

Les estrans sableux des Rivières du Sud de la Basse Casamance (Sénégal) au Rio Gêba (Guinée Bissau) : Dynamique sédimentaire et caractérisation granulométrique

Dome TINE^{1*}, Mamadou THIOR², Mbagnick FAYE³ et Guilgane FAYE²

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

² *Université Cheikh Anta DIOP de Dakar, Département de Géographie, Laboratoire de Géographie Physique, BP 5005 Dakar, Sénégal*

³ *Université Cheikh Anta DIOP de Dakar, Département de Géographie, Laboratoire de Climatologie et d'Etudes Environnementales (LCE), BP 5005 Dakar, Sénégal*

(Reçu le 16 Mars 2023 ; Accepté le 18 Mai 2023)

* Correspondance, courriel : dometine85@gmail.com

Résumé

Cette contribution a pour objectif d'analyser la dynamique sédimentaire, du trait de côte et les caractéristiques sédimentologiques des estrans sableux de la basse Casamance au Rio Gêba. La méthodologie adoptée repose sur des analyses granulométriques dont le prélèvement des échantillons a été effectué suivant quatre radiales localisées à Kafountine, Diembéring, Cabrousse et Varela. Au total, 28 échantillons ont été prélevés. Les analyses granulométriques sont effectuées par un granulomètre Laser de type Mastersizer 3000. L'établissement des courbes cumulatives, ainsi que le calcul des différents indices granulométriques ont été réalisés à l'aide d'un programme sous Excel (GRADISTAT) tandis que le mode de transport des sables a été déterminé à l'aide du diagramme de Visher. Les résultats montrent que les courbes cumulatives des différentes radiales sont toutes sigmoïdales, ce qui signifie que le dépôt des sables est causé par une variation banale et modérée dans la compétence du courant de transport. L'indice d'asymétrie (Sk_i) et le coefficient d'acuité (K_c) montrent que les courbes sont presque asymétriques et mesokurtiques tandis que la moyenne Mz indique des sables moyens et fins. Le diagramme de Visher montre que les sédiments des estrans sont transportés essentiellement par saltation.

Mots-clés : *Estran sableux, dynamique sédimentaire, granulométrie, Rivières du Sud, Basse Casamance, Rio Gêba.*

Abstract

Sediment dynamics, coastline evolution and granulometric characterisation of the sandy foreshores of the Southern Rivers from Low Casamance (Senegal) to Rio Gêba (Guinea-Bissau)

The aim of this contribution is to analyse the sediment dynamics, coastline and sedimentological characteristics of the sandy foreshores of the Low Casamance to Rio Gêba. The methodology adopted is based on granulometric analyses, with samples taken along four radial lines located at Kafountine, Diembéring,

Cabrousse and Varela. A total of 28 samples were taken. Granulometric analyses were carried out using a Mastersizer 3000 laser granulometer. The cumulative curves and the various particle size index were calculated using an Excel program (GRADISTAT), while the mode of sand transport was determined using the Visher diagram. The results show that the cumulative curves for the various radials are all sigmoidal, which means that sand deposition is caused by a trivial and moderate variation in the skill of the transport current. The asymmetry index (Ski) and the acuity coefficient (KG) show that the curves are almost asymmetrical and mesokurtic, while the mean Mz indicates medium and fine sands. The Visher diagram shows that foreshore sediments are transported mainly by saltation.

Keywords : *Sandy foreshore, sediment dynamics, granulometry, Southern rivers, Low Casamance, Gêba river.*

1. Introduction

Les plages sableuses des Rivières du Sud se sont formées sous l'action des vagues et des vents avec un forçage dynamique fluviaux-sédimentaire. La morphologie des côtes sableuses de l'espace étudié est caractérisée par un vaste estran bordé de cordon dunaire et de petits fonds [1]. Cette frange littorale est façonnée en grande partie par les courants de dérive littorale responsables du transit sédimentaire sur la côte [2]. Ces courants sont toujours présents et en intensité variable et façonnent cordons et terrasses sableuses. Ils sont induits par la dérive littorale Nord-Sud qui est parallèle au rivage [3]. La zone de l'estran constitue une unité importante pour apprécier la stabilité et l'évolution de la zone côtière [4]. Le système hydrodynamique façonne la morphologie des plages à des échelles de temps et d'espace variées par un perpétuel mouvement des sédiments sous l'action des vagues et des courants. L'estran est donc marqué par une forte activité hydrodynamique qui conduit souvent à un changement régulier de morphologie et de texture [4]. L'érosion côtière affecte la plupart des côtes sableuses du monde. Ce phénomène pourrait être aggravé par le changement climatique d'ici la fin du siècle selon le Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat [5]. Compte tenu de ces risques, il est important d'analyser la dynamique sédimentaire et l'évolution du trait de côte pour une meilleure prise de décision dans lutte contre l'érosion côtière [6]. L'évolution du littoral est régie par la dynamique sédimentaire le long du rivage. Les apports externes en sédiments jouent un rôle capital dans les processus d'érosion et d'engraissement des côtes. Les Rivières du Sud étant composées d'estuaires et de deltas, les apports sédimentaires fluviaux participent à l'équilibre du littoral [2]. Les côtes des Rivières du Sud sont façonnées continuellement par la houle du nord responsable en partie du transport sédimentaire longshore. Ce transit sédimentaire dépend de la granulométrie des particules et de la vitesse du courant de transport [7]. Un tri granulométrique peut s'effectuer en fonction de la taille des particules et la vitesse du courant, entraînant un dépôt de sédiments sur le fond. L'action des écoulements lors des processus d'érosion modifie la distribution du sédiment initial en enlevant une partie des grains qui le constituent. Les conditions du transport engendrent un spectre granulométrique du matériel déplacé et déterminent la distribution du flux des particules qui se déposent. Ils modifient par conséquent la texture du sédiment dans lequel ces apports se mélangent [8].

2. Matériel et méthodes

2-1. Zone d'étude

La zone d'étude (*Figure 1*) s'étend de la basse Casamance (Sénégal) au Rio Gêba (Guinée-Bissau). Elle est caractérisée par des côtes sableuses, bordées par endroits, de cordons dunaires et des peuplements de mangrove. C'est une zone de transition entre le domaine maritime et le domaine continental, marquée par

une topographie relativement basse [2]. La zone d'étude est constituée de deux grands ensembles géologiques dont le bassin sédimentaire sénégal-mauritanien d'âge méso-cénozoïque qui s'étend du Cap Blanc en Mauritanie au Cap Roxo en Guinée Bissau et le bassin de Bowé qui occupe le sud et sud-est du Rio Gêba. Le relief est dominé par une plaine littorale entaillée par des cours d'eau et des chenaux d'eau salée le long desquels se forment des vasières, des tannes et de la mangrove [1]. Cette partie sud-ouest du bassin sénégal-mauritanien est occupée par toute une série de plaines côtières, entaillée par de longues vallées inondables, façonnée lors des différentes phases de transgression marine [9]. Les formations géomorphologiques peuvent être expliquées par une série de régressions et de transgressions marines. Les formations superficielles sont composées de plusieurs ensembles entre autres, les terrasses sableuses et les cordons littoraux qui bordent le littoral de la Casamance du Nord au Sud, parfois modelés en dunes vives. Au Rio Cacheu, ces formations sableuses sont remplacées par des séries argileuses, carbonatées et gréseuses [1].



Figure 1 : Situation géographique de la zone d'étude et les sites de prélèvement de sédiments

2-2. Méthode

Les sables étudiés sont des sédiments prélevés en surface des plages à Kafountine, Diembéring, Cabrousse et Varela (**Figure 1**). Ces sédiments ont fait l'objet d'analyses granulométriques pour déterminer les différentes classes granulométriques. Le prélèvement des échantillons est effectué en surface de l'estran et les stations ont été référencées par un GPS de type Garmin 73. Les analyses granulométriques des échantillons prélevés sont effectuées par un granulomètre Laser de type Mastersizer 3000. Il utilise la technique de la diffraction laser pour mesurer les distributions granulométriques de 10 μm à 3,5 mm. La norme de référence en analyse granulométrique est la norme ISO 13320-1 qui traite des principes généraux de l'analyse granulométrique par diffraction laser. L'établissement des courbes cumulatives, ainsi que le calcul des différents paramètres granulométriques ont été réalisés à l'aide d'un programme sous Excel

(GRADISTAT). Les indices granulométriques sont calculés selon la méthode de Folk & Ward [10] et sont exprimés en Phi (Φ). Pour les deux radiales étudiées, les courbes cumulatives ont été établies à partir desquelles nous avons extrait les déférents centiles mis en jeu pour le calcul des indices granulométriques (**Tableau 1**). A noter que la taille moyenne des grains, son classement et son asymétrie sont des éléments indicateurs du comportement du sédiment et des processus d'échanges via les agents de transport [11].

2-3. Description des indices granulométriques calculés

La description des indices granulométriques est extraite des travaux de [2]. La moyenne granulométrique (M_z) représente la distribution granulométrique moyenne des sédiments et renseigne sur l'énergie cinétique moyenne lors du dépôt des sédiments. L'indice d'asymétrie ou Skewness ou (SK_I) permet de déterminer la déviation de la courbe granulométrique par rapport à la courbe de Gauss. Si le Coefficient de dissymétrie est égal à zéro, la courbe est symétrique et par conséquent la quantité de particules fines est égale à celle des grossières. Cependant, un coefficient de dissymétrie positif montre une prédominance des particules fines, tandis qu'une dissymétrie négative désigne une prédominance des particules grossières. L'indice de classement ou Sorting index (σ_I) constitue la meilleure représentation du classement granulométrique. Plus l'écart-type est faible plus les sédiments sont bien classés et plus qu'il fort plus les sédiments sont mal classés. Il renseigne sur les conditions de dépôt des sédiments. Plus le milieu est agité plus les sédiments sont mal classés. Le coefficient d'acuité ou Kurtosis (K_G) mesure l'angulosité de la courbe des fréquences. Si le mode est concentré dans des classes granulométriques restreintes, on a une distribution leptokurtique, s'il est dispersé on a une distribution platykurtique. Ces indices granulométriques (**Tableau 1**) ont permis de déterminer le mode de transport des sédiments à l'aide des diagrammes de [12].

Tableau 1 : Les indices granulométriques

Indices granulométriques	Interprétation
<p>La moyenne granulométrique (M_z)</p> $M_z = \frac{\varphi_{16} + \varphi_{50} + \varphi_{84}}{3} \quad (1)$	<p>$M_z < 1 \varphi$: Sables grossiers et graviers. $1 \varphi < M_z < 2 \varphi$: Sables moyens. $2 \varphi < M_z < 3 \varphi$: Sables fins. $3 \varphi < M_z < 4 \varphi$: Sables très fins. $M_z > 4 \varphi$: silts et argiles.</p>
<p>L'indice d'asymétrie ou Skewness (SK_I)</p> $SK_I = \frac{\varphi_{16} + \varphi_{84} - 2\varphi_{50}}{2 * (\varphi_{84} - \varphi_{16})} + \frac{\varphi_{95} + \varphi_5 - 2\varphi_{50}}{2 * (\varphi_{95} - \varphi_5)} \quad (2)$	<p>$-1 < SK_I < -0.3$: courbe très asymétrique vers les grossiers. $-0.3 < SK_I < -0.1$: courbe asymétrique vers les grossiers. $-0.1 < SK_I < +0.1$: courbe presque symétrique. $+0.1 < SK_I < +0.3$: courbe asymétrique vers les fins. $+0.3 < SK_I < +1.0$: courbe très asymétrique vers les fins.</p>
<p>L'indice de classement ou Sorting index (σ)</p> $\sigma = \frac{\varphi_{84} - \varphi_{16}}{4} + \frac{\varphi_{95} - \varphi_5}{6.6} \quad (3)$	<p>$\sigma < 0.35 \varphi$: sable très bien classé. $0.35 \varphi < \sigma < 0.5 \varphi$: sable bien classé. $0.5 \varphi < \sigma < 0.7 \varphi$: sable assez bien classé. $0.7 \varphi < \sigma < 1 \varphi$: sable moyennement classé. $1 \varphi < \sigma < 2 \varphi$: Sable médiocrement classé. $2 \varphi < \sigma < 4 \varphi$: sable très mal classé. $\sigma < 4 \varphi$: sable extrêmement mal classé.</p>
<p>Le coefficient d'acuité ou Kurtosis (K_G)</p> $K_G = \frac{\varphi_{95} - \varphi_5}{2.44 * (\varphi_{75} - \varphi_{25})} \quad (4)$	<p>$K_G < 0.67$: courbe très platykurtique. $0.67 < K_G < 0.90$: courbe platykurtique. $0.90 < K_G < 1.11$: courbe mesokurtique. $1.11 < K_G < 1.50$: courbe leptokurtique. $1.50 < K_G < 3$: courbe très leptokurtique. $K_G > 3$: courbe extrêmement leptokurtique.</p>

2-4. Mode de transport des sédiments

Le mode de transport des sédiments a été déterminé par le diagramme de Visher. Les courbes granulométriques étant reliées au mode de transport des sédiments, le diagramme de Visher met en relation la granulométrie des sédiments et leur mode de transport. Il distingue trois modes de transport :

- La suspension B (90 à 100 %) : la charge sédimentaire se déplace sans contact avec le fond ;
- La saltation A et A' (10 à 90 %) : les particules se déplacent par sauts et retombent successivement ;
- Le charriage ou roulement C (0 à 10 %) : c'est la portion des sédiments transportés en contact continu avec le fond.

3. Résultats

3-1. Transit sédimentaire

Les courants de dérive littorale sont en grande partie responsables du transit sédimentaire sur les côtes ouest africaines. Ces courants de dérive littorale sont toujours présents et en intensité variable façonnant cordons et terrasses sableuses. Ils sont induits par les vagues qui arrivent obliquement au rivage. Sa vitesse varie entre 60 et 80 cm/s alors qu'une vitesse de 20 cm/s est nécessaire pour déterminer un transit sédimentaire [13]. La zone d'étude se trouve sous l'influence prédominante de la houle de nord qui entraîne des courants de dérive littorale vers le Sud. Ces courants de dérive changent légèrement de direction et de vitesse (*Tableau 2*) en fonction de la circulation des vents en surface et est responsable du transport sédimentaire longshore.

Tableau 2 : Directions et vitesse (en cm/s) de la dérive littorale le long du littoral de l'espace étudié. Données acquises du 03/05/2021 au 10/05/2021

Date de mesure	Variables	Sites					
		Kafountine	Diembéring	Diogué	Cabrousse	Varela	Bissau
03/05/2021	Direction	Sud	SE	S	SE	SSE	SSE
	Vitesse (cm/s)	34	35	30	41	47	20
04/05/2021	Direction	SW	SE	S	SSE	SSE	SE
	Vitesse (cm/s)	32	31	26	38	44	18
05/05/2021	Direction	S	S	S	SSE	SSE	SE
	Vitesse (cm/s)	20	28	26	36	43	22
06/05/2021	Direction	S	SSE	S	SSE	SSE	SE
	Vitesse (cm/s)	25	28	23	32	38	21
07/05/2021	Direction	SW	SSE	SW	SE	SSE	SE
	Vitesse (cm/s)	15	21	29	29	33	15
08/05/2021	Direction	S	SSE	S	SE	SSE	SE
	Vitesse (cm/s)	19	26	20	23	32	14
09/05/2021	Direction	S	SSE	S	SSE	SSE	SE
	Vitesse (cm/s)	16	25	21	29	33	16
10/05/2021	Direction	S	S	S	SSE	SSE	SE
	Vitesse (cm/s)	24	26	24	33	38	20

Ce processus joue un rôle fondamental dans la morphologie des flèches sableuses de Sankoye, des presqu'îles aux oiseaux, de Varela et des bordures des îles de l'archipel des Bijagós. La présence de tels courants, dirigés globalement du Nord vers le Sud, est attestée par les différentes flèches littorales allongées vers le Sud [14]. La dérive littorale est faible le long des côtes de Kafountine avec une vitesse moyenne de 26 cm/s durant la période d'observation. Cela peut expliquer les accumulations sédimentaires qui y sont observées. Cet état de

fait, peut être également observé au niveau des côtes de Cabrousse mais avec une vitesse moyenne de 33 cm/s et orienté Sud-est. L'étendue du cordon dunaire qui constitue par ailleurs une énorme réserve sédimentaire et la position avancée de Cap Skiring qui piège le transport sédimentaire longshore vers le large justifie la faible action des vagues sur ces côtes. Au niveau du littoral de Varela, l'érosion littorale est à l'origine de la formation de microfalaises pouvant atteindre 2,5 m de hauteur (**Figure 2**). À Diembéring où l'érosion est très marquée, la vitesse de la dérive littorale est de 31 cm/s. La période d'observation de la direction et de la vitesse des courants de dérive correspond aux périodes calmes où les dépôts s'effectuent sous l'action de la houle et des marées. Ce qui signifie que la dérive littorale est plus agressive pendant l'hiver (période marquée par une forte activité érosive) que pendant l'été. Cependant, elle est faible à Bissau du fait de la rencontre des eaux marines et continentales dans le canal de Gêba.



Figure 2 : État des estrans étudiés au moment de la campagne de prélèvement des échantillons de sédiments

3-2. Mode de transport des sédiments

L'analyse du diagramme de Visher révèle que le mode de transport des sédiments des plages est globalement dominé par le transport par saltation. Les classes granulométriques représentées par la **Figure 3** montrent la relation entre la granulométrie des sédiments et le mode de transport dominant (**Tableau 3**). À la plage de Varela où le sable moyen et le sable fin dominent dans tous les échantillons, le mode de transport s'effectue par saltation à hauteur de 84 % sur le cordon littoral et 74% sur l'estran. Cependant, une partie de cette fraction moyenne (11 % sur le cordon littoral) est transportée par suspension. En moyenne, 6,5 % des sédiments sont transportés par roulement. Ces derniers sont composés de sables grossiers et représentent une infime partie des échantillons (7 % en moyenne). À Cabrousse, la fraction fine constitue le faciès dominant. Les sédiments sont également transportés par saltation (77 %) notamment sur l'estran et le Cordon littoral tandis qu'une bonne partie des sédiments est transportée par suspension (15 %). Les sédiments transportés par charriage représentent 8 % des échantillons. La plage de Cabrousse a presque la

même teneur en fraction fine que celle de Diembéring où l'essentiel des sables fins est transporté par saltation au niveau de l'estran. Sur le cordon, 86 % des sédiments se déplacent par saltation contre 13 % par suspension. Les sédiments transportés par roulement représentent 1 % des échantillons sur le cordon et 7 % sur l'estran. À Kafountine, les sables grossiers représentent 11 % des échantillons sur le cordon et sont transportés par charriage. Les sédiments moyens et fins sont déplacés par saltation dont 14 % des échantillons par suspension. Toutes les courbes cumulatives ont une allure sigmoïdale (**Figure 3**), ce qui indique que le dépôt des sédiments est causé par une variation banale et modérée dans la compétence du courant de transport.

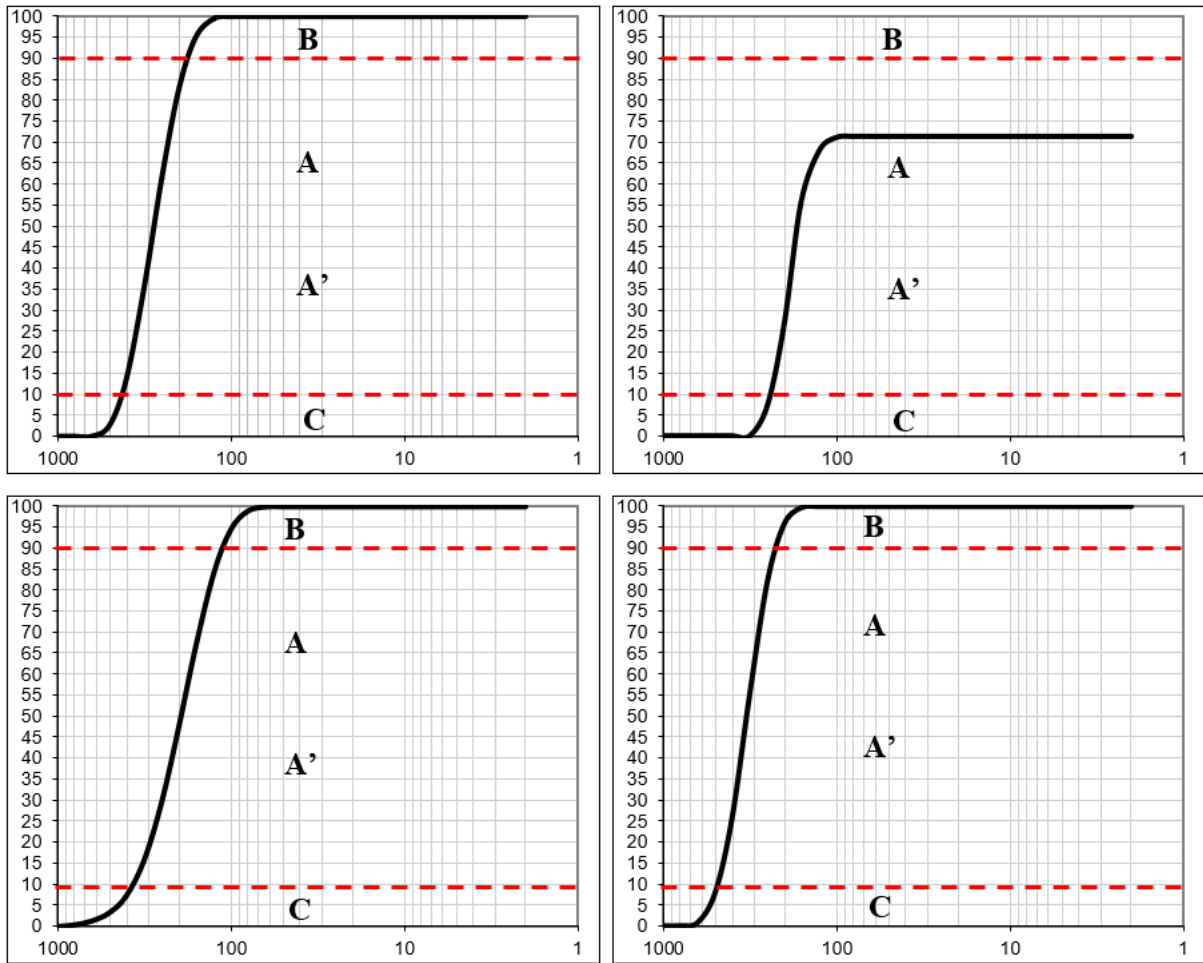


Figure 3 : Diagramme de Visher appliqué sur les différents estrans

Tableau 3 : Proportion des sédiments selon le type de transport

Plages	Unité morphologique	Population B	Population A-A'	Population C
		% Suspension	% Saltation	% Roulement
Varela	Estran	18	74	8
Cabrousse	Estran	16	77	7
Diembéring	Estran	0	93	7
Kafountine	Estran	18	79	3

3-3. Caractérisation granulométrique des plages

3-3-1. Analyse des indices granulométriques

Le site de Kafountine est caractérisé, en surface, par des sables dont la moyenne granulométrique est de $1,8 \phi$. L'indice de classement (σ_i) est de $0,45 \phi$ ce qui indique que les sables sont bien classés. Le Skewness montre que la courbe est presque symétrique tandis que le coefficient d'acuité donne une valeur de $0,96 \phi$, ce qui indique que la courbe est mesokurtique et que les sédiments suivent une distribution normale. La plage de Diembéring est la plus agitée dans la région du fait de l'alternance immédiate des deux types de houles [2]. Les impacts de l'érosion côtière y sont observables avec la destruction de la végétation littorale (**Figure 4**). La moyenne granulométrique ($2,33 \phi$) montre qu'il s'agit de sables fins, ce qui indique une absence de tri par les agents de transport. L'indice de classement montre qu'il s'agit des sables bien classés. L'indice d'asymétrie est de $0,03 \phi$, ce qui indique une courbe presque symétrique tandis que le coefficient d'acuité ($0,94 \phi$) montre que la courbe est mesokurtique et les sédiments suivent une distribution normale.

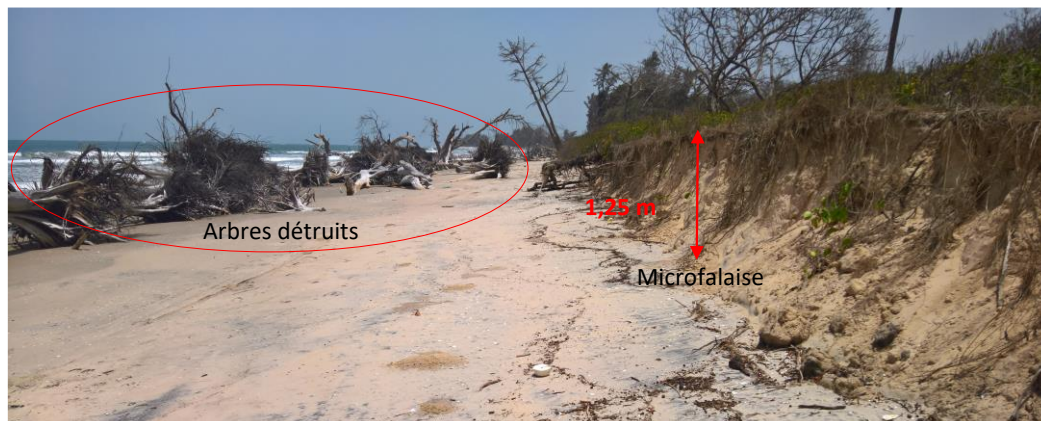


Figure 4 : Destruction de la végétation côtière et formation de microfalaïse le long du littoral à Diembéring

Au niveau de l'estran de Varela, l'ampleur de l'érosion est observable à travers la formation de microfalaïses de 2,5 m de hauteur (**Figure 5**) et la destruction des aménagements côtiers. Elle est caractérisée par un faciès essentiellement sableux très vulnérable à l'action des houles. La granulométrie est uniforme et peut être liée à la nature homogène de la source sédimentaire. La moyenne granulométrique est de $1,78 \phi$, ce qui indique des sables moyens. Le Sorting index (σ_i) indique des sables bien classés ($0,48 \phi$). L'indice d'asymétrie et d'acuité montrent respectivement que la courbe est presque asymétrique et mesokurtique.



Figure 5 : État du littoral de Varela au mois mai 2021 (formation de microfalaïse due à l'action des houles)

La plage de Cabrousse présente une homogénéité des sables avec une absence de tri granulométrique par les agents de transport et de dépôt notamment les courants de retour [2]. L'analyse des indices granulométriques montre (*Tableau 4*) qu'il s'agit de sables fins ($M_z = 2,4 \phi$), bien classés ($\sigma_i = 0,44 \phi$), une asymétrie presque symétrique ($S_{ki} = 0,03 \phi$) et une courbe mesokurtique ($K_G = 0,95 \phi$).

Tableau 4 : Synthèse des résultats des Indices granulométriques

Sites	Longitude	Latitude	Moyenne (M_z)	Sorting index (σ_i)	Skewness (SK_i)	Kurtosis (K_G)
Kafountine	16.749493	12.93757	1.8	0.45	0	0.96
Diembéring	16.788975	12.467282	2.33	0.43	0.02	0.94
Cabrousse	16.719722	12.344423	2.4	0.44	0.03	0.95
Varela	16.598895	12.292027	1.78	0.48	0.01	0.94

L'analyse de la *Figure 6* montre que toutes les courbes cumulatives sont sigmoïdales et cela indique que ce sont des sables transportés dans un milieu plus au moins agité avec une évacuation des particules fines vers le large par les courants de retour et le stock sédimentaire est homogène et l'énergie est adaptée à la charge transportée [15].

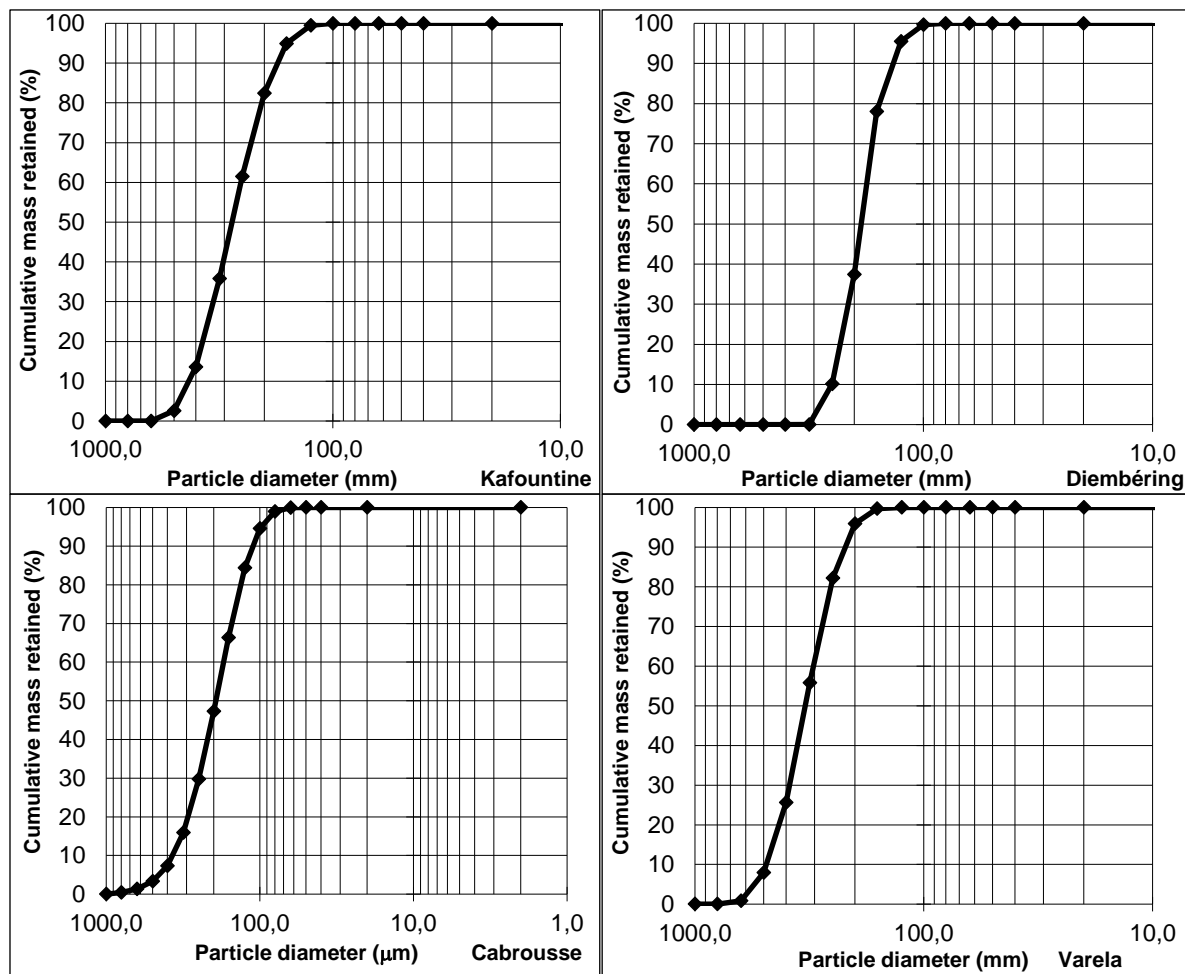


Figure 6 : Courbes granulométriques des sédiments superficiels des estrans des plages de Kafountine, Diembéring, Cabrousse et Varela

3-3-2. Évolution de la granulométrie moyenne des plages

Le grain moyen est variable en fonction des plages et le long des profils en surface (**Figure 7**). Sur la plage de Kafountine, le grain moyen est maximal sur le cordon et la berme. Bien que les sables du cordon littoral et de la berme soient plus grossiers que ceux de toutes les autres unités morphologiques, leur moyenne granulométrique reste toujours dans l'intervalle $1\phi < Mz < 2\phi$, par conséquent ils sont tous classés sables moyens. Le profil de Diembéring présente un grain moyen maximal de $2,5\phi$ sur le continent et le cordon littoral et suit une tendance baissière jusqu'à la basse plage. Tous les sables des unités morphologiques de la plage de Diembéring sont des sables fins. Ce constat est valable également pour la plage de Cabrousse. La granulométrie moyenne des unités morphologiques de la plage de Varela suit une évolution contraire aux autres profils analysés. La taille moyenne des sédiments diminue du continent vers la berme malgré une moyenne maximale notée sur la haute plage. La moyenne Mz divise le profil de Varela en deux parties. Les sables fins occupent la partie continentale, le cordon littoral et la haute plage avec une moyenne Mz variant entre 2,24 et 2,48 ϕ . Cependant, de la basse plage jusqu'à la berme, on note la présence de sables moyens avec un Mz qui passe respectivement de 1,77 à 1,49 ϕ .

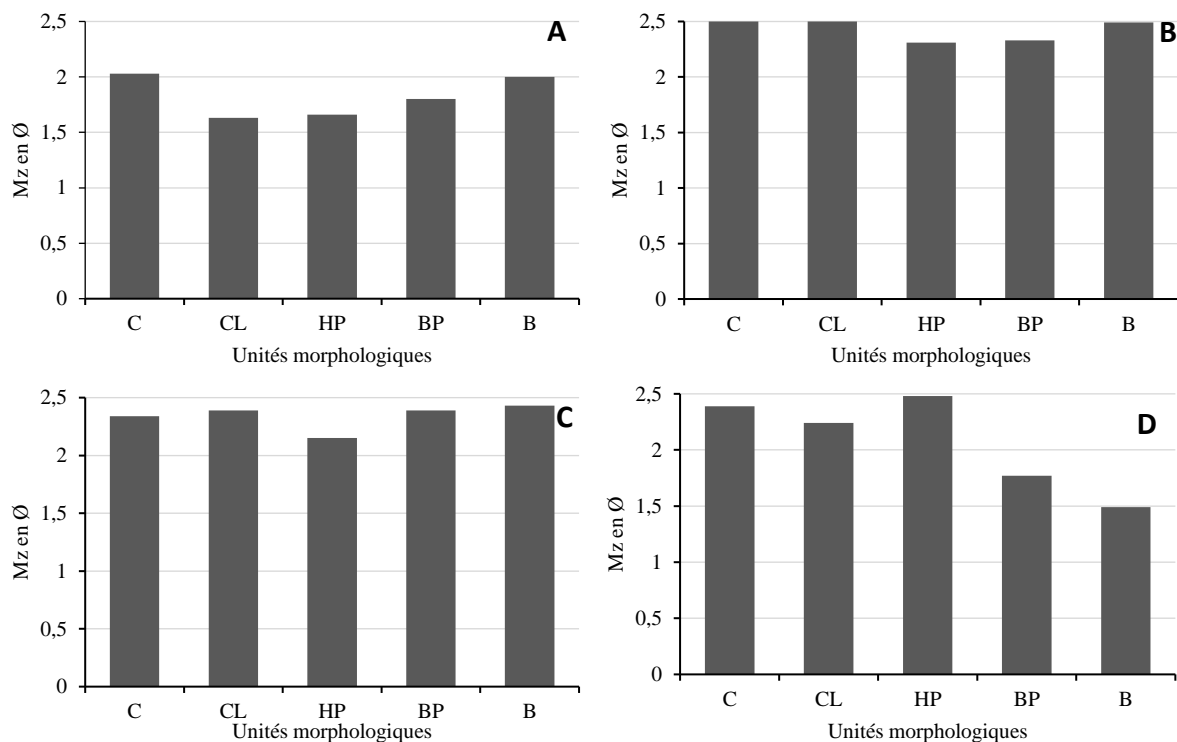


Figure 7 : Évolution de la granulométrie moyenne le long de la toposéquence pour les sites de Kafountine (A), Diembéring (B), Cabrousse (C) et Varela (D). C = Continent ; CL = Cordon littoral ; HP = Haute plage ; BP = Basse plage ; B = Berme.

3-3-3. Analyse des diagrammes de dispersion

Le diagramme de dispersion Mz -Sigma (**Figure 8**) montre que le sable des unités morphologiques le long des profils de Diembéring et de Cabrousse présente une granulométrie similaire et les mêmes indices de classement. Les sables de la plage de Varela sont les plus mal classés dans l'ensemble des profils. Plus la moyenne Mz augmente, plus les sédiments sont mal classés tandis qu'à la plage de Kafountine, plus la taille des particules augmente, plus ils sont bien classés. Les sédiments des unités morphologiques de la plage de

Varela sont les plus hétérogènes et peuvent être répartis en deux classes : les sables moyens rencontrés au niveau de la berme et les sables fins observés sur le continent, le cordon littoral, la haute plage et la basse plage. Le diagramme de dispersion Mz-Sigma montre que les sables de la plage de Diembéring sont bien classés et que les sédiments de la plage de Cabrousse sont des sables fins.

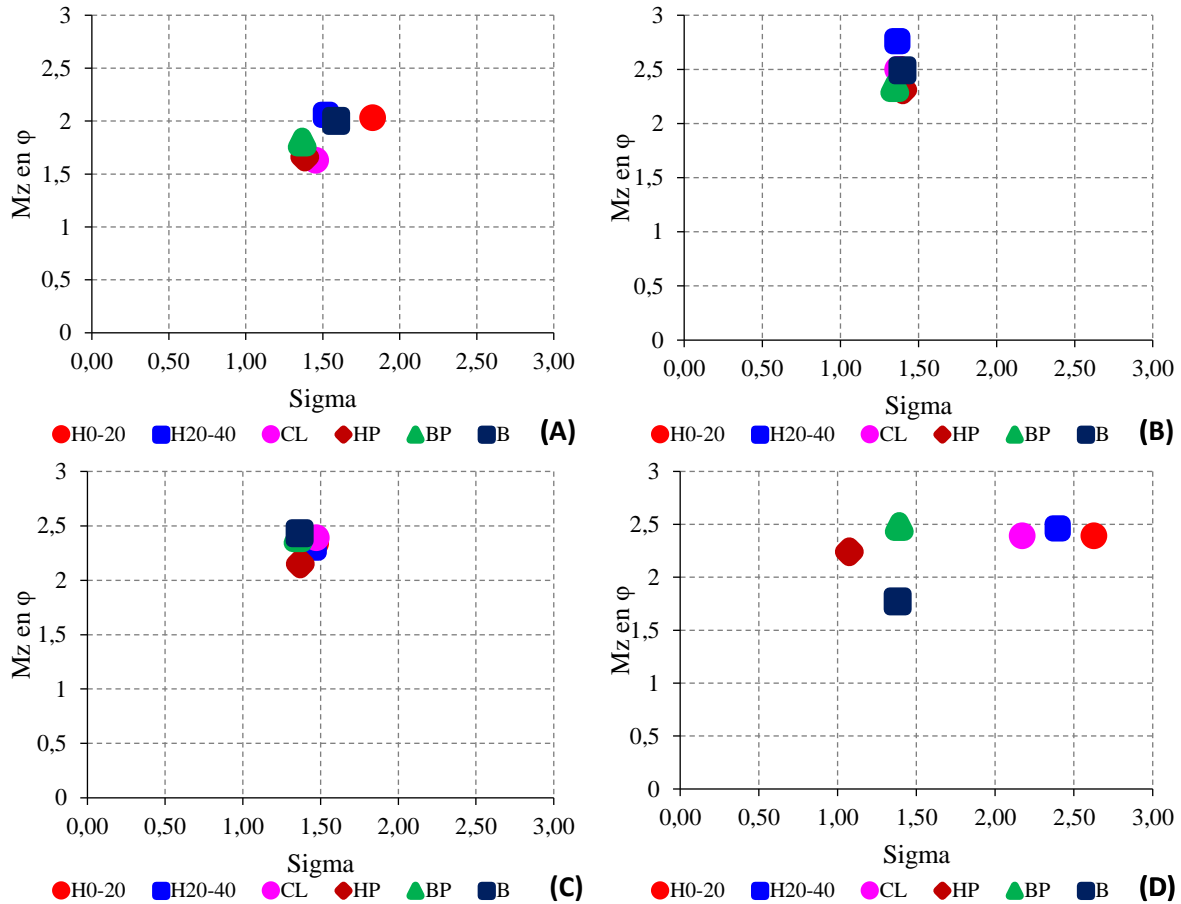


Figure 8 : Diagramme de dispersion Mz-Sigma pour les sites de Kafountine (A), Diembéring (B), Cabrousse (C) et Varela (D). H_{0-20} = Horizon 0-20 ; H_{20-40} = Horizon 20-40 ; CL = Cordon littoral ; HP = Haute plage ; BP = Basse plage ; B = Berme

4. Discussion

Les littoraux sableux des rivières du sud sont perpétuel mouvement en fonction d'un système hydrodynamique sédimentaire dominé globalement par la houle du nord et du sud-ouest, les marées, les courants de dérive littorale de direction Nord-Sud et les apports sédimentaires continentaux. Les apports continentaux sont des sédiments d'érosion transportés par les cours d'eau débouchant dans les estuaires et les sédiments apportés par ravinement, ruissellement [2]. Ce processus domine dans tous les fleuves de grande compétence, notamment en Casamance et dans les régions guinéennes. Il est accompagné d'une sédimentation très fine et très active jusqu'au rebord externe du plateau continental au large des estuaires [16]. Les résultats des analyses granulométriques montrent que les estrans étudiés sont caractérisés par un faciès essentiellement sableux. Les courbes cumulatives sont sigmoïdales et cela montre un budget sédimentaire homogène, symétrique et un bon classement des sables. Cela indique également que le dépôt des sables est causé par une variation banale et modérée dans la compétence de l'agent de transport [15].

La moyenne granulométrique varie entre 1,78 et 2,40 ϕ dans tous les estrans. Ces résultats montrent que ces estrans sont caractérisés par des sables moyens et des sables fins. En concordance avec les analyses granulométriques de [14]. Seules les particules de sable de la plage de Kafountine sont classés sables moyens avec un indice Mz de 1,8 ϕ tandis que les plages de Diembéring et de Cabrousse sont caractérisées essentiellement par des sables fins. L'analyse détaillée de la moyenne Mz de la radiale de Varela a montré une hétérogénéité des sables avec un indice qui décroît du contient vers le large. Cette tendance a mis en évidence deux classes : les sables moyens localisés au niveau de la basse plage et de la berme et les sables fins situés sur le continent, le cordon littoral et la haute plage. Cette différence de granulométrie renseigne qu'à la plage de Varela, les sables ont des sources diverses et qu'une grosse quantité a subi un transport longshore avant leur dépôt dans la zone intertidale. Ces résultats sont également en concordance avec les analyses sédimentologiques de [17] qui affirme que les sables proviennent des plages et des dunes côtières et sont majoritairement transportés par saltation et par suspension gradée. L'indice de classement varie légèrement en fonction des plages et évolue entre 0,35 et 0,5 ϕ . Ce qui indique que les sables sont bien classés dans les différents estrans. Les sables bien classés sont localisés dans les milieux à faible dynamique et leur accumulation suit la loi de Stokes [15, 18]. L'homogénéité des faciès sur l'ensemble des estrans montre que les apports sédimentaires sont assurés par un seul agent de transport soit hydrique ou éolien [1]. L'indice d'asymétrie ou Skewness (Ski) et le coefficient d'acuité ou le Kurtosis (KG) montrent que toutes les courbes sont presque asymétriques et mesokurtiques. Le diagramme de Visher indique que les sédiments sont essentiellement transportés par saltation. Ces résultats sont en concordance avec ceux de Diop [16] qui indique qu'au niveau de l'estran de Kafountine, 79 % des sables sont transportés par saltation contre 93 % à Diembéring, 77 % à Cabrousse et 74 % à Varela.

5. Conclusion

Cette contribution a permis d'analyser la dynamique sédimentaire, les caractéristiques granulométriques et le mode de transport des particules dans les estrans sableux de Kafountine, de Diembéring, de Cabrousse et de Varela. Les résultats des analyses granulométriques montrent les estrans sont dominés par les sables fins et bien classés. L'indice d'asymétrie ou le Skewness des différents échantillons indique que les courbes sont presque symétriques tandis que le coefficient d'acuité montre que les courbes sont mesokurtiques et que les sédiments suivent une distribution normale. Toutes les courbes cumulatives sont sigmoïdales et ce qui indique que le dépôt des sables est causé par une variation banale et modérée dans la compétence de l'agent de transport. Les sables sont transportés essentiellement par saltation, ce qui montre qu'il s'agit de sables moyens et fins.

Références

- [1] - D. TINE, "Évolution climatique et dynamiques des espaces littoraux par approche géomorphologique dans la partie septentrionale des Rivières du Sud : de la Basse Casamance (Sénégal) au Rio Gêba (Guinée Bissau). Thèse de doctorat, Université Cheikh Anta Diop, (2023) 303 p.
- [2] - D. TINE, M. FAYE, A. ATOUI et G. FAYE, "Caractérisation granulométrique et dynamique sédimentaire dans les plages septentrionales des rivières du sud : cas de la basse Casamance", *Afrique SCIENCE*, 21 (3) (2022) 157 - 173
- [3] - M. BRAHIM, A. ATOUI, C. SAMMARI, L. ALEYA, "Surface sediment dynamics along with hydrodynamics along the shores of Tunis gulf (North-Eastern Mediterranean)", *Journal of African Earth Sciences*, 103 (2015) 30 - 41

- [4] - M. CHAIBI, R. A. NOFAL, M. AYTOUGOUGDAL, M. H. AIT, F. EL BCHARI, A. CHARIF et A. ELMIMOUNI, "Analyse de la dynamique sédimentaire d'une plage mésotidale par l'application de modèle : cas de la plage sableuse d'El Haouzia - El Jadida, Maroc", *Revue Marocaine de Géomorphologie*, N°5 (2021) 72 - 89
- [5] - GIEC, "Changement climatique 2014 : Rapport de synthèse. Contribution des Groupes de travail I, II et III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Sous la direction de l'équipe de rédaction principale, R. K. Pachauri et L. A. Meyer] ". GIEC, Genève, Suisse, (2014) 161 p.
- [6] - F. LEVOY, "L'influence de la marée sur la morphodynamique des plages sableuses", Mémoire d'Habilitation à Diriger les Recherches, Université de Caen, Vol. 1, (2000) 186 p.
- [7] - A. CARTIER, "Evaluation des flux sédimentaires sur le littoral du Nord-Pas-de-Calais : Vers une meilleure compréhension de la morphodynamique des plages macrotidales", Thèse de Doctorat, Université du Littoral Côte d'Opal, (2011) 408 p.
- [8] - J-P. BARUSSEAU, MB. DIOUF, M. DE LA BARDONNIE & N. EL GHANDOUR, "Méthodologie pour une simulation des transformations granulométriques de sables de la zone d'avant côte". *Oceanologica Acta*, 22 (1999) 179 - 191 p.
- [9] - G. PENNOBER, "Analyse spatiale de l'environnement côtier de l'archipel des Bijagós (Guinée Bissau)", Thèse de doctorat, Université de Bretagne occidentale, Institut supérieur européen de la mer, (2009) 233 p.
- [10] - R. L. FOLK & W. C. WARD, "Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters", *Journal of sedimentary Petrology*, Vol. 27, N°1 (1957) 3 - 26
- [11] - O. AMROUNI, "Morphodynamique d'une plage sableuse microtidale à barres : côte nord de Mahdia (Tunisie orientale)", Thèse de doctorat, Université Tunis-El Manar, (2008) 313 p.
- [12] - G. S. Visher, "Grain size distributions and depositional processes". *Jour. Sedim. Petrol.*, Tulsa, Vol. 39, N° 3 (1969) 1074 - 1106 p.
- [13] - A. SOUMARE, "Étude comparative de l'évolution géomorphologique des bas-estuaire du Sénégal et du Saloum (approche par les données de terrain et de télédétection) ", Thèse de doctorat, Université Cheikh Anta Diop, (1996) 265 p.
- [14] - D. TINE, M. FAYE, M. THIOR et G. FAYE, "Dynamique des flèches sableuses des Rivières du Sud, de la basse Casamance (Sénégal) au Rio Gêba (Guinée Bissau) : Approche par télédétection", *International Journal of Innovation and Applied Studies*, Vol. 37, N° 3 (Oct. 2022) 622 - 634 p.
- [15] - A. ATOUI & M. BRAHIM, "Distributions granulométriques des sédiments de surface de la frange littorale du Ras Taguermess au Ras Marmor (Golfe de Gabès, Tunisie)". In : Conférence Méditerranéenne Côtière et Maritime. *Edition 1, Hammamet*, Tunisie, (2009) 75 - 78
- [16] - E. S. DIOP, "La côte ouest-africaine du Saloum (Sénégal) à la Mellancorée (Rep. De Guinée) ", Thèse de doctorat, Université de Strasbourg, (1990) 366 p.
- [17] - D. TINE, M. FAYE, G. FAYE, "Sédimentologie et dynamique sédimentaire des littoraux sableux de Cabrousse (Sénégal) et de Varela (Guinée Bissau)", *Revue Marocaine de Géomorphologie*, N°6 (2022) 104 - 118 p.
- [18] - M. TOURÉ, B. C. KPAN, T. E. WANGO, S. MONDE et S. DOSSO, "Caractérisation pétro-sédimentaire des d'assinie, côte d'ivoire", *Rev. Ivoir. Sci. Technol*, 27 (2016) 223 - 236
- [19] - D. TINE, M. FAYE, G. FAYE, "Dynamique du trait de côte et ses impacts sur les littoraux sableux des rivières du sud : cas de la basse Casamance", *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 39 (2022) 293 - 312