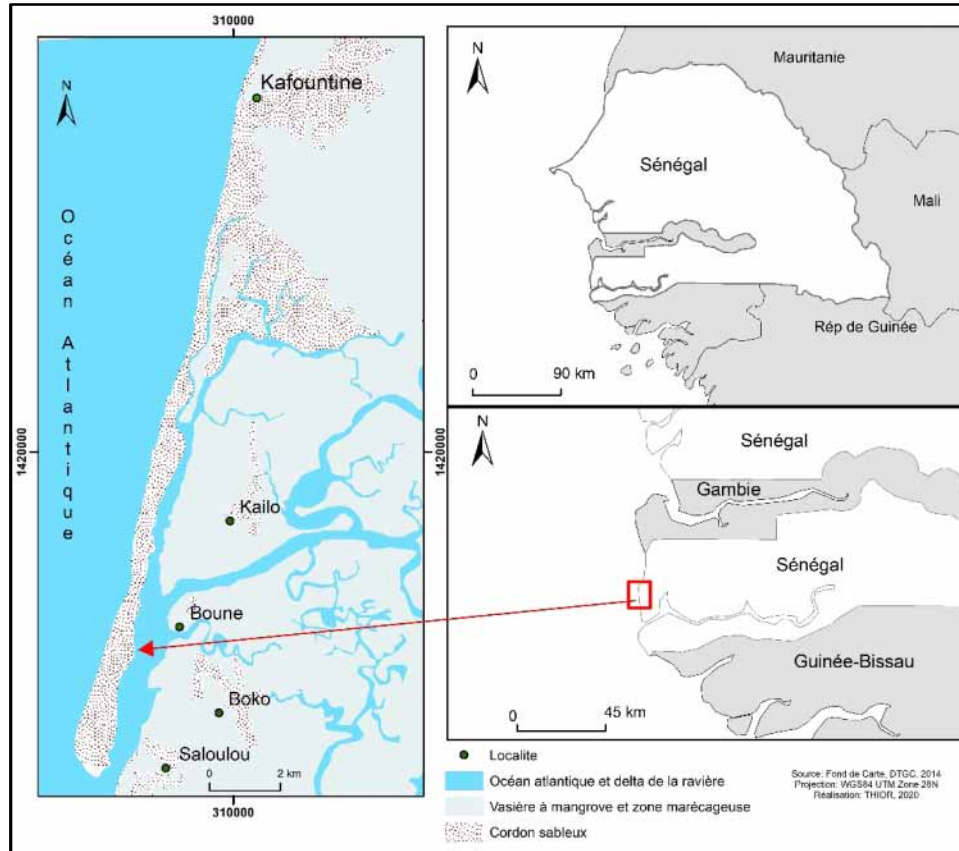


Figure 1: Localisation du cordon sableux de la presqu'île aux oiseaux sur littoral de la Casamance

I. Données et méthodes

La méthode adaptée pour cette étude est basée d'abord sur l'interprétation et la superposition des images géo-spatiales multi-dates (Images satellitaires (Landsat et Google Earth), photographies aériennes,).

1. Données

Données	Missions	Date d'acquisition	Capteur/chambre focale	Résolution / Echelle	Sources
Photo aérienne	ND 28 II-III	01/01/1968	15 UAGI 1041 - 151,869	1m 1/40 000	CSE Sénégal
Landsat	Série L5	09/02/1986	Capteur TM	30	Earth Explorer
Google Earth	-----	03/07/2004	-----	0,90m	Earth Explorer (Google Earth)
Google Earth	-----	12/03/2017	-----	0,90m	Earth Explorer (Google Earth)

Tableau 1: Données géospatiales utilisées

2. Méthodes de traitement

Le traitement des données géospatiales de différente nature a été complexe. En effet, chaque donnée demande un traitement spécifique du fait des limites individuelles qu'elles

présentent. Ainsi, pour les photographies aériennes et les captures d'image *Google Earth*, il s'agit surtout du géoréférencement qui constitue la première étape. Ceci pour leur accorder des références spatiales (WGS84 UTM Zone 28N). Pour l'image satellitaire Landsat, le traitement spécifique consiste à la création de compositions colorées, à la vérification géométrique et au réhaussement de la dynamique. Pour chacune des scènes Landsat utilisées, toutes les bandes font partie de la combinaison, sauf celle de l'Infrarouge thermique (bande 6) qui n'a aucun apport pour cette étude, et qui, de surcroît, a une résolution spatiale grossière soit de 120 m pour Landsat5 (Robin et *al.*, 2016 ; Le Berre et *al.*, 2016 ; Djuguna, 2016 ; Sadio, 2017).

2.1. Lacartographie

La numérisation de la ligne de rivage a été faite avec le logiciel ArcGIS 10.5 et les calculs statistiques des vitesses d'évolution de la ligne instantanée de rivage avec l'application DSAS4.3. Le choix de la ligne de référence a été nécessaire pour la cartographie du trait de côte dont la mobilité à travers les différentes images permet de calculer les variations surfaciques de la flèche. La ligne de rivage est définie comme étant l'interface du linéaire entre le plan d'eau et la pente de l'estran, et (Fletcher et *al.*, 2003). Sur les images, c'est la mousse blanchâtre du jet de rivage qui permet de l'identifier (Kraus et *al.*, 1999 ; Thior et *al.*, 2019).

2.2. Analyse statistique de la dynamique des lignes instantanées de rivage des flèches littorales à partir du DSAS

Le calcul du taux d'évolution du trait de côte nécessite préalablement la mise en place d'au moins deux lignes de rivage numérisées à différentes dates. Le principe général est de fermer les traits de côte avec les transects du DSAS, pour obtenir directement les surfaces. Il faut ensuite distinguer les surfaces en érosion avec un signe négatif ($-m^2$ ou en ha) des surfaces en accrétion ($+m^2$ ou en ha). Ainsi, dans ArcGIS l'outil « combiner » pour assembler dans un même *shapefile* les deux traits de côtes (ligne instantanée de rivage) et les transects du DSAS. Ensuite l'outil « entités vers polygone » pour convertir en polygones les polylignes contenues dans le *shapefile* déjà créé dans la première étape. Enfin, dans le fichier de polygone, on sélectionne les surfaces en érosion, puis dans le calculateur de champs, on met en formule le nom des champs avec les valeurs de surfaces. Pour cela, l'exploitation de l'outil demande au préalable une mise en forme rigoureuse des données dans une Géodatabase personnalisée, la création d'une ligne de base et de transects équidistants, une estimation de

l'incertitude liée à la méthode ainsi que le choix des statistiques relatives aux taux d'évolution (Juigner, 2012). Lorsque tous les paramètres d'entrée sont correctement saisis, le *DSAS* génère automatiquement, selon le pas de mesure défini, les transects. Ces derniers sont perpendiculaires au linéaire côtier et mesurent les écarts entre les traits de côte puis calculent les taux moyens de déplacement le long de chaque transect (Faye et *al.*, 2013). La création de la Géodatabase personnelle consiste à mettre deux entités : une première entité contenant une ou plusieurs lignes (s) de références nommées *baseline* et une seconde entité constituée de traits de côte déjà numérisés sur ArcMap nommée *shorelines*. Ces deux entités sont incluses dans la zone tampon *Buffer shoreline* qui permet de stabiliser l'espace linéaire dans lequel les traits de côte ont été numérisés.

2.3. L'estimation de la marge d'erreur

L'erreur globale, appelée Erreur de Position Globale du Trait de côte, est calculée en prenant la racine carrée de la somme des carrés de chaque erreur (erreur de pixel, de géoréférencement, de digitalisation, oscillation) (Mathieu 2014 ; Juigner 2012 ; Fletcher et *al.*, 2003). L'erreur liée à la variation de la marée est obtenue par le rapport de la hauteur de la marée sur la pente de la plage. Or, sur les côtes à embouchure tidale de la Casamance, le marnage est de 1,1m en moyenne et la pente de 7,83%. Ainsi, dans cette étude, on calcule pour chaque année la valeur des quatre erreurs déjà identifiées sur les images. Cela donne donc les équations suivantes :

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

Et

$$E\alpha = \frac{\sqrt{E_{pt}^2 + E_{pt}^2}}{Période(t)}$$

E_{pt}: Erreur de position globale du trait de côte

E_p : Erreur de pixel (résolution spatiale)

E_g : Erreur de Géoréférencement (RMS)

E_d : Erreur de digitalisation

E_o : Erreur de l'oscillation de marée

E_α: Erreur globale en moyenne en m/an

La somme de ces racines carrées donne l'erreur d'un pas de temps étudié. Ainsi, pour intégrer la marge d'erreur sur les résultats d'analyse, il faut obtenir le total des sommes des erreurs de position globale du trait de côte pour chaque pas de temps d'analyse. Ceci est répété pour chaque flèche.

Marge d'erreur			
Période	1968-1986	1986-2004	2004-2017
Erreur globale en moyenne en m/an	1.83	1.8	0.097
Erreur sur la période en m	33.06	32.51	1.76

Tableau 2 : Erreur calculée sur la position globale de la ligne de rivage

II. Résultats et discussions

La Presqu'île aux oiseaux a été mesurée avec 15mètres d'équidistance entre les transects. Le cordon est régulier où la mobilité du trait de côte est plus ou moins homogène. La superposition des images montre une marge d'incertitude comprise 1,83m/an entre 1968 et 1986, 1,80m/an entre 1986 et 2004, et une autre moins importante entre 2004 et 2017, soit 0,097m/an.

1. Evolution morphologique du cordon sableux de la presqu'île aux oiseaux entre 1968 et 1986

L'analyse des résultats cartographiques sur le cordon de la presqu'île aux oiseaux entre 1968 et 1986 a permis de constater une variabilité de la ligne instantanée de rivage par endroits, mais avec une dynamique globalement progradante. Par ailleurs, l'analyse de la figure 2 montre qu'au cours de la période 1968-1986, il y a une extension de 32,76m/an de la flèche côté nord du grau où se sont mis en place de crochons et rétrogradation de la flèche du côté sud (Fig.2). L'embouchure a tendance à migrer ainsi vers le sud. Ainsi l'accrétion moyenne de +8,59 m/an sur le segment distal de la flèche. Néanmoins, ce taux d'accrétion diminue sur le segment médian avant de connaître une forte augmentation au nord (segment proximal). Ces taux d'évolution moyenne sont supérieurs à la marge d'incertitude (1,83m/an) et varient respectivement de +7,79 m/an à +13,04 m/an avec un engraissement de 13753,40m²/an. En conséquence, la vitesse d'accrétion observée augmente au fur et à mesure que l'on avance vers le nord. Ainsi, comme toutes les flèches sableuses de l'Afrique de l'Ouest, on note toujours un important transit sédimentaire qui se traduit par un allongement des pointes des flèches sableuses avec parfois des mises en place de bancs de sable singuliers (Dièye et al., 2013). Ces bancs de sable ou barres de *swash* migrent également vers le sud sous l'influence de la dérive littorale.

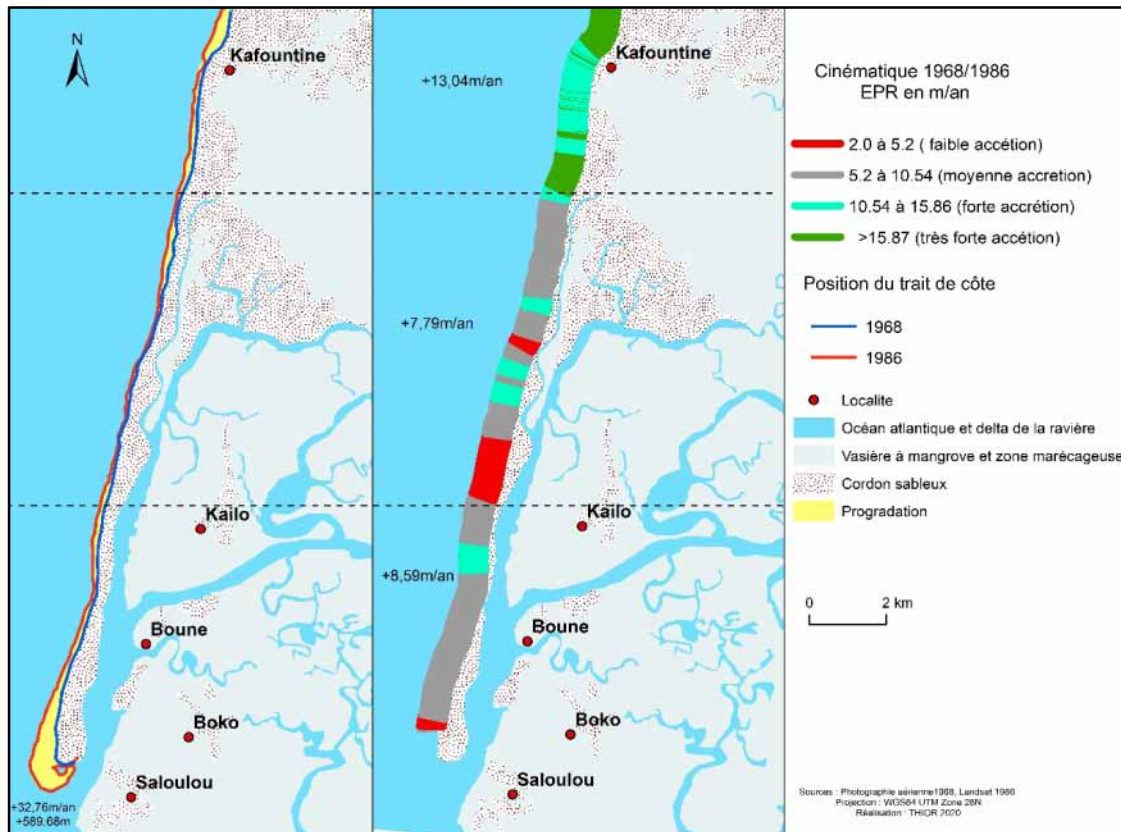


Figure 2 : Evolution spatio-temporelle de la morphologie de la presqu'île aux oiseaux entre 1968 et 1986

2. Evolution morphologique du cordon sableux de la presqu'île aux oiseaux entre 1986 et 2004

Entre 1986 et 2004 la position de la ligne instantanée de rivage a connu une très forte régression entraînant l'érosion excepté la pointe de la flèche. C'est en effet, une période pendant laquelle la persistance de la sécheresse serait marquée par une irrégularité de la pluviométrie. Cette situation aurait des conséquences sur les apports continentaux (fleuves, Saloum, Gambie, Casamance). Ainsi, au sud du segment on enregistre un taux de recul de - 5,5 m/an tandis qu'au centre le taux de recul moyen a doublé. Au nord du secteur, le rythme de recul s'est accéléré, soit une vitesse moyenne de 16,93 m/an (Fig. 3). Les taux de recul des trois segments de la flèche sableuse ne sont pas compris dans la marge d'erreur, on en déduit logiquement un bilan sédimentaire négatif soit $503360,14 \text{ m}^2/\text{an}$. Cependant, une progression du front de la flèche de + 21,16 m/an est observée même si elle est largement inférieure à la progradation de la pointe de la flèche entre 1968 et 1986.

Le bilan surfacique révèle une perte globale de surface de la flèche entre 1986 et 2004, avec néanmoins une tendance vers un regain sensible de 2101,40 m²/an, observée sur la pointe de la flèche.

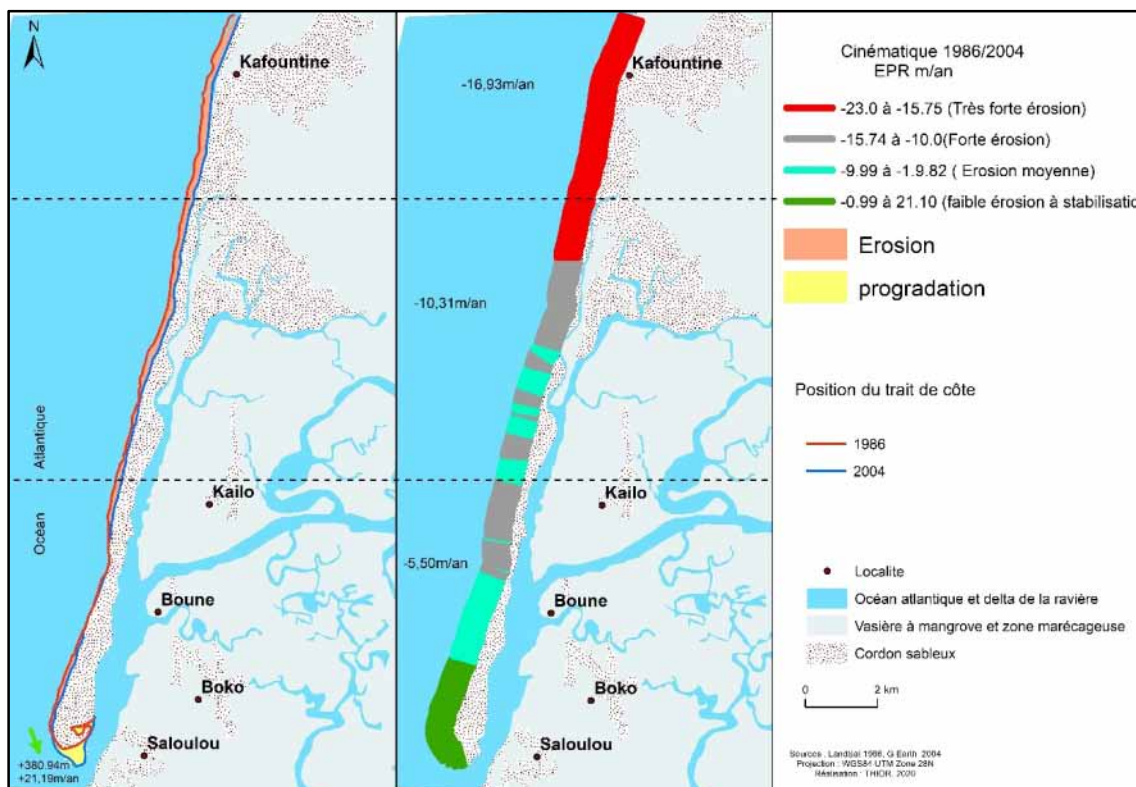


Figure 3: Evolution spatio-temporelle de la morphologie de la presqu'île aux oiseaux entre 1986 et 2004

3. Evolution morphologique du cordon sableux de la presqu'île aux oiseaux entre 2004 et 2017

Entre la période de 2004 et 2017, il apparaît une réduction de la vitesse d'érosion comparée à la période précédente, avec une marge d'incertitude de (0,097m/an). Au sud de la presqu'île, le segment distal a reculé de -1,19 m/an contre -5,5 m/an à la période 1986-2004. Le segment médian est également marqué par une réduction de son taux d'érosion moyenne, soit -4,45 m/an (Fig.4). En revanche, le segment proximal de la flèche, fortement érodé entre 1986 et 2004, a légèrement progradé, soit +1,67 m/an. La période fortement marquée par une érosion est de 18 ans, alors que celle où le taux de recul est de 13 ans. Concernant la flèche, la progression est également réduite, soit 5,84 m/an ; ce qui explique la tendance globale de cette période caractérisée par un faible taux d'érosion.

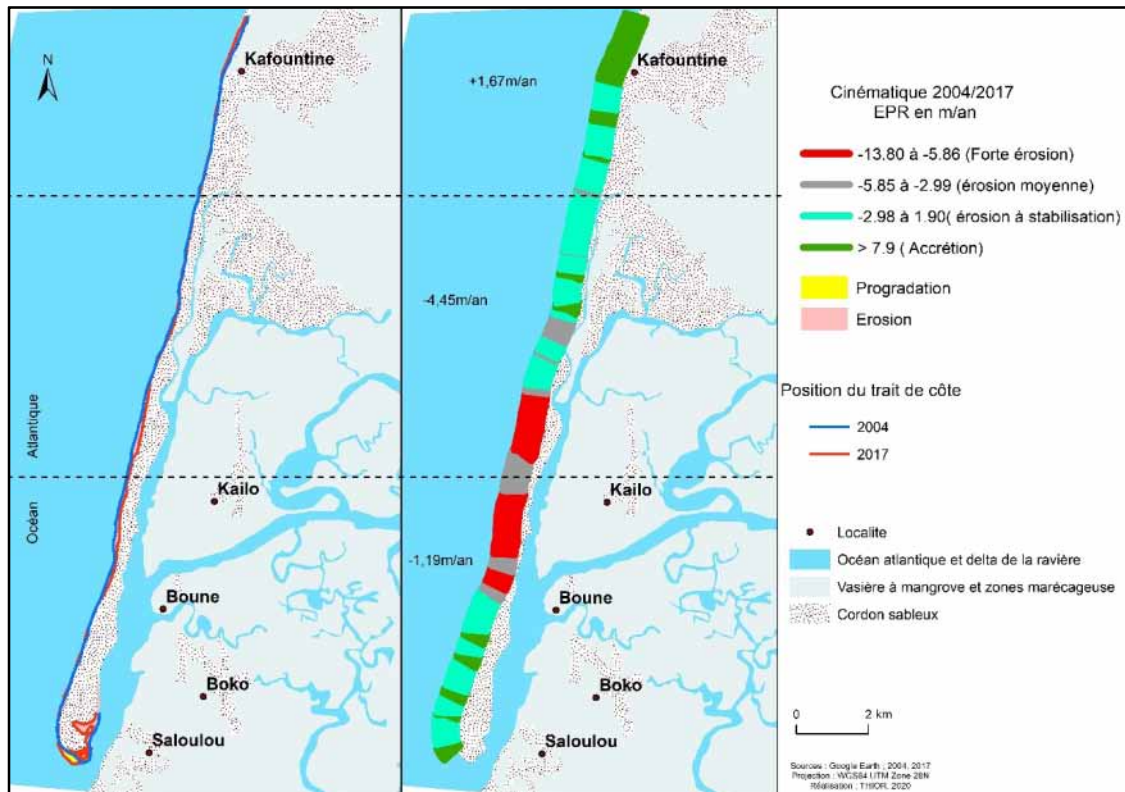


Figure 4 : Evolution spatio-temporelle de la morphologie de la presqu'île aux oiseaux entre 2004 et 2017

4. Bilan de l'évolution morphologique du cordon sableux de la presqu'île aux oiseaux entre 1968 et 2017

L'analyse du LRR, qui nous a permis de calculer le taux d'évolution moyenne du trait de côte sur toute la période, montre une mobilité très variable sur l'étendue du secteur étudié. En effet, au sud du segment où se développe la flèche sableuse de la presqu'île aux oiseaux, la progradation est active. C'est pour cela que la moyenne annuelle calculée entre le transect 1 et le transect 417 est de 2,53 m/an, soit une accrétion moyenne sur la période de +123,97 m. Contrairement au sud du segment, la partie centrale est caractérisée par une érosion avec une légère progradation par endroits. On peut constater un taux de recul sur la globalité de la période de -0,98 m/an, soit une moyenne globale sur la période de - 48,02 m/an. Cette situation de recul est accélérée au nord avec un bilan érosif de -1,25 m/an. Ce bilan est estimé à moyen de 61,25 m mesuré dans la partie proximale de la flèche. Il est donc évident que le courant de la dérive littorale influe sur la variation du taux de recul ou de progression du trait de côte dans le secteur Kafountine-Presqu'île aux oiseaux (Fig. 5). Le taux de recul est réduit au fur et à mesure qu'on avance vers le sud, tandis que pour la même direction, le taux d'accrétion augmente accélérant la progression de la flèche vers le sud avec un bilan surfacique de +11421,58m²/an.

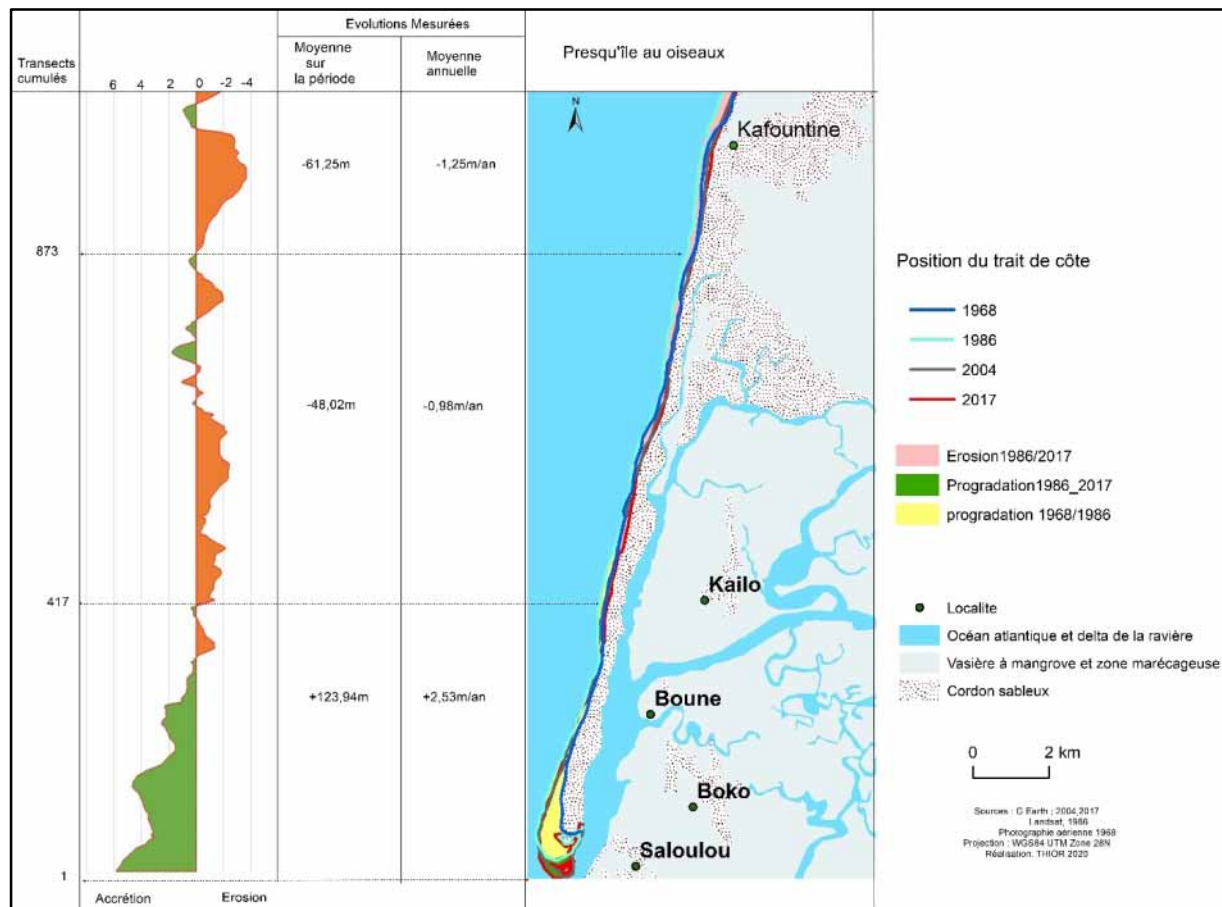


Figure 5 : Bilan de l'évolution morphologique du cordon sableux de la presqu'île aux oiseaux entre 1968 et 2017

Globalement, entre 1986 et 2017, l'évolution morphologique de la flèche est régie par deux processus. Le premier est l'allongement de la pointe nord du grau vers le Sud, car étant bien approvisionnée en sédiments arrachés au nord et transportés par apport de la dérive nord-sud entraînant ainsi la migration méridionale de la flèche. Le second processus est en revanche régi par la rétrogradation de la pointe sud, car sous-alimentée en sédiment. Un tel processus traduit une dynamique contradictoire à tendance régressive de la partie proximale et médiane de la flèche de la presqu'île tandis que sa partie distale est en progradation.

Conclusion

Les côtes casamançaises, à l'instar des côtes ouest-africaines, sont touchées par les houles de nord-ouest des hautes latitudes boréales et les houles du sud-ouest.

Les vagues se forment par un processus de transfert d'énergie induit par la houle du vent à la surface de l'eau. La grande marée est souvent accompagnée de très grandes vagues dont les plus dévastatrices sont fréquentes entre le mois de septembre et de novembre.

Ainsi, les facteurs hydrodynamiques globaux et leurs manifestations locales justifient les résultats obtenus et qui témoignent d'une dynamique érosive et accumulative par endroit de la côte casamançaise. Le suivi cartographique de la presqu'île aux oiseaux a permis de comprendre la nature des contraintes environnementales, notamment celles liées à l'érosion côtière. Ainsi, cet article apporte une contribution à la compréhension du fonctionnement de ce cordon sableux. Elle permet ainsi de connaître les types de dynamiques en cours dans ce littoral encore peu étudié afin de mieux définir les stratégies de protection de ses paysages côtiers, à la fois riches et fragiles.

Bibliographie

Balouin Y., 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, 11p.

Barusseau J.P., 1980. *Essai d'évaluation des transports littoraux sableux sous l'action des houles entre Saint-Louis et Joal (Sénégal)*. *Bulletin de Liaison*, ASEQUA, n°58-59, p. 61 - 39.

Diaw T.A., 1997. *Evolution des milieux littoraux du Sénégal. Géomorphologie et télédétection*. Thèse de doctorat d'Etat ès-Lettres, Université de Paris I : Panthéon - Sorbonne, 270 p.

Dieng, D., 1997. *Morpho dynamique éolienne et problèmes d'ensablement dans la vallée du fleuve Sénégal. Etude de cas : le lac Rkiz et le Kundi*. Thèse de Doctorat, Université de Bordeaux, 1997, 226p.

Dièye E.B., Diaw A.T., Sane T., Ndour N., 2013. *Dynamique de la mangrove de l'estuaire du Saloum (Sénégal) entre 1972 et 2010*. In *Cybergeo : European Journal of Geography, Environnement*, 22p.

Djaguna E.M.V., 2016. *Cartographie de la dynamique du trait de côte à Grand- Lahou : Utilisation de l'outil Digital shoreline Analysis System (DSAS)*. Doi :10.19044/2016.v36p 327p.

Faye I., 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, traitement d'images et analyses de cartes anciennes*. Thèse de l'université de Bretagne occidentale, 321p.

Faye I. Giraudet E. Gourmelon F. Henaff A., 2013. *Cartographie normalisée du trait de côte*. Mappemonde 104 (2011.4) [http : //mappemonde.mgm.fr/num32](http://mappemonde.mgm.fr/num32).

Fletcher C.H., Rooney J.J., Barbee M., Lim S.C., Richmond B., 2003: *Mapping shoreline change using digital orthophotogrammetry on Maui, Hawaii*. *Journal of Coastal Research*, Special Issue n°38, pp 106 - 124.

Juigner M., 2012. *Méthodologie pour l'analyse diachronique du trait de côte de l'observation du littoral des Pays de Monts(Vendée)*, Mémoire de Master 2, Institut de

géographie et d'aménagement Régional de l'université de Nantes
<https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1432295>

Kraus N.C., Rosati J.D. 1999. *Interpretation of shoreline – Position data for coastal engineering analysis*. Coastal Engineering Technical. Note, CETN 2, 39, 15 p.

Le Berre I, Henaff A, Devogele T., Mascaret A., F Wenzel F., 2016. « SPOT5: un outil pertinent pour le suivi du trait de côte ? », *Noroi* [En ligne], 196 | <http://noroi.revues.org/378> ; DOI:10.4000/noroi.378

Mathieu L., 2014 : Cartographie et analyse de l'aléa instabilité sur les falaises et talus rocheux du littoral Vendéen, Mémoire de Master, institut géographique et d'aménagement de Régional de l'Université de Nantes, 109p.

Ngami P., 2007. *Evolution de la lagune de Mbodiène (Petite Côte, Sénégal) : Approche par l'analyse Morpho-sédimentaire et la Télédétection*. Thèse de Doctorat de 3^{ème} cycle, UCAD, 209p.

Niang Diop I., 1995. *L'érosion côtière sur la petite côte du Sénégal à partir de l'exemple de Rufisque: Passé- Présent-Futur*. Thèse pour le grade de Docteur, Université d'Angers, 491p.

Pinot J.P., 2001. *Vocabulaire de Géomorphologie*. Document électronique, www.oceano.org/io/voca, Institut océanographique / Paris.

Robin M., Gourmelon F., 2016. *La télédétection et les SIG dans les espaces côtiers. Eléments de synthèse à travers le parcours de François Cuq*. *Noroi* [En ligne], 196 2005/3, mis en ligne le 15 décembre 2008, consulté le 12 août 2016. URL : <http://noroi.revues.org/368> ; DOI : 10.4000/noroi.368

Sadio M., 2017. *Morphodynamique et aménagement des flèches littorales de la côte du Sénégal*, Thèse de doctorat, UCAD ; AIX Marseille Université, 375p.

Sakho I., 2011. *Evolution et fonctionnement hydro-sédimentaire de la langue de Somone, Petite Côte, Sénégal*, Université de Rouen/Ucad, 253p.

Sall M., 1982. *Dynamique et morphogénèse actuelles au Sénégal Occidental*. Thèse de Doctorat d'Etat en Lettres, Université Louis PASTEUR-Strasbourg 1, Strasbourg, 604 p

Stephan P., Laforge M., 2013. *Mise au point sur l'évolution géomorphologique et le devenir des flèches de galets du Loc'h de Landévennec (Bretagne, France)*, *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, vol. 19 - n° 2 | 2013, 191-208.

Sy A. A., 2013. *Dynamique sédimentaire et risques actuels dans l'axe Saint-Louis-Gandioul, littoral Nord du Sénégal*, Thèse de Doctorat, UGB, 328 p.

M. Thior, T. Sane, O .SY, L. Descroix, B. D. Ba, B. Solly, V. Mendy., 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* March 2019 edition Vol.15, No.9, Doi:10.19044/esj.2019.v15n9p106.

Turmine V., 2000. *La dynamique littorale entre Mbour et Joal (Petite Côte, Sénégal)*. Mémoire de Maîtrise de Géographie, Université Paris 7, 249 p

Valadas B., 2011. *Géomorphologie dynamique*, Armand Colin, Paris, collection Campus, 192p.