

Dynamique accumulative de la pointe de Sankoye et apports continentaux en Casamance, Sénégal

Mamadou THIOR^{1*}, Dome TINE², Amadou Abou SY³, Boubacar SOLLY¹ et Khadim NDIR¹

¹ *Université Assane Sèck de Ziguinchor, UFR Sciences et Technologiques, Département de Géographie, Laboratoire de Géomatique et d'Environnement (LGE), BP 523, Ziguinchor, Sénégal*

² *Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Institut des Sciences de la Terre (IST), Laboratoire de Télédétection Appliquée (LTA), BP 5005 Dakar, Sénégal*

³ *Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Département de Géographie, Laboratoire, Leïdi « Dynamiques des territoires et développement » (DTD), BP 5005 Dakar, Sénégal*

(Reçu le 01 Mars 2021 ; Accepté le 27 Septembre 2021)

* Correspondance, courriel : thioryaz@yahoo.fr

Résumé

La pointe de Sankoye reçoit des sédiments à partir du continent à la suite de ruissellement et du transport des matières en suspension. Ainsi, un double processus régit sa dynamique accumulative. D'une part les sédiments transportés par les courants de la dérive engraisent la pointe, d'autre part les apports continentaux sont piégés à l'exutoire du bassin versant de Kafountine. Cette contribution a pour but d'étudier la dynamique accumulative de la pointe de Sankoye. La méthodologie utilisée repose sur le calcul des statistiques relatives à l'évolution du trait de côte de 1968 à 2017 avec le modèle Digital Shoreline Analysis System (DSAS4.3) et l'estimation de la perte en sol par l'équation RUSLE à l'échelle du bassin versant de Kafountine en 2018. Les résultats montrent que la racine et le segment médian de la flèche reculent respectivement de 2,60 m/an et 7,41 m/an, tandis que la pointe est en accrétion, soit de 9,62 m/an. De plus une perte de sol de l'ordre de 1 à 36 t/ha/an estimée à l'échelle du bassin versant de Kafountine est transportée vers l'embouchure contribuant ainsi à l'accumulation de la pointe de Sankoye.

Mots-clés : *accumulation, morphologique, pointe de Sankoye, Casamance.*

Abstract

Accumulative dynamics of the Sankoye point and continental inputs in Casamance, Senegal

Sankoye Point receives sediment from the mainland as a result of runoff and transport of suspended solids. Thus, a double process governs its accumulative dynamics. On the one hand, the sediments removed from the north are going to fatten the point, and on the other hand, the continental inputs are trapped at the outlet of the Kafountine watershed. The aim of this contribution is to study the accumulative dynamics of the Sankoye headland. The methodology used is based on the calculation of coastline evolution statistics from 1968 to 2017 with the Digital Shoreline Analysis System (DSAS4.3) model and the estimation of soil loss by the RUSLE

equation at the scale of the Kafountine watershed in 2018. The results show that the root and middle segments of the coastal spit are respectively retreating by 2.60 m/year and 7.41 m/year, while the tip is accreting by 9.62 m/year. In addition, a soil loss of about 1 to 36 t/ha/year estimated in the Kafountine catchment is transported to the mouth, thus contributing to the accumulation of the Sankoye point.

Keywords : *accumulation, morphological, Sankoye Point, Casamance.*

1. Introduction

Situé sur le littoral atlantique ouest-africain, la Casamance (littorale) 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 (estuaires à mangrove, cordons littoraux, systèmes dunaires, etc.) [1]. Ce fonctionnement se traduit par des dynamiques littorales relativement importantes permettant la mise en place des pointes sableuses comme celle de Sankoye. À l'instar des autres flèches, où la direction générale de migration tend vers le Sud, des flèches sableuses du Sénégal, comme celle de la Langue de Barbarie [2], celle de Sangomar [3] ou de Mbodienne [4, 5], la flèche de la pointe de Sankoye rattachée à l'estran sous forme de cordon sableux, subit l'influence de la dérive littorale qui entraîne un transit sédimentaire vers le Sud. La pointe affiche un allongement de son extrémité distale dans le sens du transport sédimentaire longitudinal (*longshore*) dominant, entraînant ainsi l'embouchure de Kalissaye progressivement vers le Sud. La pointe de Sankoye présente une forme particulière qui a changé au cours de ces dernières années, mais avec une forme régulièrement rattachée à l'estran. Au stade actuel de son évolution morphologique, elle a une fonction écologique servant d'aire de ponte et de repos pour de nombreuses espèces migratrices [6, 7]. La pointe est donc soumise à des phénomènes d'hydrodynamismes très puissants entre l'estuaire et l'océan entraînant une augmentation de sa taille et une modification de sa forme. De plus l'action des tempêtes marines, et des houles 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 [7 - 9]. 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 suite au transport *longshore* induit par la dérive littorale. Ainsi, en plus de la sédimentation, conformément à la dérive Nord/Sud (*longshore*), les fleuves (Kalissaye, Rivières aux huitres) jouent ici un rôle non négligeable dans l'apport sédimentaire lors des périodes de crue [1, 7, 8]. 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 méandriformes contrôlés par les facteurs topographiques, la charge sédimentaire transportée, la dimension du réseau de drainage, la stabilité des rives par la végétation, le climat et la tectonique [10, 11]. Avec un débit turbulent dans le chenal principal, les cours d'eau de la Casamance peuvent transporter une importante charge sédimentaire en direction du littoral. Ces matériaux jouent un rôle important dans la morphodynamique sédimentaire du littoral [2, 12 - 18]. Ces dynamiques, encore peu étudiées sur le littoral de la Casamance mettent au cœur des préoccupations les enjeux de la recherche en géomorphologie littorale. L'objectif de cette contribution est d'étudier l'apport des pertes en sol enregistrées par le bassin versant de Kafountine dans la dynamique accumulative de la pointe de Sankoye. L'étude est basée sur l'intégration des données dans un système d'information géographique, structurées et hiérarchisées pour quantifier les sédiments érodés et transportés vers l'embouchure de Sankoye. L'intérêt d'étudier ces unités morphologiques réside du fait qu'elles jouent un rôle important de défense naturelle dans les milieux estuariens. Étudier la pointe de Sankoye permet la fois la compréhension de la morphodynamique des embouchures de la Casamance et pourrait faciliter la gestion des chenaux de navigation.

2. Matériel et méthodes

La démarche méthodologique est basée sur la superposition d'images géospatiales multi-dates (photographie aérienne 1968, images satellitaires 1986, 2004, et 2017). Elle repose également sur une approche quantitative des apports continentaux à partir du bassin versant de Kafountine (**Figure 1**) à l'aide de l'équation universelle des pertes en sol (RUSLE) et de l'exploitation des données pluviométriques.

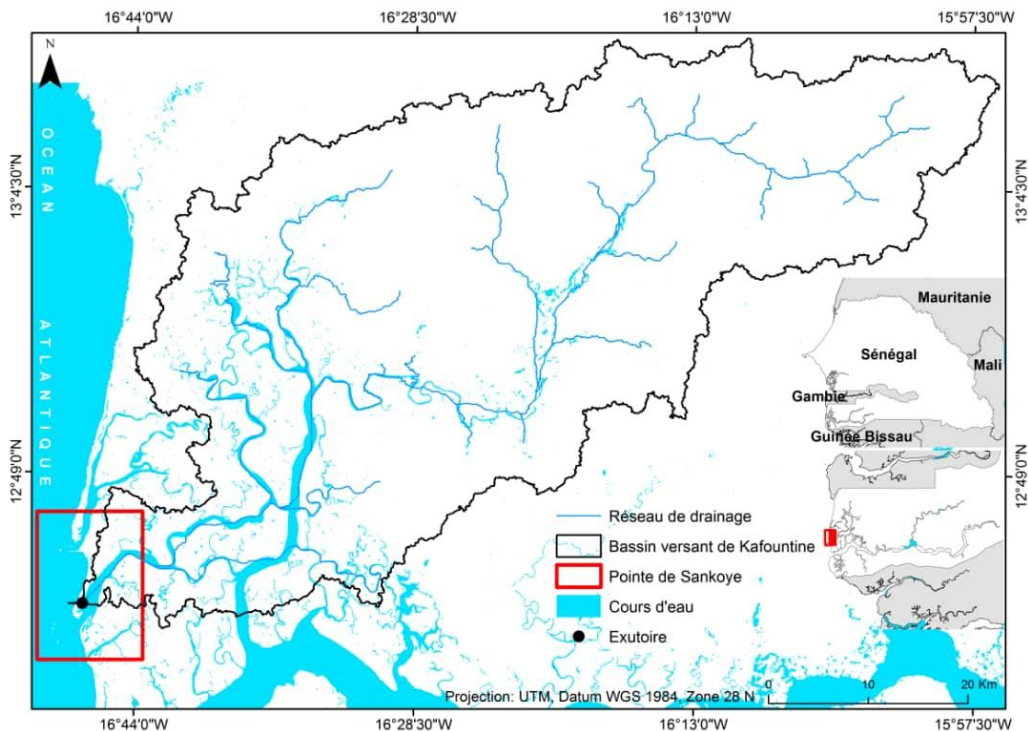


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

2-1. Données

Pour étudier l'évolution diachronique de la pointe de Sankoye, nous avons utilisé une photographie aérienne de 1968 et les images satellitaires Landsat TM de 1986, ETM+ de 2004, et OLI de 2017. Ces images ont été téléchargées gratuitement sur le site de l'USGS (<http://earthexplorer.usgs.gov/>). Les deux types d'images présentent respectivement une résolution spatiale de 1 m et 30 m ; assez suffisante pour étudier l'évolution de la ligne de rivage autour de la pointe de Sankoye. S'agissant de l'équation des pertes en sol, l'image satellitaire de 2018 a été utilisée.

2-2. Méthodes de traitement

2-2-1. Calcul des taux d'évolution du trait de côte

Les images utilisées ont été corrigées pour une meilleure superposition du résultat des différentes dates ; car, elles sont prises par des capteurs différents et à différentes dates [19 - 21]. Ainsi, le trait de côte a été numérisé au 1/1500 en suivant les lignes instantanées de rivage sur les différentes images. La version 10.5 d'ArcGIS a permis d'effectuer la numérisation. Par ailleurs, la qualité des résultats d'une analyse diachronique est intimement liée à la connaissance de la marge d'erreur [17, 20, 21]. Ainsi, l'erreur globale, appelée Erreur de Position Globale du trait de côte (Ept), est calculée en prenant la racine carrée de la somme des carrées de chaque erreur. Ainsi, l'analyse de notre résultat prend en compte l'erreur de géoréférencement

(RMS Root Mean Square Error), l'erreur liée à la variation de la marée et l'erreur liée à la digitalisation [22 - 27]. On calcule pour chaque année la valeur des trois erreurs déjà identifiées sur les images (**Équation 1**).

$$E\alpha = \frac{\sqrt{Ept1^2 + Ept2^2}}{\text{Période}(t)} \quad (1)$$

Le calcul des statistiques relatives à l'évolution du trait de côte a été effectué avec l'application Digital Analysis System (DSAS4.3).

2-2-2. Quantification à l'aide de l'équation universelle des pertes en sol (RUSLE)

L'**Équation** universelle de pertes en sol a permis d'estimer l'érosion (A) en tonnes/hectares/an. Ainsi, les facteurs d'érosivité des précipitations (R), d'érodabilité du sol (K), la longueur de la pente et le facteur de pente (LS), le facteur de gestion de la couverture (C), et le facteur de pratique de soutien (P) ont été calculés (**Équation 2**).

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad (2)$$

Le facteur (R) désigne le pouvoir de détachement des particules de sols. Le facteur d'érodabilité du sol (K) dépend de la texture du sol et traduit son aptitude à résister à l'érosion [28 - 31]. Elle est définie par trois grands facteurs de résistance du sol à l'érosion : les éléments structuraux (porosité, compacité, perméabilité, etc.), les texturaux (granulométrie, plasticité) et les éléments physico-chimiques (argilosité, richesse ionique de l'eau dans le sol) (**Équation 3**).

$$K = 2,1 \cdot 10^{-4} (M^{1,14})(12 - \alpha) + 3,25(b - 2) + 2,5(c - 3) \quad (3)$$

M étant un coefficient, α une constante de la matière organique, b le code de la perméabilité, et c le code de la structure.

Le facteur topographique (LS) est un facteur adimensionnel qui représente l'inclinaison et la longueur de pente. Le facteur LS permet d'évaluer l'influence de la pente sur la vitesse de l'érosion (**Équation 4**).

$$LS = (\text{acculation du débit} \times \text{résolution} / 22,1)^m (0,065 + 0,045s^4) \quad (4)$$

m variant en fonction de la pente, S étant l'angle de la pente.

Le facteur de protection du sol (C) est un facteur adimensionnel qui représente la couverture végétale. La présence d'un couvert végétal rend le ruissellement faible et favorise l'infiltration. Cependant, à son absence, le ruissellement devient important en causant un maximum de désagrégation mécanique et accélère l'érosion [32 - 35]. Le facteur C est estimé à travers l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) (**Équation 5**).

$$NDVI = \frac{PIR - R}{PIR + R} \quad (5)$$

Le NDVI a servi à la réalisation du facteur C avec $\alpha = 0,5$ et $\beta = 1$

Le facteur C est réalisé sur la base d'une image Landsat OLI acquise le 24 mai 2018. Des corrections radiométriques et atmosphériques ont été appliquées sur cette image respectivement pour travailler avec les vraies valeurs de réflectance et éliminer les parties sombres de l'image dues aux effets de l'atmosphère et sur lesquels dépend la détection du signal radiométrique.

$$C = \exp\left(-a \frac{NDVI}{\beta - NDVI}\right) \quad (6)$$

3. Résultats

3-1. Évolution morphologique de la flèche sableuse de la pointe de Sankoye

L'analyse des résultats cartographiques du secteur étudié entre 1968 et 2017 a permis d'observer une position très variable du trait de côte par endroits. Cependant, le bilan reste globalement positif au niveau de son segment distal correspondant à la pointe de Sankoye. Aussi, la progradation observée augmente au fur et à mesure vers le Sud. L'analyse de l'indice du *Linear Regression Rate* (LRR) montre que le nord du segment est fortement érodé, alors que le Sud est caractérisé par un dépôt de sédiment sur les pointes des flèches autour de l'embouchure de Kalissaye. Par ailleurs, si la pointe du nord de l'embouchure progresse vers le Sud, celle du Sud montre une tendance qui progresse vers le Nord-Est même si le bilan érosif en moyenne dans la partie nord est de -2,60 m/an. Au niveau de l'anse, le bilan érosif en moyenne est de 7,41 m/an, tandis qu'au Sud, on observe une accrétion moyenne de 9,62 m/an (**Figure 2**). On note globalement que le secteur étudié présente une morpho-dynamique particulière. En effet, le poulier et le musoir sont dans une tendance accumulative soit respectivement de 37,08 m/an et de 16,72 m/an pour une accumulation globale de 1361481.41 m² entre 1968 et 2017.

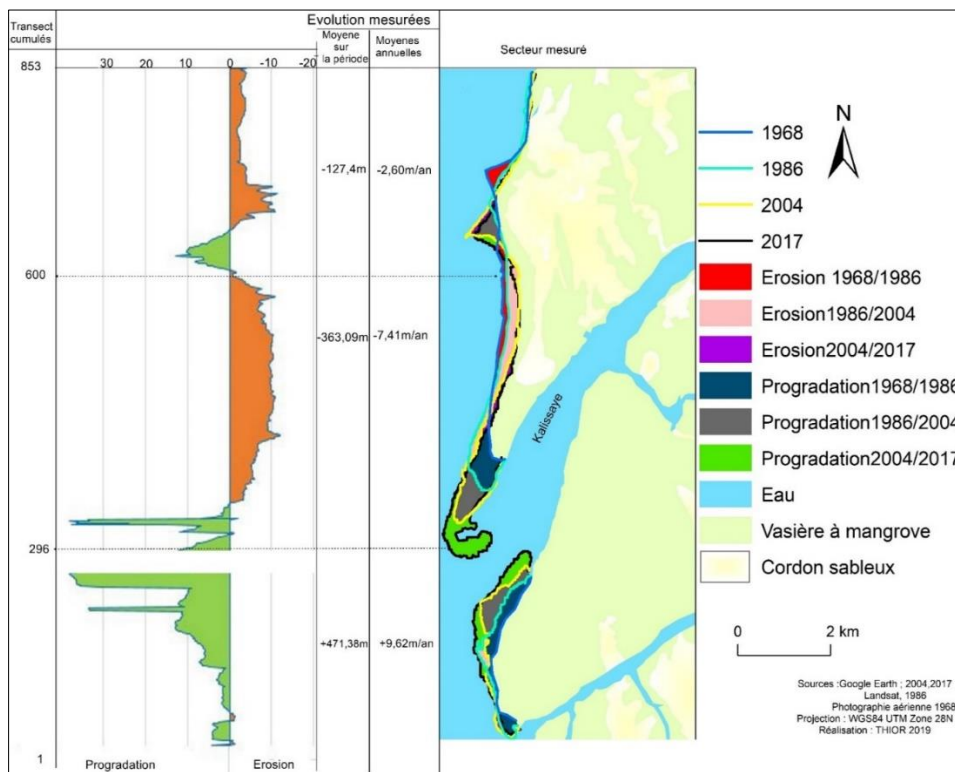


Figure 2 : Bilan de l'évolution morphologique de la pointe de la flèche Sankoye entre 1968 et 2017

Globalement, entre 1986 et 2017, l'évolution morphologique de la pointe de la flèche est régie par un processus double. Le premier est l'allongement de la pointe nord du grau vers le Sud, car étant bien approvisionné en sédiments arrachés au Nord et transportés par l'apport de la dérive Nord-Sud entraînant ainsi la migration méridionale de la pointe. Le second est une progradation du musoir vers l'intérieur de l'embouchure. Il est à la fois alimenté par les courants de la dérive et des apports continentaux. Ce processus traduit une dynamique contradictoire : la partie proximale et médiane de la pointe en érosion et la partie distale en progradation. C'est en effet dû à un courant de dérive de direction Nord-Sud qui a tendance à transporter vers le Sud les sédiments arrachés depuis le Nord. C'est le fonctionnement naturel d'une embouchure à effet de houle.

3-2. Apport de l'érosion hydrique à l'accumulation sédimentaire de la pointe de Sankoye

L'érosion hydrique dépend de plusieurs facteurs, mais en Casamance, la pluviométrie reste le plus important. Elle peut être très irrégulière d'une année à l'autre surtout dans un contexte de variabilité climatique et influe en partie sur la turbidité et le transport de sédiment du continent vers la côte.

3-2-1. Pluviométrie, Indice de turbidité et direction des flux sédimentaires dans l'estuaire de la Casamance

En Casamance, les pluies se concentrent en période estivale, période pendant laquelle le sol est presque saturé avant le mois d'août en raison des fortes quantités de précipitation (engorgement des sols), laissant la place au ruissellement et à l'érosion au niveau des berges. Globalement, la série des anomalies standardisées des précipitations à Diouloulou est irrégulière (**Figure 3**). De ce fait, on observe une première phase allant de 1951 à 1967 caractérisée des anomalies positives témoins de cumuls annuels excédentaires. En revanche, la deuxième phase qui va de 1968 à 2008 est marquée par des anomalies négatives avec des indices souvent compris entre -1 et -2. Cette phase se particularise par une succession d'années sèches et de records de déficits en Basse-Casamance. La dernière phase est caractérisée par un retour quasi normal des quantités pluviométriques excédentaires. Ainsi, l'augmentation du ruissellement, de l'érosion, et l'intensification des précipitations laissent présager une augmentation possible de la turbidité et des matières en suspension dans les cours d'eau.

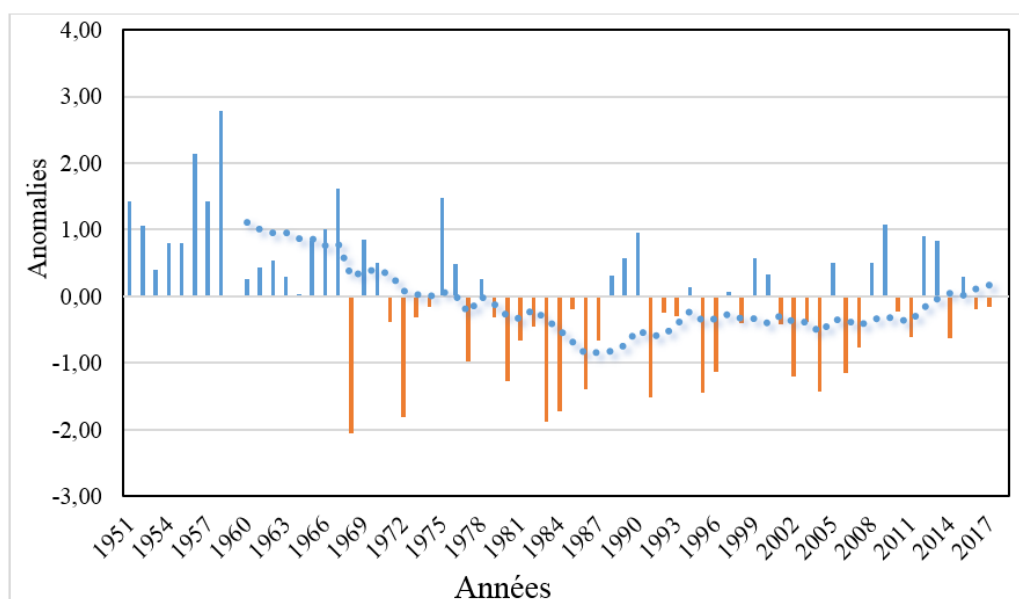


Figure 3 : Évolution temporelle des anomalies standardisées des précipitations à Dialoulou de 1951 et de 2017

3-2-2. Turbidité et la direction des flux sédimentaires

Les particules en suspension drainées par les bassins versants de Kafountine sont redirigées vers le Sud en direction l'embouchure de Kalissaye par le courant de la dérive induit par la houle du Nord-Ouest et viennent renforcer les apports sédimentaires de la pointe de Sankoye.

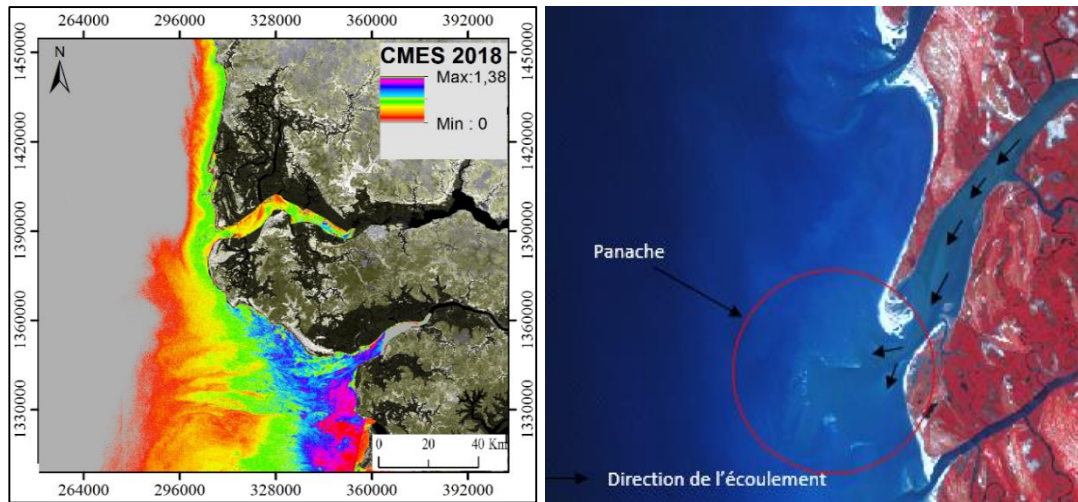


Figure 4 : *Indice qualitatif de turbidité et direction des flux sédimentaires dans l'estuaire du fleuve Casamance*

Le résultat du croisement des facteurs dans l'équation universelle des pertes en sol a été classifié en cinq (5) classes. Cela pour observer la variabilité spatiale des pertes en sols dans l'espace étudié. La quantité de sédiments perdue varie entre 1 et 48 t/ha/an avec une moyenne d'environ 9,6 t/ha/an. Les fortes pertes en sédiment sont localisées en amont du bassin versant et varient entre 6 et 27 t/ha/an (**Figure 5**). Les plus faibles pertes sont enregistrées au niveau de l'estuaire, abrité par des sols hydromorphes composés de vasières et de tannes couverts par endroit par une végétation de mangrove. L'érosion peut être nulle vu les éléments constitutifs de la partie sud du bassin. Les pertes en sol varient en fonction de la pente du bassin versant. Les plus fortes valeurs de perte en sol correspondent aux espaces à pente forte tandis que les faibles pertes notamment en milieu estuarien correspondent aux pentes très faibles et nulles. Globalement, les apports sont forts, car en termes de superficie, les pertes estimées entre 6 et 18 t/ha/an couvrent 32 % de l'étendue du bassin tandis que 6 % de la superficie totale du bassin enregistre les plus grosses pertes en sol. En somme, 87 % de la superficie du terrain perd entre 1 et 27 t/ha/an.

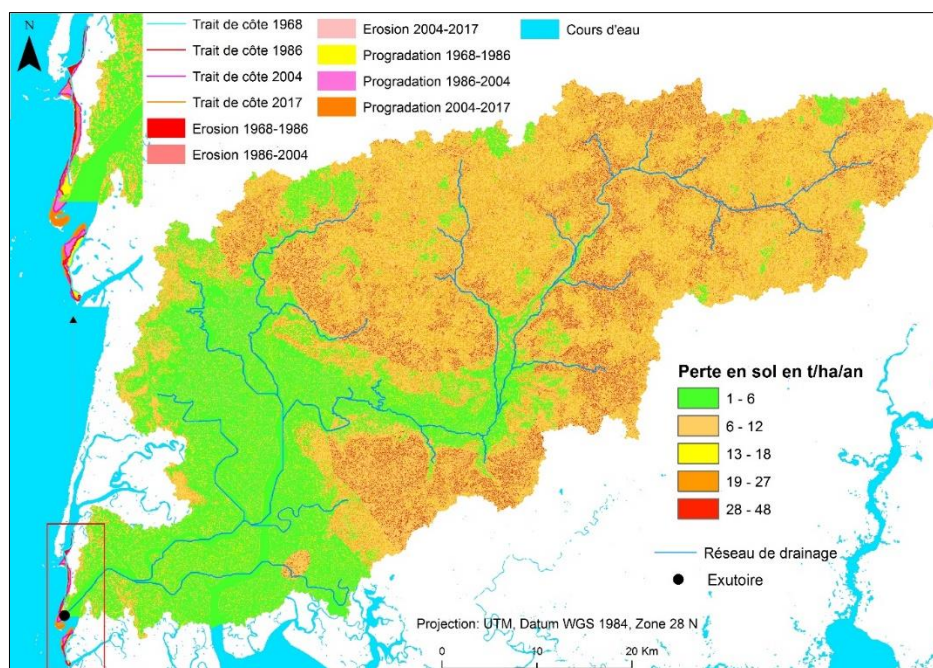


Figure 5 : *Carte des pertes en sol par tonne / hectare / an dans le bassin versant de Kafountine et évolution de la flèche de la pointe de Sankoye*

4. Discussion

4-1. Fonctionnement d'un système flèche littorale-embouchure

La diversité des démarches méthodologiques fait que plusieurs auteurs peuvent travailler sur une même thématique avec des approches différentes et arriver à des résultats similaires. Cette contribution montre la portée scientifique de la recherche sur le fonctionnement hydrodynamique des unités morphologiques du littoral de la Casamance, par une confrontation de travaux déjà réalisés. En effet, 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 [1, 2, 5, 14, 15]. Ces agents hydrodynamiques ont une incidence non négligeable sur l'évolution des plages. Ainsi, conformément aux travaux réalisés sur le littoral sénégalais, [3, 4, 7, 8, 18], les tendances accumulatives de la pointe qui se dégagent viennent attester les résultats de la présente contribution. En effet, des travaux sur les flèches littorales ont soutenu l'hypothèse selon laquelle, le recul du trait de côte en aval-dérive de ces unités morphologiques pourrait être lié à un sous-approvisionnement en sédiment résultant d'un contournement insuffisant [3, 7]. Comparé aux résultats de la présente contribution, il est également observé sur la pointe de Sankoye, qu'une partie du transport sédimentaire est effectué par la dérive littorale Nord-Ouest/Sud-Ouest. Par ailleurs, en tenant compte de quelques travaux existants, il est noté que d'une part, ces particules transportées par la dérive Nord-Ouest sont séquestrées à l'embouchure, et s'y accumulent, d'autre part ces accumulations se réalisent par contre-dérive locale qui s'exerce généralement lors du passage de la houle Sud-Ouest [2, 3, 7, 18]. Sur la pointe de Sankoye l'accrétion est le résultat de ce système de doublure. Par ailleurs, les apports continentaux sont non négligeables dans la contribution à l'accrétion des plages [16, 17, 21]. Les résultats obtenus montrent que les bassins versants constituent de véritables convoyeurs de sédiments vers le littoral. Les analyses spatiales sédimentologiques témoignent de la nature des sédiments emportés par les eaux pluviales et fluviales. Ils sont caractérisés en général par du sable facilement mobilisable par les eaux de ruissellement.

4-2. Limites des modèles utilisés

Quelle que soit l'approche par analyse spatiale utilisée, les résultats de mesure de taux d'évolution du trait de côte et de quantification des pertes en sol souffrent de plusieurs sources d'erreurs. Comme dans la plupart des travaux menés à partir des outils d'analyse spatiale en Casamance [13, 15, 16, 21], l'estimation de ces risques a conduit à l'élaboration d'une marge d'erreur prise en compte dans l'interprétation des résultats. Ainsi, aussi bien pour le modèle RUSLE que pour DSAS, les limites sont marquées par les marges d'erreurs qu'ils présentent. Pour le premier, une mise à jour des données sur la granulométrie en fonction des différents types d'occupation du sol donnerait de meilleurs résultats, tandis que pour le second, les marges seraient moins grossières si les images étaient de meilleures résolutions.

5. Conclusion

L'équation universelle des pertes en sol (RUSLE) a permis de quantifier les apports continentaux dans les processus d'engraissement et le modèle DSAS a calculé les taux de variation du trait de côte de la pointe de Sankoye. La combinaison de ces deux modèles a montré que l'évolution de la pointe est contrôlée d'une part les apports continentaux et d'autre part par les courants littoraux. Globalement, on observe un fort apport continental pouvant atteindre les 48 t/ha/an à l'exutoire du bassin versant de Kafountine et une accumulation de 27785,33 m²/an de 1968 à 2017. Ceci est témoin d'un bilan sédimentaire de la pointe globalement accumulative. Ainsi, malgré l'érosion, les taux d'accumulation (9,62 m/an) et les apports continentaux arrivent à combler le déficit sédimentaire autour de l'embouchure qui porte la pointe de la flèche de Sankoye. Ainsi, cet article apporte une contribution à la compréhension du fonctionnement de la pointe et permet de connaître les types de dynamiques en cours de ces unités morphologiques encore peu étudiées en Casamance.

Références

- [1] - 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* [En ligne], 131 | 2021, mis en ligne le 08 juillet 2021, consulté le 12 juillet 2021. URL : <http://journals.openedition.org/mappemonde/5939>
- [2] - A. A. SY, "Dynamique sédimentaire et risques actuels dans l'axe Saint-Louis-Gandioul, littoral Nord du Sénégal, littoral Nord du Sénégal", Thèse de Doctorat, UGB, (2013) 328 p.
- [3] - M. SADIO, "Morphodynamique et aménagement des flèches littorales de la côte du Sénégal", Thèse de doctorat, UCAD ; AIX Marseille Université, (2017) 375 p.
- [4] - I. SAKHO, "Évolution et fonctionnement hydro-sédimentaire de la langue de Somone, Petite Côte, Sénégal", Université de Rouen ; UCAD, (2011) 253 p.
- [5] - A. T. DIAW, "Évolution des milieux littoraux du Sénégal. Géomorphologie et télédétection" Thèse de doctorat d'Etat, Université de Paris I : Panthéon - Sorbonne, (1997) 270 p.
- [6] - M. THIOR, T. SANE, C. T. WADE, O. SY, L. DESCROIX, "L'aménagement du littoral de la Casamance : quels enjeux au regard de sa dynamique actuelle ?" *Études caribéennes* [En ligne], 48 | Avril, mis en ligne le 30 avril 2021, consulté le 13 septembre 2021. URL : <http://journals.openedition.org/etudescaribeennes/20839>
- [7] - 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 (2020) 11 - 23 p.
- [8] - M. BARRY, E. B. DIEYE, O. SY, B. SOLLY, "Dynamique du trait de côte de la commune de Kafountine (basse Casamance, Sénégal)" in "*Vulnérabilité des sociétés et des milieux cotiers et estuariennes de l'Afrique de l'Ouest*" UASZ, Ziginchor, Sénégal, d19 au 22 décembre 2019. *Harmattan*, ISBN : 978-2-343-22490-9, (2021) 293 - 402 p.
- [9] - T. SANE, E. B. DIEYE, B. SOLLY, B. D. BA, M. THIOR, L. DESCROIX, M. C. CORMIER-SALEM, M. M. DIAKHATE, "Vulnérabilité et résilience des socio-écosystèmes littoraux d'Afrique de l'Ouest : état des connaissances actuelles et interrogation sur le devenir du littoral sénégal-bissau-guinéen", *Belgeo* [En ligne], 1 | 2021, mis en ligne le 09 septembre 2021, consulté le 09 septembre 2021. URL : <http://journals.openedition.org/belgeo/50403>
- [10] - P. NGAMI, "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, (2007) 209 p.
- [11] - Y. BALOUIN, "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*, (2012) 11 p.
- [12] - 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, (2008) 39 p.
- [13] - 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*, (2019) 106 - 130 p.
- [14] - 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*, (2020) 31 - 42 p.
- [15] - 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*, (2018) 92 - 106 p.

- [16] - 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 (2020) ISSN: 2456 - 8643
- [17] - M. THIOR, T. SANÉ, O. SY, L. DESCROIX, L. G. NDIAYE, B. SOLLY, D. CISSOKHO, A. K. SAMBOU, "Caractéristiques granulométriques et dynamique sédimentaire entre les différentes unités géomorphologiques du littoral de la Casamance (Sénégal) ", *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie*, (2019) 22 p.
- [18] - T. REY et C. FANGET, "L'inadéquation entre les temporalités côtières et le temps des décisions et l'exemple de la brèche de Barbarie", *Territoire d'Afriques*, N°10 (2017) 15 p.
- [19] - M. A. COYNE, C. H. FLETCHER, B. M. RICHMOND, "Mapping coastal erosion hazard areas in Hawaii : Observations and errors". *Journal of Coastal Research, Special, Issue 28* (1999) 171 - 184 p.
- [20] - C. H. FLETCHER, J. J. ROONEY, M. BARBEE, S. C. LIM, B. RICHMOND, "Mapping shoreline change using digital orthophotogrammetry on Maui, Hawaii", *Journal of Coastal, Research, Special Issue*, N°38 (2003) 106 - 124 p.
- [21] - I. FAYE, "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, (2010) 321 p
- [22] - L. J. MOORE, G. B. GRIGGS, "Long-term cliff retreat and erosion hotspots along the Central shores of the Monterey Bay National Marine Sanctuary". *Marine Geology*, Vol. 181, N°1-3 (2002) 265 - 283 p.
- [23] - M. ROBIN and F. GOURMELON, "La télédétection et les SIG dans les espaces côtiers. Eléments de synthèse à travers le parcours de François Cuq, *Norois* [En ligne], 196 2005/3, mis en ligne le 15 décembre 2008, consulté le 12 août 2016. URL : <http://norois.revues.org/368> ; DOI : 10.4000/norois.368
- [24] - M. JUIGNER, "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, (2012), <https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1432295>
- [25] - L. MATHIEU, "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, (202) 109 p.
- [26] - R. A. MORTON, T. L. MILLER, L. J. MOORE, "National assessment of shoreline change: Part 1: Historical shoreline changes and associated coastal land loss along the U.S. Gulf of Mexico", *U.S. Geological Survey Open-file Report*, (2004) 45 p.
- [27] - E. R. THIELER, E. A. HIMMELSTOSS, J. L. ZICHICHI, A. ERGUL, "The Digital, Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0 An ArcGIS extension for calculating shoreline change," *U.S. Geological Survey Open-File Report*, (2009), accessed June 2012, at <https://pubs.er.usgs.gov/publication/ofr20081278/>
- [28] - E. ROOSE, "Évolution historique de lutte antiérosive. Vers la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols : (GCES) ", *Bulletin Réseau Erosion*, 19 (1999) 11 - 25 p.
- [29] - W. H. WISCHMEIER and D. D. SMITH, "Predicting Rainfall Erosion Losses - A Guide to Conservation Planning», *USDA handbook*. U.S. Department of Agriculture in cooperation with Purdue Agricultural Experiment Station, N° 537 (1978) 42 p.
- [30] - C. PAUL-HUS, "Méthodes d'étude de l'érosion et gestion des sites dégradés en Nouvelle-Calédonie" centre universitaire de formation en environnement université de Sherbrooke, (2011) 127 p.

- [31] - A. SADIKI, S. BOUHLASSA, J. AUAJJAR, A. FALEH, A. J. J. MACAIRE, "Utilisation d'un SIG pour l'évaluation et la cartographie des risques d'érosion par l'Équation universelle des pertes en sol dans le Rif oriental (Maroc) : cas du bassin versant de l'oued Boussouab", *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Terre*, N°26 (2004) 69-79 p.
- [32] - H. S. THE, L. M. SIDEK, P. Y. JULIEN, " Soil erosion modeling using RUSLE and GIS on Cameron highlands, Malaysia for hydropower development ", *The School for Renewable energy science, IS600 Akureyri, Iceland*, (2011) 76 p.
- [33] - I. Z. GITAS, K. DOUROSMINAKOU, C. SILLEOS, C. G. KARYDAS, " Multi-temporal soil erosion risk assesment, Usle raster model" in N. *Chalkidiki using a modified*, (2009) 14 p.
- [34] - A. RAÏSSOUNI, "Modélisation et cartographie de la sensibilité et de l'aléa d'érosion des sols à l'échelle régionale par USLE et SIG (Rif nord-occidental, Maroc". Thèse de Doctorat Es-Sciences, Fac. Sci. Tech. Tanger, Maroc, (2012) 208 p.
- [35] - S. E. B. BOUIADJRA, W. E. ZEREY, K. BENABDELI, "Etude diachronique des changements du couvert végétal dans un écosystème montagneux par télédétection spatiale : cas des monts du Tessala (Algérie occidentale)", (2011) 211 - 225 p.