

Caractérisation granulométrique et dynamique sédimentaire dans les plages septentrionales des rivières du sud : cas de la basse Casamance

Dome TINE^{1*}, Mbagnick FAYE², Abdelfattah ATOUI³ et Guilgane FAYE⁴

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

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

³ *Ministère de l'équipement et de l'Habitat, Direction de l'Hydraulique Urbaine (DHU), Rue de Hadi Chaker Sakiet Ezzit Sfax 3021, Tunisia*

⁴ *Université Cheikh Anta DIOP de Dakar, Département de Géographie, Laboratoire de Géographie Physique, BP 5005 Dakar, Sénégal*

(Reçu le 26 Février 2022 ; Accepté le 30 Septembre 2022)

* Correspondance, courriel : dometine85@gmail.com

Résumé

Cette contribution a pour but d'analyser la dynamique sédimentaire, les caractéristiques granulométriques et sédimentologiques, le mode de transport et les environnements de dépôt des sédiments dans les littoraux sédimentaires de la partie septentrionale des Rivières du Sud. La méthodologie adoptée repose sur des analyses granulométriques dont le prélèvement des échantillons a été effectué suivant deux radiales notamment à Kafountine (K), à Diembéring (D). Sur chaque radiale, six échantillons sont prélevés suivant cinq unités géomorphologiques pour un total de 12 échantillons. Les analyses granulométriques sont effectuées par un granulomètre Laser de type Mastersizer 3000. 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 résultats montrent que les courbes cumulatives des échantillons analysés sont en forme de S, ce qui indique que les sables sont transportés dans un milieu plus au moins agité avec évacuation des particules vers le large. Dans les radiales de Kafountine et de Diembéring, le tri granulométrique s'effectue à partir du cordon dunaire vers la berme. L'indice de classement varie entre 0.1 F et 1.4 F cela indique quatre types de classement, allant de mal classé à très bien classé. Les faciès sont presque symétriques et très asymétriques vers les fins avec une granulométrie uniforme. Les plages étudiées sont caractérisées essentiellement par du sable fin et du sable moyen. Ces sédiments proviennent des dunes côtières et sont transportés généralement par saltation.

Mots-clés : *dynamique sédimentaire, plage, granulométrie, rivières du Sud, Basse Casamance.*

Abstract

Granulometric characterisation and sedimentary dynamics in the northern beaches of southern rivers : the case of the Lower Casamance

The aim of this contribution is to analyse the sedimentary dynamics, the granulometric and sedimentological characteristics, the mode of transport and the depositional environments of the sediments in the sedimentary littorals of the northern part of the Rivières du Sud. The methodology adopted is based on granulometric analyses, with samples being taken along two radial lines, namely at Kafountine (K) and Diembéring (D). On each radial, six samples were taken from five geomorphological units for a total of 12 samples. The granulometric analyses were carried out by a Mastersizer 3000 laser granulometer. The establishment of cumulative curves, as well as the calculation of the various granulometric parameters were carried out using an Excel program (GRADISTAT). The results show that the cumulative curves of the analysed samples are S-shaped, which indicates that the sands are transported in a agitated environment with evacuation of the particles towards the open sea. In the Kafountine and Diembéring radials, the granulometric sorting is carried out from the dune strip towards the berm. The grading index varies between 0.1 F and 1.4 F, indicating four types of grading, from poorly graded to very well graded. The facies are almost symmetrical and very asymmetrical towards the fines with a uniform grain size. The beaches studied are characterised mainly by fine and medium sand. These sediments originate from the coastal dunes and are generally transported by saltation.

Keywords : *sedimentary dynamics, beach, granulometric characteristics, southern rivers, Lower Casamance.*

1. Introduction

Les littoraux sédimentaires ouest africains sont façonnés en permanence par les courants de dérive littorale responsables du transit sédimentaire sur la côte. Ces courants de dérive littorale sont toujours présents et en intensité variable façonnant cordons et terrasses sableuses. Ils sont induits par le courant de la dérive N-S qui est parallèle au rivage [1]. Sa vitesse varie entre 60 et 80 cm/s alors qu'une vitesse de 20 cm/s est nécessaire pour déterminer un transit sédimentaire [2]. La présence de tels courants, dirigés globalement du Nord vers le Sud, est attestée par les différentes flèches littorales allongées vers le Sud [3]. Les littoraux sableux font partie des zones les plus exposées et très vulnérables au risque d'érosion car elles sont composées essentiellement de sédiments meubles [4]. 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 composés d'estuaires et de deltas, les apports sédimentaires fluviaux participent à l'équilibre du littoral. Ces matériaux jouent un rôle important dans la morphodynamique sédimentaire du littoral [5, 6]. Les houles, la marée, les courants et le transport sédimentaire sont mutuellement dépendants et interagissent pour façonner la plage [7]. 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 [8 - 11]. Ces agents hydrodynamiques ont une incidence non négligeable sur la dynamique sédimentaire et l'évolution des plages. Cependant, ces particules transportées par la dérive Nord-Ouest sont séquestrées à l'embouchure, et s'y accumulent et ces accumulations se réalisent par une contre-dérive locale qui s'exerce généralement lors du passage de la houle Sud-Ouest [12 - 14]. Dans l'espace étudié, plusieurs types d'apports sédimentaires peuvent être identifiés à savoir les apports continentaux, qui proviennent en amont des bassins versants. Ces sédiments sont arrachés par les eaux de ruissellement pendant la saison pluvieuse et le sapement des berges avant d'être transportés par les cours d'eau et les rivières et déposés dans les estuaires et les deltas. Ces flux sédimentaires suivent un rythme saisonnier, caractérisé par un fort apport en saison pluvieuse et une réduction des quantités de sédiment

pendant la saison non pluvieuse. Les apports sédimentaires d'origine fluviale sont conditionnés par la pluviométrie, l'extension des bassins versants, la morphologie et la nature lithologique et pédologique [15]. La quantité de sédiment déposée par les rivières et les cours d'eau dépend essentiellement des facteurs climatiques. Les apports éoliens jouent un rôle important dans la stabilisation des plages. Les sédiments transportés par le vent vers le littoral participent à la morphodynamique côtière et à la mise en place de stocks sédimentaires (formation de dunes et de cordons sableux) qui contrôlent l'équilibre des plages et protègent le littoral contre l'érosion. Un déficit des apports continentaux fragilise la balance sédimentaire du système littoral et provoque une vulnérabilité de son édifice face aux effets des changements climatiques [16]. L'objectif de cette contribution est de caractériser la dynamique sédimentaire, les caractéristiques granulométriques et sédimentologiques, le mode de transport et les environnements de dépôt des sédiments dans les littoraux sédimentaires de la partie septentrionale des Rivières du Sud.

2. Matériel et méthodes

2-1. Zone d'étude

L'espace étudié (*Figure 1*) se situe dans la partie septentrionale des Rivières du Sud notamment en basse Casamance. Cette frange littorale est caractérisée, du point de vue géologique, par le bassin sédimentaire sénégalo-mauritanien d'âge méso-cénozoïque qui s'étend du Cap Blanc en Mauritanie au Cap Roxo en Guinée Bissau. C'est un milieu de transition entre les domaines maritime et continental avec une topographie relativement basse tout au long de la zone côtière. Il est caractérisé par des vasières à mangroves qui constituent le domaine de prédilection des palétuviers (*Rhizophora mangle* et *Avicennia africana* en particulier) [17]. Aux limites des vasières à mangrove se forment des étendues de tannes inondées par endroit en saison pluvieuse en raison de la platitude du relief. Le domaine étudié est marqué par la densité du réseau hydrographique composé de cours d'eau et de bolongs envahis constamment par les marées. Au point de vue climatique, le milieu étudié appartient au domaine libéro-guinéen au Sud [18] qui est une sous-division du climat tropical. La région est caractérisée par deux saisons dues à l'alternance de circulation des alizés et de la mousson. Une saison non pluvieuse allant de novembre à avril et une saison pluvieuse de mai à octobre. La pluviométrie est relativement abondante (supérieure à 1000mm par an). Cette abondance est essentiellement liée au fort potentiel précipitable advecté et au relief qui conditionne la translation estivale de la zone intertropicale de convergence [19].

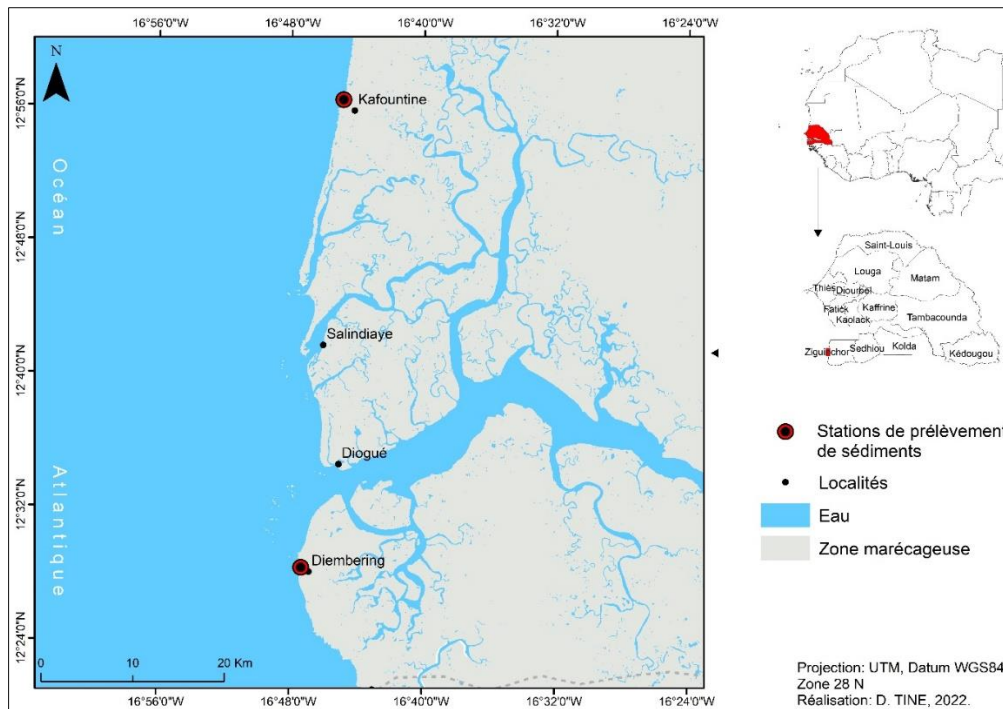


Figure 1 : Situation géographique de la zone d'étude et des Sites de prélèvements d'échantillons de sol

2-2. Méthode

Les sables étudiés sont des sédiments superficiels excepté l'horizon 20-40 des stations continentales. Ces sédiments ont fait l'objet d'analyses granulométriques pour déterminer les différentes classes granulométriques. Le prélèvement des échantillons est effectué suivant deux radiales notamment à Kafountine (K), à Diembéring (D) (**Figure 1**). Pour chacune d'elles, six (6) prélèvements ont été effectués respectivement au niveau des cinq unités géomorphologiques (**Figure 2**) de la plage, depuis le continent jusqu'à la berme : (i) une station continentale décomposée en deux horizons (0-20cm et 20-40cm) (2 échantillons), (ii) une station au niveau du cordon littoral, (iii) une station au niveau de la haute plage, (iv) une station au niveau de la Basse plage et (v) une station au niveau de la berme. Au total, l'analyse granulométrique est effectuée sur 12 échantillons. 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 paramètres granulométriques sont calculés selon la méthode de [20] et sont exprimés en Phi (Φ). Pour les deux radiales étudiés nous avons établi les courbes cumulatives à partir desquelles nous avons extrait les différents 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 [21].

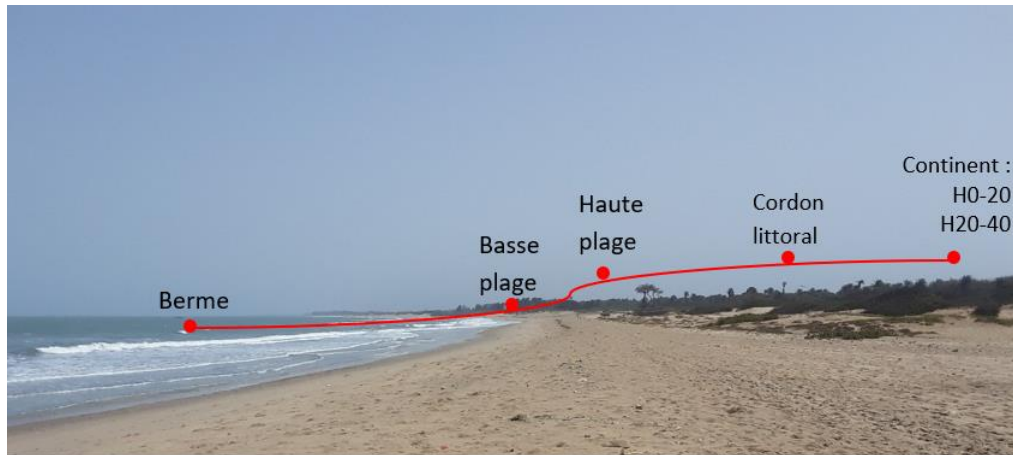


Figure 2 : *Emplacement des unités géomorphologiques qui forment le profil d'échantillonnage à la plage de Kafountine*

2-3. Description des indices granulométriques calculés

La moyenne granulométrique (M_z) représente la distribution granulométrique moyenne des sédiments et renseigne sur l'énergie cinétique moyenne lors du dépôt des sédiments. Le rapport de Hazen ou coefficient d'uniformité de Hazen (C_u) permet de déduire l'homogénéité des sédiments. Il est déduit du rapport entre le pourcentage des poids cumulés de 60 % (le tamis correspondant à 60 % du passant cumulé sur la courbe granulométrique) et de 10 % (le tamis correspondant à 10 % du passant cumulé sur la courbe granulométrique). C'est un indice qui caractérise la répartition en taille des particules qui composent un échantillon. Le coefficient de classement ou de courbure (C_c) permet d'apprécier le degré d'étalement d'un sol. Si celui-ci présente une granulométrie équilibrée ou mal équilibrée. Son calcul nécessite le pourcentage des diamètres de grain correspondant à d_{60} , d_{10} et d_{30} . D_{60} est le diamètre effectif des particules qui correspond à 60 % du passant, D_{10} est diamètre effectif des particules qui correspond à 10 % du passant et D_{30} diamètre effectif des particules qui correspond à 30 % du passant. Si $1 < C_c < 3$, la courbe granulométrique indique la présence d'une grande variété de diamètres. Un C_c trop grand ou trop petit indique l'absence de certains diamètres entre les diamètres effectifs D_{10} et D_{60} , la granulométrie est alors mal graduée. Le critère retenu en ce qui concerne le coefficient de courbure et le coefficient d'uniformité sont respectivement une valeur comprise entre 1 et 3 pour le premier et une valeur supérieure à 6 pour le deuxième. L'indice d'asymétrie ou Skewness ou (S_{ki}) 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 (KG) mesure l'angulosité de la courbe des fréquences. Si le mode est concentré dans des classes granulométriques restreinte, 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, les milieux de dépôt à l'aide des diagrammes de [22] et de [23]. Le diagramme de de Moiola et Weiser permettent de faire la discrimination entre les sables de plage, de rivière, de dune côtière et de dune continentale.

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>

3. Résultats

3-1. Caractéristique granulométrique des sites étudiés

L'analyse des caractéristiques granulométriques a porté sur les sédiments des unités morphopédologiques suivant une toposéquence qui part du continent vers l'océan. Il s'agit de la partie continentale avec les horizons 0-20 cm et 20-40 cm, suivi du cordon littoral, de la haute plage ; la basse plage et la berme. La granulométrie par diffraction laser a été utilisée et les résultats issus du calcul des indices granulométriques sont regroupés dans le **Tableau 2**.

3-1-1. Analyse des indices granulométriques du site de Diembéring

La plage de Diembéring est la plus agitée de l'ensemble du linéaire étudié. Elle est marquée par une forte érosion littorale au cours de l'année. Les prélèvements d'échantillons de sédiments ont coïncidé avec une érosion accrue des côtes. Il s'agit d'un secteur à érosion constante qui contrôle la morphologie. Ce courant est très actif sur le littoral de Diembéring et draine une grande quantité de sédiment vers le large. La moyenne granulométrique est composée généralement de sables fins avec des valeurs comprises entre 2,31 \emptyset et 2,76 \emptyset . La taille des grains présente une légère variation en surface sur toute la toposéquence. Ce qui nous permet de dire que les courants de houles n'effectuent pas de tri granulométrique. L'indice de classement ou Sorting index (σ_i) montre qu'il s'agit des sables bien classé avec des valeurs comprises entre 0,35 \emptyset et 0,49 \emptyset . Le Skewness nous renseigne que toutes les courbes sont presque symétriques avec des valeurs comprises entre

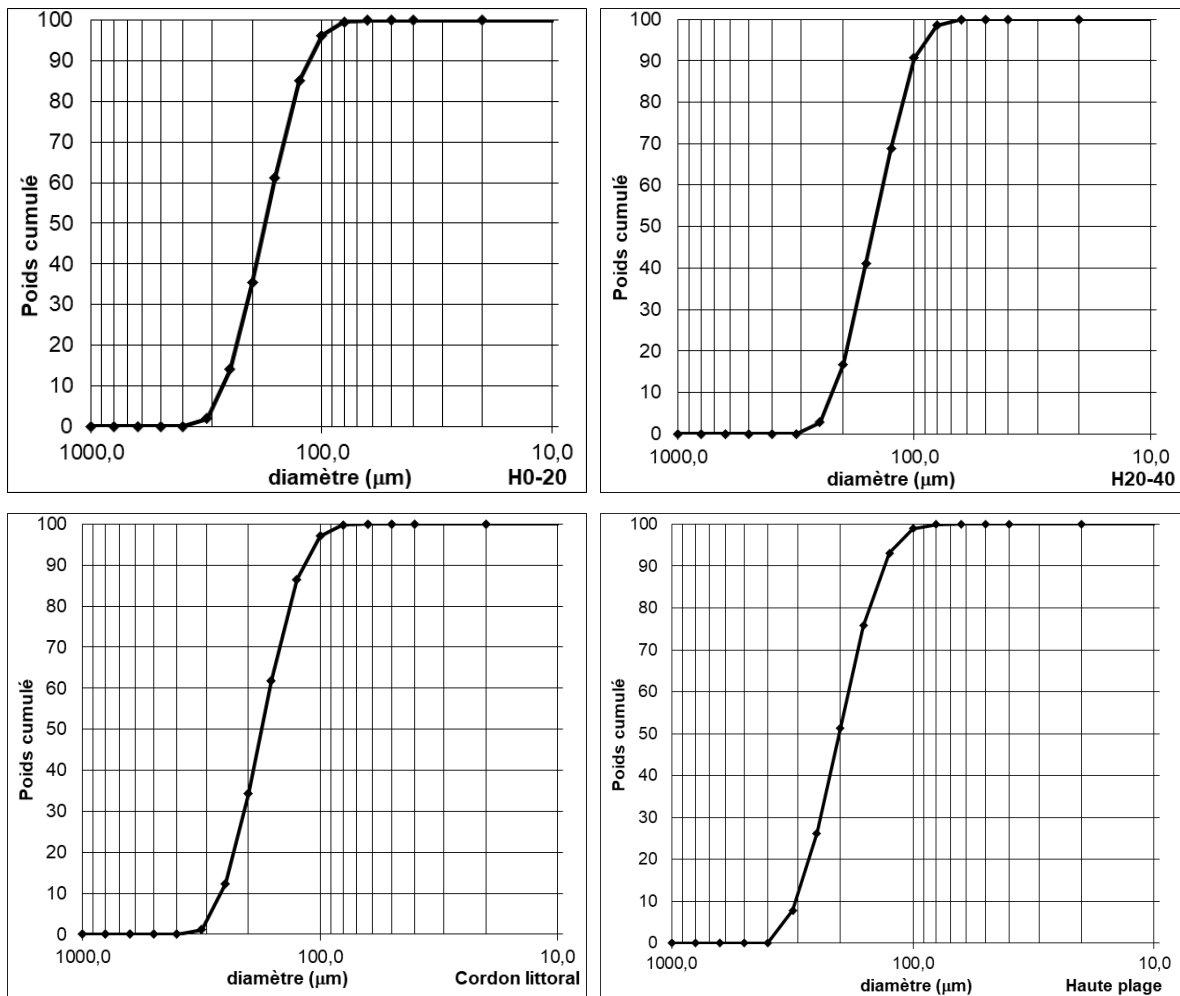
-0,02 Ø et 0,020. Les indices granulométriques révèlent une homogénéité des particules de sable sur le site de Diembéring. Les coefficients d'acuité de tous les échantillons de sédiments ont des valeurs variant de 0,90 Ø et 1,07 Ø. Les courbes étant mesokurtique, les sédiments suivent une distribution normale.

- *Le Coefficient d'uniformité (C_u)*

Le coefficient d'uniformité est inférieur à 3 pour tous les échantillons du site de Diembéring. Ce qui indique une granulométrie uniforme. Les valeurs du coefficient d'uniformité présentent une légère variation avec un minimum de 1,18 et un maximum de 1,41.

- *Le coefficient de classement (C_c)*

Le coefficient de classement montre une variation de diamètre des sédiments entre les différentes unités morphologiques de la plage de Diembéring. Le coefficient de classement est compris entre 1,10 et 1,13 sur le contient et en profondeur ainsi que sur le cordon littoral et la berme. Il évolue en dessous de 1 au niveau de la haute plage et de la basse plage avec des valeurs respectives de 0,98 et 0,96. Les courbes granulométriques indiquent l'absence de certains diamètres entre les diamètres effectifs D_{10} et D_{60} , donc la granulométrie est mal graduée. Les courbes cumulatives (**Figure 3**) des sédiments étudiés présentent des allures sigmoïdes (en forme de S). Elles sont caractéristiques d'un milieu très agité, à érosion constante et à source sédimentaire unique.



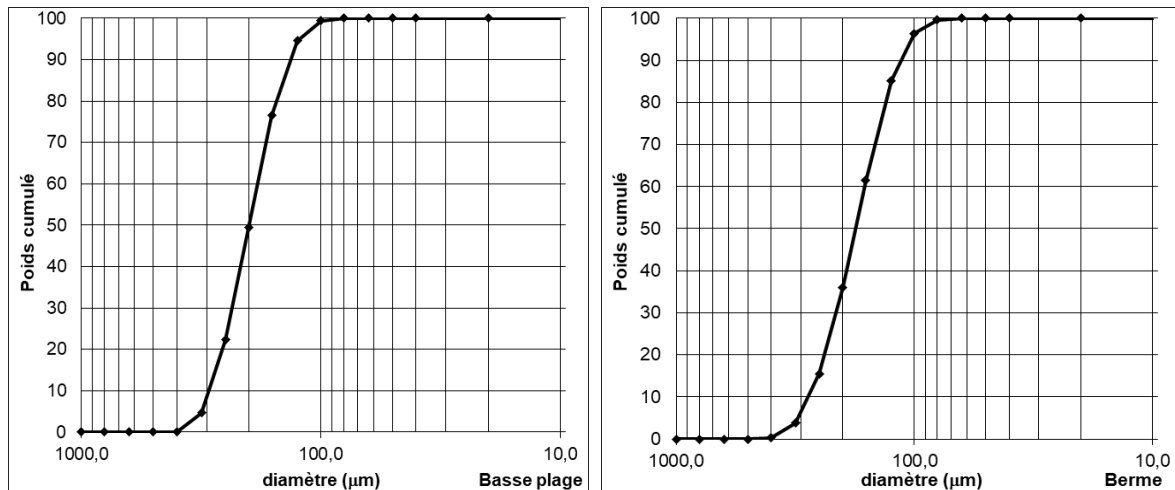


Figure 3 : *Courbes granulométriques des sédiments superficiels de la plage de Diembéring*

3-1-2. Analyse des indices granulométriques du site de Kafountine

La plage de Kafountine est peu agitée et bordée d'un cordon dunaire, support d'une végétation arbustive, qui l'alimente en sédiments. Les phénomènes d'érosion sont observables à travers des micros-falaises taillées aux abords des unités de réserves sédimentaires. Le faciès étant caractérisé par des sédiments meubles, la moyenne granulométrique s'étale entre 1,63 \emptyset et 2,06 \emptyset . Les échantillons sont composés de sables fins (Mz compris entre 1,63 \emptyset et 1,86 \emptyset) plus précisément en surface du cordon littoral, de la haute plage et de la basse plage et de sables moyens (Mz compris entre 2,01 \emptyset et 2,06 \emptyset) notamment sur le continent, en surface comme en profondeur ainsi que la berme. La variation extrêmement légère de la taille des grains ne suffit pas pour soutenir un quelconque tri granulométrique par les courants de houles. L'indice de classement est compris entre 0,45 \emptyset et 0,87 \emptyset . Ce qui indique que les sables sont bien classés, assez bien classés et moyennement classés. Les sables bien classés proviennent en surface de la haute plage et de la basse plage avec des valeurs respectives de 0,47 \emptyset , 0,45 \emptyset . Les échantillons provenant en profondeur du continent, en surface du cordon littoral et la berme montrent des valeurs de sorting index variant entre 0,54 \emptyset et 0,66 \emptyset leur permettant de les qualifier de sables assez bien classés. Les sables moyennement classés se situent en surface du continent avec une valeur de 0,87 \emptyset . Hormis la surface du continent où la courbe est asymétrique vers les fins (0,31 \emptyset), le Skewness montre que toutes les courbes sont presque symétriques avec des valeurs comprises entre 0,00 \emptyset et 0,05 \emptyset . En surface du continent, la courbe est très leptokurtique contrairement au reste de la toposéquence où les coefficients d'acuité donnent des valeurs variant de 0,91 \emptyset et 1,00 \emptyset . Les courbes étant mesokurtique, les sédiments de la partie littorale suivent une distribution normale.

- Le Coefficient d'uniformité (C_u)

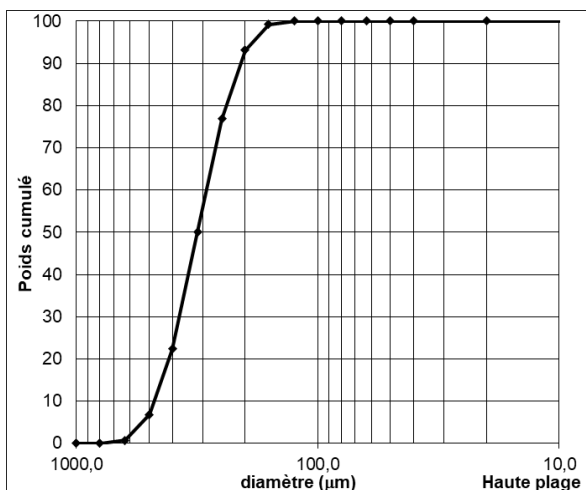
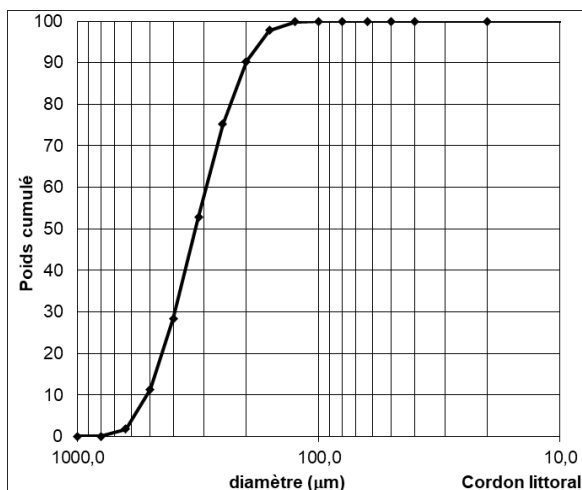
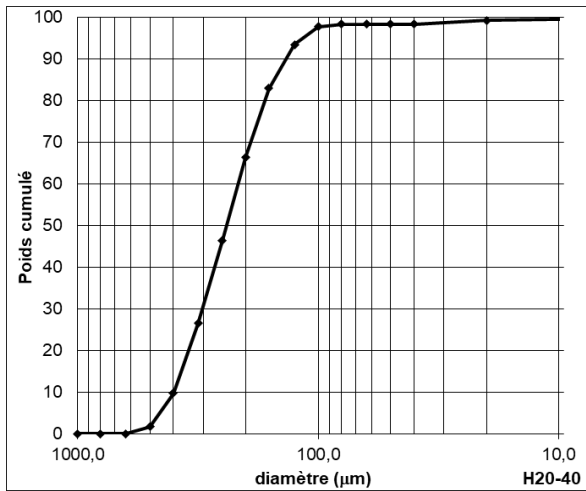
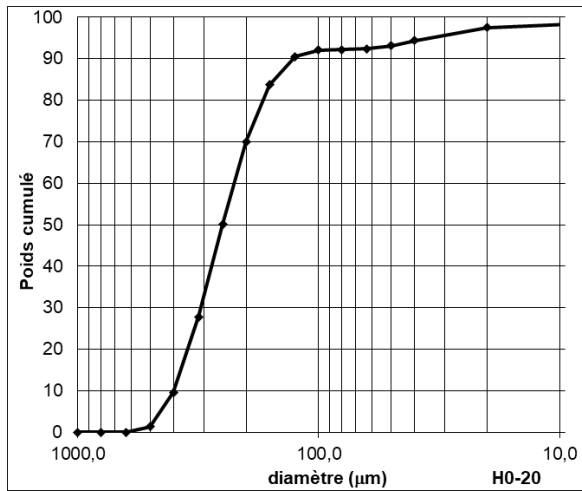
Le coefficient d'uniformité est compris entre 1,20 \emptyset et 1,57 \emptyset , donc inférieur à 3, ce qui indique que la granulométrie est uniforme. Malgré cette uniformité, une légère variation du C_u est observée entre les échantillons.

- Le coefficient de classement (C_c)

Le coefficient de classement (C_c) < 3, la courbe granulométrique indique la présence d'une grande variété de diamètres. Les courbes cumulatives des échantillons de la plage de Kafountine (**Figure 4**) épousent plus ou moins la forme d'un S. Elles sont caractérisées par une faible pente. Ce qui confirme la variété dans le classement des sables et la symétrie des courbes. Toutefois, une légère différence peut être observée sur la pente des courbes ainsi que leur allure.

Tableau 2 : Synthèse des résultats des Indices granulométriques

Paramètres	Nom d'échantillon	Toposéquence	Moyenne (MZ(F))	Moyenne (MZ (µm))	Sorting index (σi)	Skewness (SKI)	Kurtosis (KG)	
Kafountine	K1	Continent	H0-20	2.03	244.85	0.87	0.31	1.84
	K2		H20-40	2.06	239.81	0.61	0.04	0.95
	K3	Cordon littoral	1.63	323.08	0.54	0.03	0.97	
	K4	Haute plage	1.67	314.25	0.47	0	1	
	K5	Basse plage	1.8	287.17	0.45	0	0.96	
	K7	Berme	2.01	248.27	0.66	0.05	0.93	
Diembéring	D8	Continent	H0-20	2.51	175.55	0.47	0.01	0.92
	D9		H20-40	2.76	147.62	0.45	0.02	0.9
	D10	Cordon littoral	2.51	175.55	0.45	0.01	0.93	
	D11	Haute plage	2.31	201.66	0.49	0.02	0.98	
	D12	Basse plage	2.33	198.88	0.43	0.02	0.94	
	D14	Berme	2.5	176.77	0.48	-0.01	0.93	



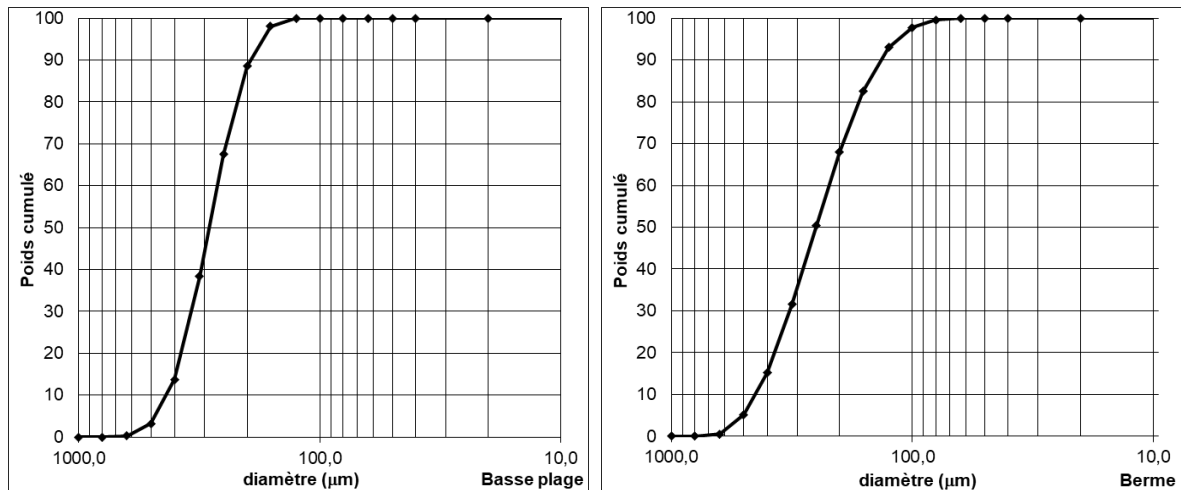


Figure 4 : Courbes granulométriques des sédiments superficiels de la plage de Kafountine

3-2. Origine des sédiments des plages étudiées

L'analyse du diagramme Sk-Md montre un positionnement à 78 % des échantillons en milieu de dune continentale contre 22 % en milieu de dune côtière (Figure 5 et 6). Le diagramme Md-So révèle que 36 % des sédiments proviennent du domaine des rivières et 64 % du domaine des plages. Le diagramme Md-So montre que la plupart des sédiments appartiennent au domaine de dunes côtières. Les dépôts en domaine de rivière renvoient aux apports sédimentaires fluviaux qui peuvent être considérables aux vues de la densité du réseau hydrographique dans cette partie des Rivières du Sud. Ces sédiments sont transportés en suspension dans l'eau par les courants de dérive. Ces sédiments sont transportés en suspension par les courants de dérive. Les dépôts provenant des rivières sont observés dans les plages de Kafountine, situées respectivement au sud du fleuve Gambie et du fleuve Casamance. Ces fleuves drainent de grands bassins versant et transportent une grande quantité de sédiments vers le littoral en saison pluvieuse. Ce qui peut justifier la quantité (36 %) de sédiments du domaine des rivières observés sur le diagramme Md-So. Ces apports sédimentaires sont remobilisés vers le sud par la houle du nord.

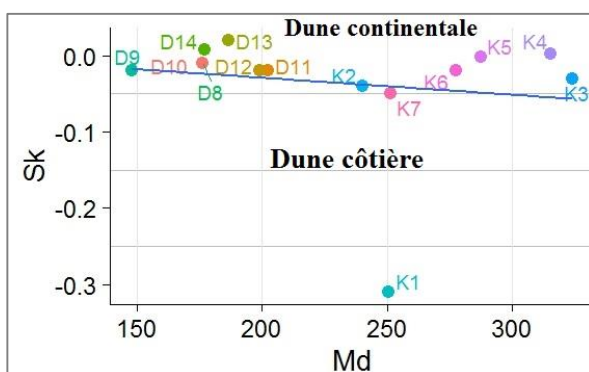


Figure 5 : Diagramme Sk-Md des sédiments des plages étudiées

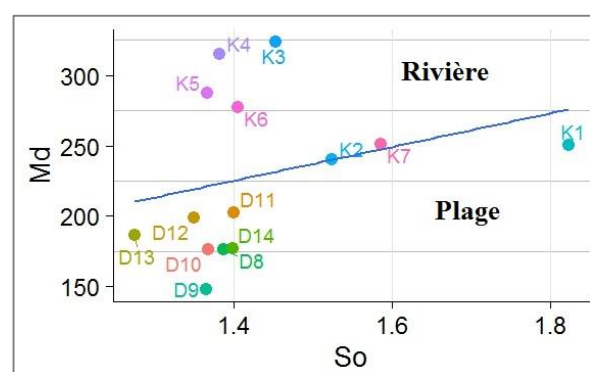


Figure 6 : Diagramme Md-So des sédiments des plages étudiées

3-3. Environnement de dépôt des sédiments

Les analyses granulométriques s'accordent sur le caractère sableux des deux plages étudiées. Cependant, que le mode de transport des sédiments des plages est globalement dominé par le transport par saltation (Tableau 3). A la plage Diembéring, l'essentiel des sables fins est transporté par saltation avec une

proportion de 72 % sur la basse plage. Sur le cordon, 86 % des sédiments sont portés par saltation contre 13 % en suspension. Le transport par roulement représente 1 % sur le cordon et 5 % sur la basse plage. À la plage de Kafountine, les sables grossiers représentent 11 % sur le cordon littoral et sont transportés par charriage tandis que 79 % des sédiments moyens et fins sont transportés par saltation dont 11 % par suspension.

Tableau 3 : Proportion des sédiments selon le type de transport

Plages	Unité morphologique	Population B	Population A-A'	Population C
		% Suspension	% Saltation	% Roulement
Kafountine	Cordon littoral	10	79	11
	Basse plage	12	85	3
Diembéring	Cordon littoral	13	86	1
	Basse plage	23	72	5

Le diagramme de Passega montre que la majorité des sables des deux plages étudiées est placée dans les segments RQ et QP (*Figure 7 et 8*). Cela indique que le mode de transport des sables s'est effectué essentiellement par saltation et par suspension gradée ou intermittente. Le *Tableau 3* montre que les sédiments des plages étudiées sont transportés par suspension lors des périodes d'agitations hydrodynamiques marines où lorsque la vitesse du vent est faible. Les sédiments des plages de Kafountine sont placés sur le segment QP et par conséquent, leur mode de transport s'est essentiellement effectué par saltation. Cependant, dans la plage de Diembéring, les échantillons sont placés sur le segment RQ, ce qui indique les sédiments sont transportés par suspension gradée.

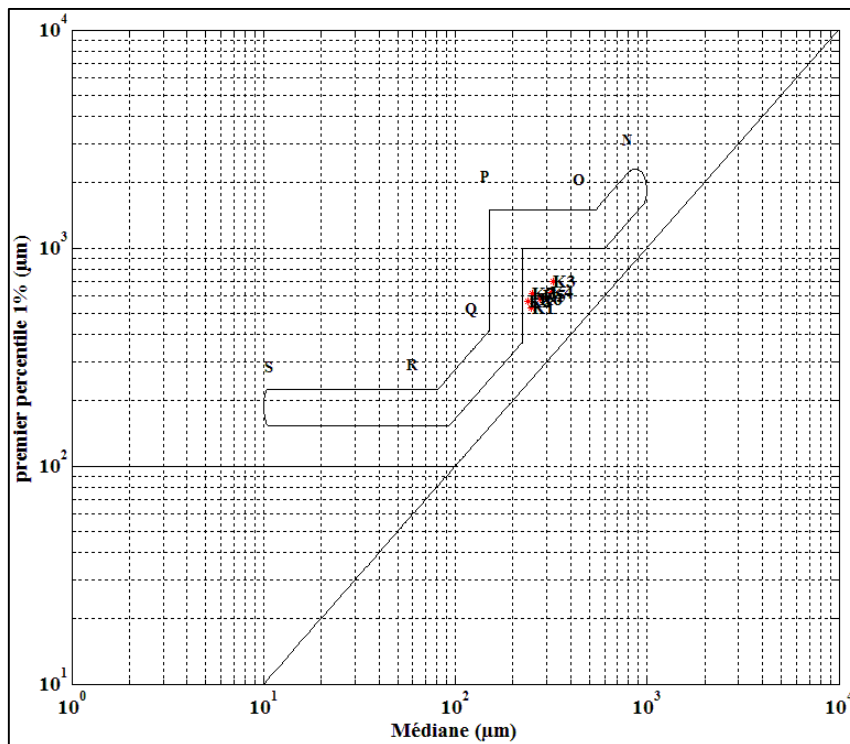


Figure 7 : Mode de transport des sédiments à la plage de Diembéring

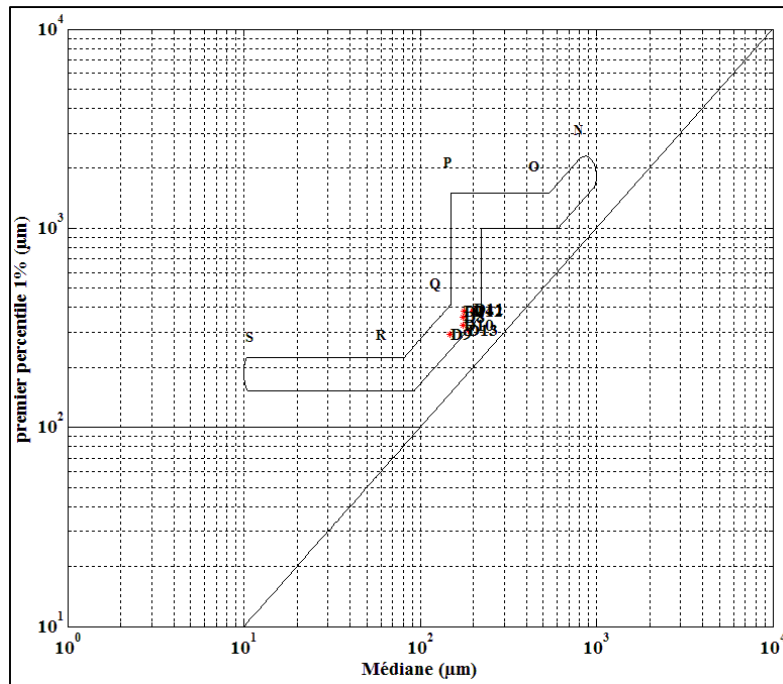


Figure 8 : Mode de transport des sédiments à la plage de Diembéring

3-4. Caractéristiques sédimentologiques des unités morphologiques

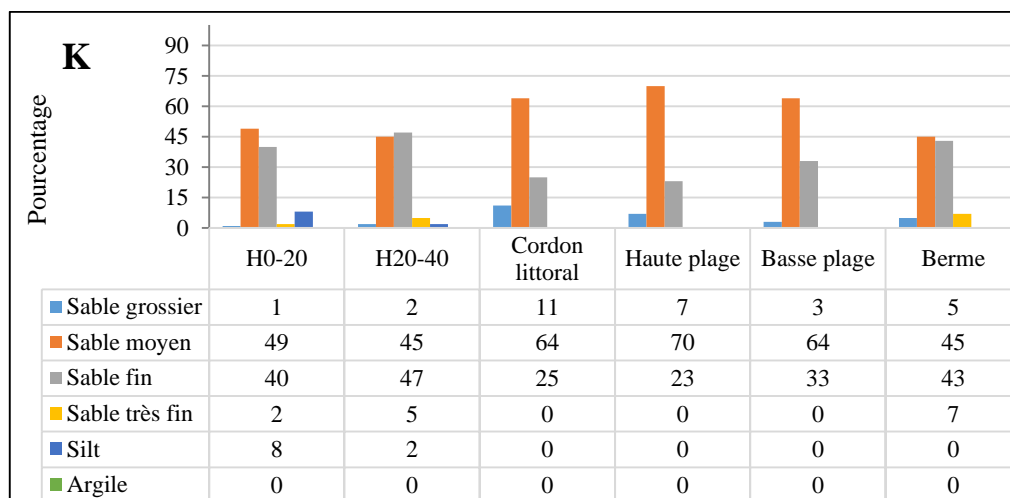
L'analyse granulométrique permet de caractériser les sédiments des différentes plages concernées. Leur répartition spatiale le long de la toposéquence permet de comprendre la dynamique sédimentaire au niveau des sites étudiés. La dérive littorale et le forçage climatique contrôle le rythme de l'érosion et de l'accumulation au niveau des plages. Cette variation du stock sédimentaire intertidal est en équilibre avec les conditions de forçage météo-marins. En période d'érosion, les conditions hydrodynamiques englobent ces barres sableuses stables à court terme et attaquent directement le cordon littoral. Ce façonnement des côtes est facilité par le caractère sableux des plages étudiées (*Figure 9*).



Figure 9 : Stock sédimentaire sur la plage de Kafountine en avril 2021

Les sédiments de surface des deux plages étudiées présentent un faciès sableux (*Figure 10*). Les fractions moyennes dominent les plages de Kafountine tandis que la fraction fine caractérise les sédiments superficiels des plages de Diembéring. Les fractions limoneuses et argileuses sont absentes dans les échantillons excepté

la plage de Kafountine dans une moindre mesure. Les limons apparaissent en faible quantité à Kafountine avec 8 % en surface et 2 % en profondeur du continent. À la plage de Kafountine, les sables moyens dominent en surface sur toute la toposéquence avec un pique de 70 % au niveau de la haute plage. 64 % des sédiments de surface du cordon littoral et de la basse plage sont classés comme sables moyens. À la plage de Diembéring, c'est la fraction fine qui domine dans les échantillons avec 72 % au niveau de la basse plage et 74 % sur le cordon littoral. Les sables grossiers sont totalement absents sur la plage de Diembéring. Cependant, il représente de faibles quantités comprises entre 1 % et 14 % sur les plages de Kafountine. Les sables très fins sont présents sur toutes les plages mais à des quantités variables. Ils sont absents à Diembéring à partir du cordon littoral jusqu'à la berme. Sur toutes les plages étudiées, les sédiments en profondeur sont formés essentiellement par une fraction fine. La taille des sédiments joue un rôle important dans la dynamique sédimentaire. Les sédiments fins sont facilement arrachés et transportés par suspension par les courants de dérive. Le transport sédimentaire est initié lorsque les contraintes de cisaillement ou les vitesses du courant dépassent le seuil de mise en mouvement des particules. Ce seuil est étroitement lié à la taille du grain, la nature du sédiment et la densité du fluide dans lequel il est transporté. Pour des conditions climatiques, hydrodynamiques et aérodynamiques données, la morphologie et l'équilibre sédimentaire d'une plage sur un site géographique donné dépend de la nature, de la granulométrie et de l'abondance des sédiments disponibles ainsi que des obstacles situés en amont. Cet équilibre sédimentaire est observé au niveau de la plage de Kafountine, caractérisées par un faible niveau d'énergie des vagues et des cordons dunaires, principales sources de sédiments des plages. La forte proportion de sédiments fins résulte d'un tri granulométrique à partir du cordon dunaire vers la berme. La prédominance des sables fins peut être liée également à la faiblesse de la pente de la plage. La pente de la plage contrôle les conditions de remise en suspension des sables fins. La granulométrie des sédiments montre bien qu'il existe un tri induit par les agents de transport sédimentaire. Généralement les sables des plages étudiées montrent une granulométrie moyenne et fortement représentée au niveau des cordons, hautes plages et basses plages des sites étudiés. Le classement des sédiments varie en fonction des plages. Les sables sont globalement bien classés à Diembéring. Les sables de la plage de Kafountine connaissent un classement variable évoluant entre bien classés, assez bien classés et moyennement classés. L'homogénéité et le bon classement des sables expliquent la régularité et la faible intensité de l'énergie des courants de transport et de dépôt [24]. Les courbes cumulatives des sédiments des différents sites étudiés sont sigmoïdales caractéristiques du faciès hyperbolique. Ce faciès indique une sédimentation faite par accumulation libre c'est-à-dire un dépôt qui s'est réalisé du fait d'une variation banale et modérée dans la compétence du courant de transport.



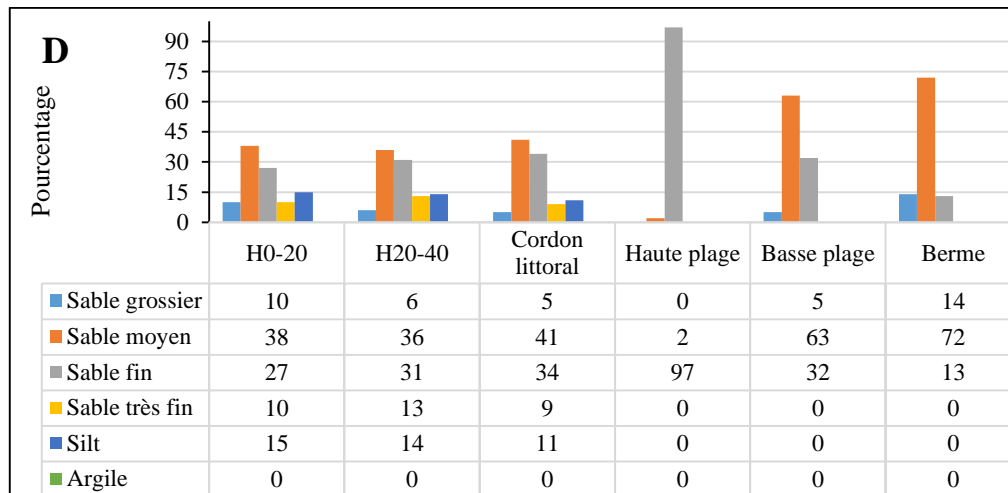


Figure 10 : *Fréquence des types de sédiments représentés en surface dans les plages de Kafountine (K), Diembéring (D)*

4. Discussion

Le ratio de faciès de diamètre inférieur à $62.5 \mu\text{m}$ ne dépasse pas 25 % pour tous les échantillons. Les courbes cumulatives sont en forme de S et possèdent un seul point d'inflexion. Une telle forme des courbes montre qu'on a un stock sédimentaire homogène, symétrique et avec différents classements [25]. Les valeurs de Mz varient entre 1.49 F et 2.76 F. Ces valeurs montrent que les sédiments prélevés pour tous les radiales sont des sables fins et moyens. Les faciès prélevés, classés comme sables fins représentent 75 % des stations. Ces résultats sont également en concordance avec ceux de [26] qui indiquent que la majorité des sables des plages en Basse Casamance est composée de sédiments fins. Ces sables fins sont observés au niveau du radiale de Kafountine sur le continent et la berme. En effet, plus la taille des grains est grande, moins le courant a la capacité de les transporter [26]. Les sables moyens représentent 25 % des stations de prélèvement que couvre la partie centrale du radiale de Kafountine. Les diamètres continentaux de surface des radiales de Kafountine et Diembéring sont légèrement supérieurs à ceux de l'horizon sous-jacent. Les radiales de Kafountine et de Diembéring sont marqués par un tri granulométrique à partir du cordon dunaire vers la berme. Le transport sédimentaire dans cette partie est généré par le courant de retour des vagues incidentes et obliques à la ligne de rivage. Il est assuré par les courants transversaux, qui déposent, lors du déferlement, les particules grossières près de la côte et au niveau de la plage berme peu profonde [27]. L'indice de classement varie entre 0.1 F et 1.4 F ce qui indique quatre types de classement [28], allant de mal classés à très bien classés. Les dépôts de ces faciès est aléatoire et est fonction d'un jeu de forces de l'agent de transport (éolien ou hydrique). Les sables modérément classés à très bien classés sont déposés dans les milieux à faible dynamique et leur accumulation suit la loi de Stokes [24, 25]. Les courbes cumulatives semi-logarithmiques des sédiments des deux plages ont toutes la forme d'un S à forte pente, bien redressé et bien régulier. Ceci montre qu'on a un stock sédimentaire homogène et des conditions d'énergie adaptées à la charge transportée [27]. La taille des grains de sables indique une légère granulo-décroissance à partir du continent vers le large. Ce tri granulométrique est dû essentiellement à l'effet combiné des vents dominants et aux vagues, particulièrement les courants de retour, qui mobilisent les particules de faibles tailles en bas d'estran [29]. La dynamique sédimentaire dans les plages étudiées étant assez importante, les sédiments sont constamment remis en suspension. Ces dépôts se font suite à une turbulence du fluide transporteur (vent ou eau) par effet aléatoire et/ou piégeage forcé [30]. L'homogénéité des faciès sur l'ensemble des radiales

étudiés indique que les apports sont assurés par un seul agent de transport soit hydrique ou éolien. Le diagramme de Passega appliqué aux sédiments indique que les sédiments sont essentiellement par saltation. Ces résultats sont en concordance avec ceux de [17] qui indique que 70 % des sédiments subissent un transport par saltation. Le diagramme Sk-Md montre que les sédiments des plages étudiées ont deux origines. Les apports issus des dunes continentales, constitués généralement par des sédiments d'érosion transportés par les cours d'eau débouchant dans les estuaires et les sédiments apportés par ravinement et ruissellement. Ce processus domine dans tous les fleuves de grande compétence, notamment en Basse Casamance. Il se traduit par une sédimentation fine très active jusque sur le rebord externe du plateau continental au large des estuaires concernés [17]. Le diagramme Md-So montre que la plupart des sédiments appartiennent au domaine de dunes côtières.

5. Conclusion

Cette contribution a permis d'analyser la dynamique sédimentaire, les caractéristiques granulométriques et sédimentologiques, le mode de transport et les environnements de dépôt des sédiments dans les littoraux sédimentaires de Kafountine et de Diembéring. L'analyse granulométrique des sédiments superficiels de la plage de Kafountine et de Diembéring montre que ces dernières sont couvertes par des sables fins, moyennement classés à bien classés. Ces sables se déplacent, essentiellement, par suspension gradée. Ils sont déposés dans un milieu peu agité avec évacuation des particules fines vers le large par les houles. Les analyses granulométriques indiquent une légère variabilité de la taille des grains. Les diagrammes Sk-Md et Md-So montrent que l'essentiel des sédiments proviennent des plages et dunes côtières. Les sédiments sont majoritairement transportés par saltation.

Références

- [1] - 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
- [2] - A. SOUMARE, "Étude comparative de l'évolution géomorphologique des bas-estuaires du Sénégal et du Saloum (approche par les données de terrain et de télédétection)", Thèse de doctorat, Université Cheikh Anta Diop, (1996) 265 p.
- [3] - I. NIANG-DIOP, "L'érosion sur la petite côte du Sénégal à partir de l'exemple de Rufisque : Passé-Présent-Futur", Thèse de doctorat, Université d'Angers, (1995) 477 p.
- [4] - C. BOUVIER, "Barres d'avant-côte et trait de côte : dynamique, couplage et effets induits par la mise en place d'un atténuateur de houle", Thèse de doctorat, Université de Bordeaux, (2019) 220 p.
- [5] - 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
- [6] - 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.
- [7] - 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

- [8] - 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 20 juillet 2022. URL : <http://journals.openedition.org/mappemonde/5939>
- [9] - A. A. SY, "Dynamique sédimentaire et risques actuels dans l'axe Saint-Louis-Gandiol, littoral Nord du Sénégal, littoral Nord du Sénégal", Thèse de Doctorat, Université Gaston Berger, (2013) 328 p.
- [10] - 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.
- [11] - 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
- [12] - M. SADIO, "Morphodynamique et aménagement des flèches littorales de la côte du Sénégal", Thèse de Doctorat, Université Cheikh Anta Diop, AIX Marseille Université, (2017) 375 p.
- [13] - 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.
- [14] - T. REY et C. FANGET, "L'inadéquation entre les temporalités côtières et le temps des décisions et des actions au l'exemple de la brèche de Barbarie", *Territoire d'Afriques*, N°10 (2017) 15 p.
- [15] - UICN, Les Mangroves du Sénégal : Situation actuelle des ressources, leur exploitation et leur conservation. Union Internationale pour la Conservation de la Nature, (2010) 66 p. http://www.ntipsoft.com/domaine_200/pdf/document_politique_senegal.pdf
- [16] - O. AMROUNI, "Dynamique sédimentaire des plages sableuses microtidales à barres et du trait de côte à plusieurs échelles spatio-temporelles", Habilitation universitaire en sciences géologiques, Université de Tunis El Manar, (2020) 115 p.
- [17] - 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.
- [18] - M. LEROUX, "Le climat de l'Afrique tropicale", Éditions Champions, Paris, Vol. 2, (1983) 631 p.
- [19] - 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.
- [20] - 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
- [21] - 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.
- [22] - R. PASSEGA, "Texture as Characteristic of Clastic deposition". *AAPG Bulletin*, 41 (9) (1957) 1952 - 1984
- [23] - R. J. MOIOLA & D. WEISER, "Textural parameters : an evaluation". *Journ. Sedim. Petrol.*, N°38 (1968) 45 - 53
- [24] - M. TOURÉ, B. C. KPAN, T. E. WANGO, S. MONDE et S. DOSSO, "Caractérisation pétro-sédimentaire des cordons littoraux fossiles d'assinie, côte d'ivoire", *Rev. Ivoir. Sci. Technol*, 27 (2016) 223 - 236
- [25] - A. ATOUI & M. BRAHIM, "Distributions granulométriques des sédiments de surface de la frange littorale du Ras Taguermess au Ras Marmour (Golfe de Gabès, Tunisie)". In : Conférence Méditerranéenne Côtière et Maritime. *Edition 1, Hammamet*, Tunisie, (2009) 75 - 78
- [26] - M. THIOR, T. SANÉ, O. SY, L. DESCROIX, L. G. NDIAYE, A. K. SAMBOU, D. CISSOKHO et B. SOLLY, "Caractéristiques granulométriques et dynamique sédimentaire entre les différentes unités géomorphologiques du littoral de la Casamance, Sénégal", *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 33 (2019) 189 - 213

- [27] - H. SAIDI, M. BRAHIM et M. GUEDDARI, "Caractérisation granulométrique et minéralogique des sédiments de surface de la frange littorale Sidi Bou Said - la Goulette", *Bull. Inst. Natn. Scien. Tech. Mer de Salammbô*, Vol. 31, (2004) 97 - 106
- [28] - M. BRAHIM, A. ATOUI, B. BEJAOU, "Étude de l'hydrodynamique sédimentaire de la lagune de Bizerte". *Revue Paralia*, Vol. 6, (2014) 1 - 14
- [29] - K. E. KHALIDI, A. MINOUBI, M. CHAIBI, B. ZOURARAH, F. LEONE and A. AAJJANE, "Caractérisation granulométrique de la plage sableuse de Sidi Moussa (côte atlantique marocaine)", *Travaux de l'Institut Scientifique*, Rabat, série générale, N°6 (2011) 37 - 44
- [30] - B. LOSSON et J. CORBONNOIS, "Les modes de sédimentation détritique : nouvelle méthode de détermination appliquée à des remplissages endokarstiques", *Geologica Belgica*, 9, 3 - 4 (2006) 257 - 265