

Hydrodynamique sédimentaire des plages adjacentes à l'embouchure d'Assinie (Sud-Est de la Côte d'Ivoire)

[Sedimentary hydrodynamics of the beaches adjacent to the mouth of Assinie (South-Eastern of Côte d'Ivoire)]

Casimir Beh Kpan, Paul Yao Assale, Aristide François Assiè Kouao, and Sylvain MONDÉ

Université Félix Houphouët Boigny, UFR Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STRM), Laboratoire Géologie Environnement Sédimentaire, Ressources Minérales et Énergétiques, 01 BPV 34 Abidjan 01, Côte d'Ivoire

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The aim of this work is to characterize the sedimentary hydrodynamics responsible for the morphological evolution of the beaches adjacent to the Assinie Passe. We opted a posteriori for a sedimentological approach based on granulometric analysis, for which fifty-four sand samples were taken from the three levels of the beach foreshores at varying depths, following four profiles of the two squares. These samples, subjected to physical and numerical processing, yielded graphs whose analysis reveals three granulometric stocks transported by rolling, graded suspension and saltation from coastal dunes and rivers. These predominantly fine sandy facies are « well classified », with acuity indices in the mesocurtic, platycurtic and rarely leptocurtic intervals. This approach shows that the beaches adjacent to the Passe of Assinie are governed by a relative sedimentary hydrodynamics, dominated by the combination of marine currents (tide and swell) and the contribution of fluvial currents. Knowledge of the sedimentary hydrodynamics of beaches adjacent to river mouth is fundamental to the monitoring of coastal erosion and the sustainable management of the evolving coastal environment.

KEYWORDS: sedimentary hydrodynamics, tide, swell, acuteness, foreshore.

RESUME: Ce travail a pour objectif de caractériser l'hydrodynamisme sédimentaire responsable de l'évolution morphologique des plages adjacentes à la passe d'Assinie. Nous avons choisi à postériori, une approche sédimentologique par l'analyse granulométrique, pour laquelle, cinquante-quatre échantillons de sable ont été prélevés aux trois niveaux des estrans à des profondeurs variables suivant quatre profils des deux plages. Ces échantillons, soumis aux traitements physique et numérique ont fourni des graphiques dont l'analysable révèle trois stocks granulométriques transportés par roulement, suspension gradée et saltation en provenance des dunes côtières et rivières. Ces faciès sableux majoritairement fins, sont « bien classé » avec des indices d'acuité se situant dans les intervalles mésocurtiques, platycurtiques et rarement leptocurtique. Il ressort de cette approche, que les plages adjacentes à la passe d'Assinie sont gouvernées par un hydrodynamisme sédimentaire relatif, dominé par la combinaison des courants marins (marée et houle) et l'apport du courant fluvial. La connaissance de l'hydrodynamisme sédimentaires des plages adjacentes à une embouchure, est fondamentale dans le suivi de l'érosion côtière et la gestion durable de l'environnement évolutif côtier.

MOTS-CLEFS: hydrodynamisme sédimentaire, marée, houle, acuité, estran.

1 INTRODUCTION

Les plages font partie d'un ensemble hydrosédimentaire complexe au sein duquel les paramètres géomorphologiques, hydrodynamiques et biologiques interagissent pour composer un système unique et propre à chaque plage [1]. Ces paramètres des plages dépendent de la configuration de la côte et de l'action de la mer et du vent (vagues, courants côtiers) qui caractérisent cet ensemble [2]. Ces caractéristiques naturelles déterminent l'hydrodynamique et l'évolution morphologique de toute plage à des échelles de temps et d'espace variées [3]. Soumis à cette forte activité hydrodynamique, les plages changent régulièrement de texture et de morphologie. Dans cette cellule littorale, la zone de l'estran joue un rôle très important sur la stabilité et sur l'évolution de toute la zone côtière [3]. En Côte d'Ivoire, les plages et particulièrement la zone de l'estran, ont fait l'objet de plusieurs études entre autres, [4], [5], [6], [7]. Toutes ces études ont pour facteur commun, la compréhension de l'écosystème littoral pour une gestion durable de la zone côtière vulnérable. Dans cette vision commune, le littoral et particulièrement les plages d'Assinie pose problème du fait que, situé dans une zone longtemps considérée comme stable, il montre actuellement des signes inquiétants d'érosion [8] et de variation morphologique entraînant la migration du grau. En effet, le segment Ouest a particulièrement enregistré un taux moyen de recul de 1,85 m/an, avec la destruction des infrastructures, notamment des routes, des habitats et de la perte d'activités économiques de 1990 à 2007 [8], contrairement à celui de l'Est qui a subi un engraissement d'une vitesse moyenne de 3,5 m/an au cours de cette même période [9] et jusqu'à ce jour. Par ailleurs, il faut noter qu'Assinie a une plage basse régulièrement submergée par les vagues de grande vive-eau [10]. Cette situation dans laquelle, érosion, engraissement et submersion se succèdent en période de temps agité et de beau temps [9], semble si préoccupante que des experts ivoiriens préparent un plan de protection de cette zone contre les aléas littoraux [8]. Les réalités observées de cette apparence contradictoire [8] du littoral d'Assinie, et en raison de son importance économique et environnementale, il est impératif que l'hydrodynamique sédimentaire de cette zone côtière soit explorée dans une perspective de gestion et de conservation durable, comme [11] l'a suggéré pour littoral charentais. Ainsi, la préservation des aptitudes naturelles de ces milieux, tout en assurant leur meilleure gestion et exploitation [12], requiert la compréhension des mécanismes hydrodynamiques dont ils sont le siège. Cette étude a donc pour objectif de caractériser l'hydrodynamisme sédimentaires des plages adjacentes à l'embouchure d'Assinie, par une approche granulométrique. Depuis le siècle dernier, les sédimentologues ont étudié et déterminé les paramètres physiques des sédiments par l'analyse granulométrique [13]. Car à partir des changements spatiaux des indices granulométriques des sédiments (le grain moyen, le classement et l'asymétrie), il est possible selon [3] de décrire l'hydrodynamisme local et d'identifier le sens du transport épisodique de sédiments. Selon [13], ces caractéristiques sont liées à la source ou origine, à la nature et sont affectées par le transport et l'environnement de dépôt du sédiment à déterminer.

2 MÉTHODOLOGIE

2.1 PRÉSENTATION DES PLAGES ADJACENTES À LA PASSE D'ASSINIE

L'embouchure d'Assinie est l'ouverture de la passe d'écoulement hydraulique des eaux de la mer du Golfe de Guinée vers la lagune Aby, et des eaux douces en provenance des cours d'eau Tanoé et la Bia vers la mer. La Figure 1 ci-dessous présente la situation géographique et la localisation de la passe, prolongeant la mer sur le continent dans le bassin sédimentaire à l'extrême Sud-Est de la Côte d'Ivoire. En amont, ces deux cours d'eau jettent leurs contenus hydrosédimentaires dans la lagune et en aval, la mer communique avec cette même lagune à travers la passe au cours des cycles de marée [14]. Elle couvre une superficie d'environ 1,52 km², un périmètre de 8,74 km (passe unique) et est située dans une plaine littorale du bassin sédimentaire ivoirien, constituée de cordons sableux anciens. Le climat régnant sur la zone d'étude est de type équatorial de transition avec quatre saisons engendrées par le front intertropical [15], [16], [14]. De Décembre à fin Mars, nous avons la grande saison sèche; d'Avril à mi-mai, on a la période de transition; de mi-mai à mi-juillet, on a la période grande saison des pluies [15], [16], [14], [17].

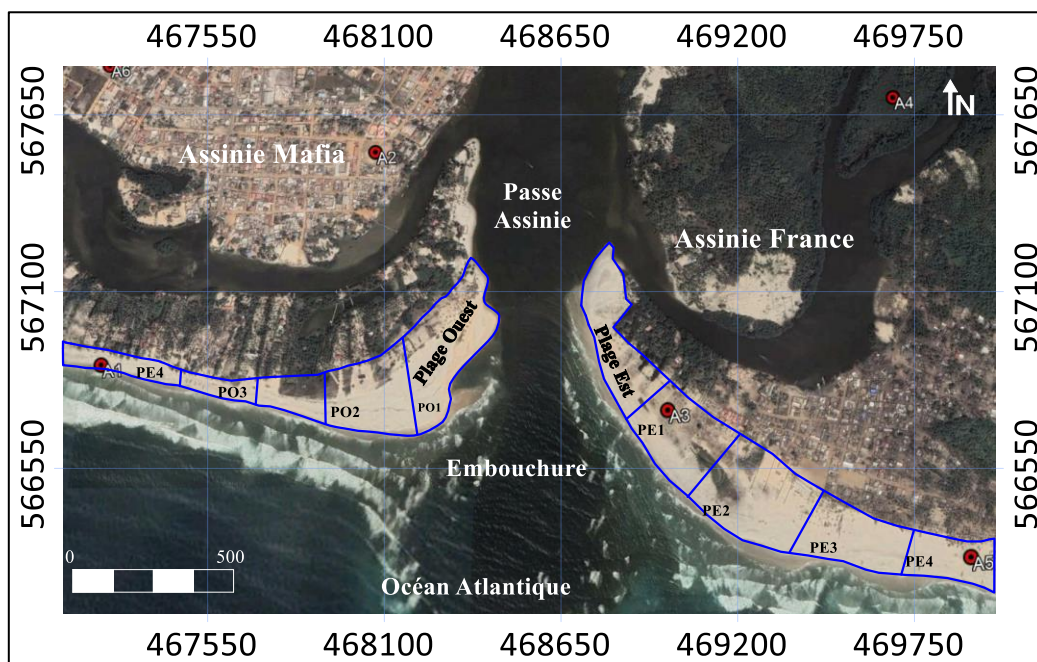


Fig. 1. Zone d'étude Google Earth, NOA. CNES/Attribus [18]

2.2 ECHANTILLONNAGE

Les échantillons sableux de cette étude, ont été prélevés mécaniquement à l'aide d'une tarière manuelle au cours d'une campagne pendant un cycle de marée. Sur ces deux segments de plage de part et d'autre de l'embouchure de la Figure 1 ci-dessus, cinquante-quatre (54) échantillons de sédiments ont été prélevés sur un (01 m) d'épaisseur à trois (03) niveaux de l'estran, suivant quatre (04) profils séparées d'un (01) kilomètre.

2.3 ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

Deux traitements ont précédé l'analyse granulométrique et l'interprétation des résultats:

- Le traitement physique dit préparatif consiste à un lavage à l'eau douce et un tamisage à sec du sable dans une colonne de tamis montée sur un tamiseur à vibration. Le tamisage porte sur une fraction de 100 g et dure dix (10) minutes sur le tamiseur. Les refus des différents tamis étant soigneusement recueillis et pesés. Les masses des fractions obtenues par peser sont soumis au traitement numérique.
- Le traitement numérique utilise des outils informatiques plus ou moins sophistiqués, élaborés par AFNOR sous EXCEL. Le complément Excel, GRADISTATv8.xls, a donc permis de calculer tous les paramètres et indices granulométriques selon [19], [20], [21].

2.4 MODE DE TRANSPORT DES SÉDIMENTS

Le diagramme de Passega [22], connu sous le nom de l'enveloppe de Passega permet de caractériser la relation entre la taille d'une particule, son mode de transport et les conditions de son dépôt. Dans ce diagramme, l'ordonnée, le premier percentile est la dimension à laquelle 99% du sédiment sont inférieurs dans une fréquence cumulative décroissante et l'abscisse est la valeur de la médiane (en μm) de la distribution granulométrique. Les cinq (05) portions de l'enveloppe permettent de distinguer les modes de transport des sédiments des plages d'Assinie. La portion (NO), représente les grains grossiers transportés par saltation ou roulement, les portions (OP), (PQ), (QR), indiquent le domaine sableux aux particules moyennes transportées par saltation, la portion (RS), représente un transport en suspension gradée des particules fines.

3 RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 PARAMÈTRES ET INDICES GRANULOMÉTRIE DU SABLE DES PLAGES

3.1.1 MOYENNE GRANULOMÉTRIQUE DU SABLE DES PLAGES

Le sable des plages d'Assinie présente une granulométrie globalement fine en surface avec une taille moyenne inférieure à 250 micromètres (Figure 2), telle que révélée par [8].

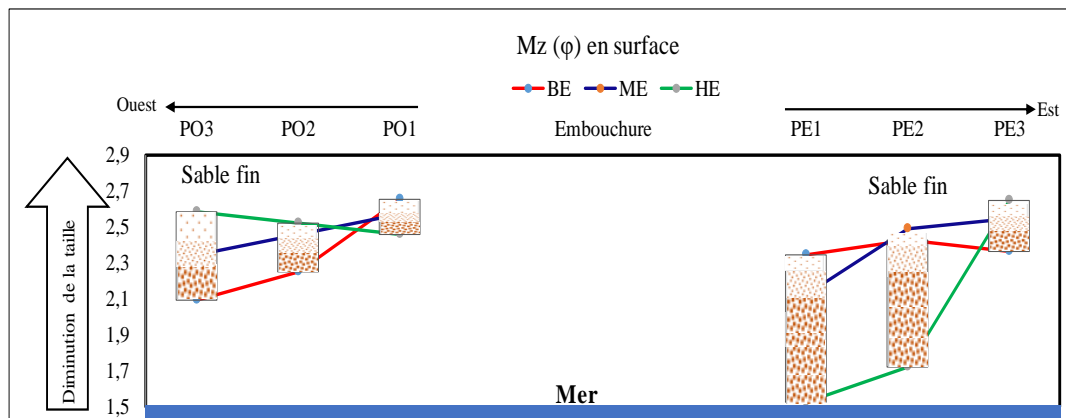


Fig. 2. Répartition schématique de la moyenne granulométrique du sable des plages

Ce fait majeur qui témoigne que le comportement du mélange des grains serait dominé par la fraction fine comme dans [23] révèle d'autres caractéristiques pour des études plus détaillées prenant en compte les échantillons d'une épaisseur conséquente des segments de plages adjacentes à l'embouchure. Ainsi, plus proche de l'embouchure, la taille des grains augmente du bas au haut estran. Et plus, on s'éloigne de l'embouchure, la tendance change de sens, le grain moyen devient plus en plus petit du bas au haut estran. Ces changements spatiaux des indices granulométriques des sédiments à l'estran de plages ont également été mis en évidence par [3]. Il ressort donc qu'à proximité de l'embouchure, les particules de grande taille sont transportées plus loin que les fines, alors que, plus on s'éloigne de l'embouchure, les particules marines sont transportées et déposées suivant un gradient décroissant du diamètre. En effet, on a une augmentation de la taille des grains de 2,6 à 2,1 (ϕ), au bas et mis estran et une diminution de 2,4 (ϕ) à 2,6 (ϕ) au haut estran de la passe vers l'Ouest alors que vers l'Est, la taille des grains augmente à tous les niveaux de l'estran. Afin de connaître cette variation granulométrique à l'échelle saisonnière, l'analyse sur un mètre (1m) d'épaisseur, fournit des courbes aux allures presque uniformes présentées par la Figure 3 ci-dessous.

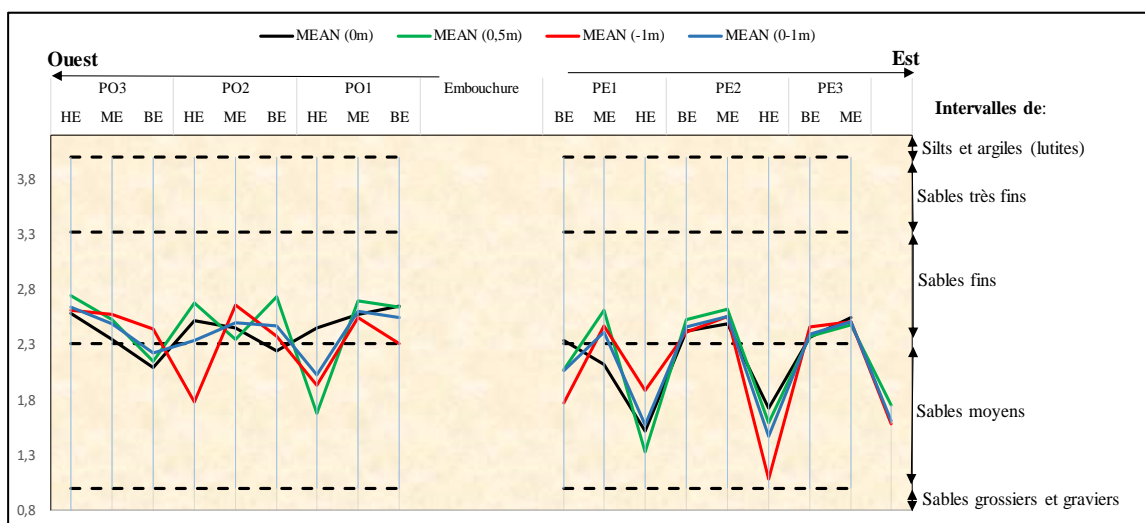


Fig. 3. Répartition de la moyenne granulométrique du sable des plages

L'hydrodynamisme naturel faible, régulier presque uniforme à court terme (pour l'épaisseur considérée) serait à l'origine d'une distribution spatio-temporelle régulière avec des grossiers en haut de pente faible aux environs de la passe. Par ailleurs, l'existence des grains plus grossiers ($1,5 \phi$) plus proche de l'embouchure à l'Est qu'à l'Ouest traduirait que cet hydrodynamisme naturel au niveau de l'embouchure serait fortement perturbé par un second facteur de forte énergie (la houle) plus orienté vers l'Est. Aussi, la constance et la régularité du courant de marée, laisse penser que le segment Est, serait soumis à une troisième composante continentale fluviale. Le régime fluviale serait à l'origine de la différenciation de tendance entre ces deux segments de plage. Ce qui aurait pour conséquence, une inégale répartition de l'énergie dissipée et de stock sédimentaire au niveau des deux segments de plage. Les variations contraires par endroit, seraient liées aux sédiments ruisselés des dunes en amont des plages. Abordant dans le même sens [3] affirme qu'au niveau des plages, il y a une action différenciée de l'hydrodynamisme, dans le temps et dans l'espace en fonction de la marée. Ce qui veut dire que, les embouchures seraient des lieux de grande importance hydrodynamique dans toute zone littorale. Un lieu de consommation hydro-énergétique dont le disfonctionnement impacterait plus ou moins toute la zone littorale. Dans notre zone d'étude, les eaux douces qui transitent par l'estuaire Aby constitueraient de véritables sources pourvoyeuses de sédiments terrigènes au profit du delta de jusant et vraisemblablement des eaux ghanéennes par le côté Est. Par ailleurs, le long des profils plus éloignés de la passe, la taille des grains diminue fortement du mis au haut estran et augmente légèrement du bas au mis estran. De telles tendances permettent de déduire que l'hydrodynamisme est marqué par une diminution progressive d'intensité lorsqu'on s'éloigne de la passe des deux côtés, du bas au mi estran, contrairement au haut estran. Un courant régulier entraînant les grains de moins en moins fins vers le haut. Ce courant de transport et de dépôt édifierait des séries de progradation dans le temps et dans l'espace à l'Ouest et de rétrogradation à l'Est proche de l'embouchure. Cela explique l'importance de l'estran des plages adjacentes à l'embouchure sur la stabilité et l'évolution de la zone littorale telle qu'affirmé par [3]. Cette importance s'explique par le fait que, dans cette partie, les houles, la marée, les courants et le transport sédimentaire sont mutuellement dépendants et interagissent pour façonner la plage à des échelles de temps et d'espace variées selon [24] dans [3]. Ainsi, sous l'action de ces facteurs hydrodynamiques, le sable est arraché du fond des hydrosystèmes côtiers, transporté par l'écoulement puis redéposé en permanence au niveau des plages adjacentes à l'embouchure. Ainsi, soumis à cette forte activité hydrodynamique de ces facteurs tels que révélés par [3], la plage change régulièrement de texture et de morphologie en fonction des saisons marines et continentales. Dans ce contexte hydrodynamique, l'aptitude des sédiments à être remobilisés dépend de la distribution granulométrique des grains au niveau des zones immergées. Et l'action des courants (flot et jusant) lors des processus de transite modifie la distribution du sédiment initial par enlèvement d'une partie plus ou moins importante des grains qui le constituent telle que décrit par [25] dans [3].

3.1.2 INDICE DE CLASSEMENT DU SABLE DES PLAGES

Tout comme la moyenne granulométrique, l'indice de tri ou de classement ou Sorting index (σ_i) renseigne également sur l'hydrodynamisme lors du dépôt du sédiment. Nous l'avons utilisé dans le but de confirmer les résultats précédents ou de fournir d'autres informations complémentaires. En effet, le tri granulométrique des sables est fonction des pentes et de l'action des facteurs qui transportent les sables selon [26]. Les faciès sableux à l'estran des plages adjacentes à la passe d'Assinie, présentent différents intervalles de classements selon la situation du point d'échantillonnage par rapport à l'embouchure et la mer sur la Figure 4.

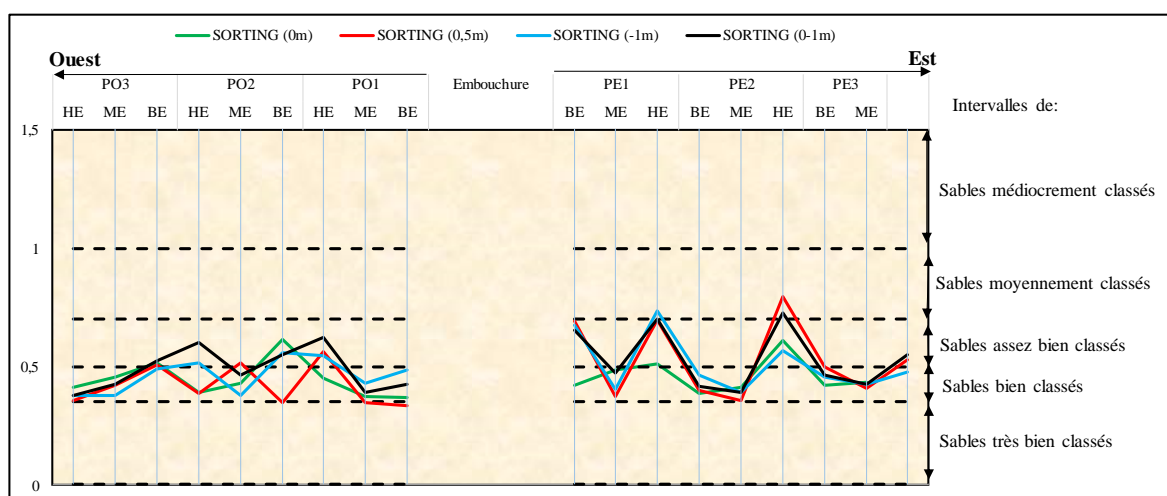


Fig. 4. Intervalles de classement du sable des plages d'Assinie

À l’Est, les sables sont « moyennement classés » proche de l’embouchure au haut estran et « assez bien classés », « bien classés » loin de l’embouchure du bas au mi estran. Les sables du segment Ouest, sont « bien classés » et « assez bien classés » à tous les niveaux de l’estrans tel que mis en évidence par [27], [10], [14]. La corrélation avec la variation du grain moyen montre que les sables « moyennement classés » au haut estran du premier et deuxième profil à l’Est sont grossiers alors que les particules fines et moyennes sont classées dans l’intervalle « bien classées » à « assez bien classés ». Ces classements sont caractéristiques d’un environnement peu agité à l’origine d’un hydrodynamisme dominé par un courant régulier et faible et rarement fort à l’Est de la passe (Figure 5). Le segment de plage Est, serait en constance engraissement contrairement au segment Ouest en équilibre morphologique tel que mis en évidence par [9]. Ces remplissages sédimentaires seraient aussi liés à l’absence des facteurs d’hétérométrie des particules sédimentaires qui concentreraient des particules des toutes tailles dans les plages environnantes de la passe. Les estrans des plages d’Assinie sont constitués de remplissages sédimentaires naturels ne témoignant pas d’impact anthropiques majeurs. Cette régularité de courant faible, moyen et rarement fort, résumé par la Figure 5, favoriserait la sédimentation de fortes épaisseurs de sédiments au-delà d’un mètre d’épaisseur. Ces résultats confirment en partie ceux de [26], qui dit qu’en fonction du tri granulométrique à l’estrans des plages, les plus grossiers sont transportés vers les côtes et les sables les plus fins sont évacués vers le large par le courant sagittal lors de déferlement. Par ailleurs, le classement moyen des grossiers à l’est de l’embouchure au haut estran et de plage, laisse penser que cette fraction grossière dans les sédiments bien classés, serait d’origine fluviale au cours des périodes de crue.

Description																						
Ouest									Embouchure			Est										
PO3			PO2			PO1						PE1		PE2		PE3						
HE	ME	BE	HE	ME	BE	HE	ME	BE				BE	ME	HE	BE	ME	HE	BE	ME	HE		
Courant fort			Courant régulier			Courant régulier			Courant faible			Courant fort			Courant régulier		Courant régulier		Courant régulier		Courant faible	

Fig. 5. Description schématique des courants de dépôt du sable des plages à la passe.

3.1.3 INDICE D’ASYMÉTRIE DU SABLE DES PLAGES

Il donne le degré d’asymétrie de la courbe de distribution par rapport à la médiane et renseigne sur l’enrichissement en particules grossières et fines [28]. Ce paramètre de confirmation des deux précédents, est un indicateur de l’environnement de dépôt sédimentaire. Dans les plages adjacentes à la passe d’Assinie, trois principales tendances se dégagent à travers trois intervalles de valeurs de skewness présentés par la Figure 6 ci-dessous.

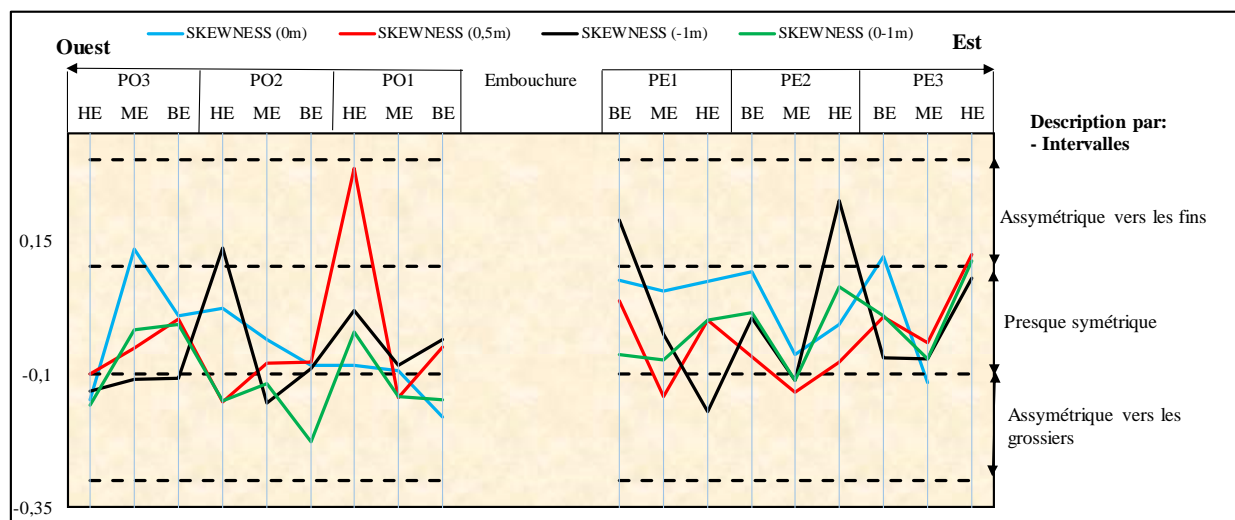


Fig. 6. Intervalles d’asymétrie du sable des plages d’Assinie

Un asymétrique vers les fins, un presque symétrique et un asymétrique vers les grossiers (grains moyens dans notre cas). En outre, une quatrième tendance exceptionnelle avec un très-très asymétrique vers les grossiers caractérise le sable du haut estran des profils éloignés à l'Est de l'embouchure. À l'ouest, le sable d'une épaisseur d'un mètre (01m) présente dans l'ensemble un Skewness positif proche de l'embouchure. Ici, la fraction grossière (sable moyen dans notre cas) est plus importante donc mieux classée que la fraction fine. Et un Skewness négatif plus loin, excepté au mis et haut estran du premier profil où la fraction fine est mieux classée que la fraction grossière (sable moyen dans notre cas). Ces valeurs de Skewness se situent dans trois (03) intervalles. Suivant premier profil proche de l'embouchure à l'Ouest, les fractions fines et grossières sont classées symétriquement par rapport à la médiane pour les sables du bas et mis estran, excepté le haut estran qui a une symétrique vers les grossiers. Ensuite, suivant le deuxième profil à l'Oust, on a un asymétrique vers les fins au bas estran, puis un presque symétrique au mis et haut estran. Enfin, suivant les derniers profils, on a un « très asymétrique vers les grossiers » au bas estran et un asymétrique vers les grossiers au mis et haut estran. La fraction fine est mieux classée que la fraction grossière à l'estran. À l'Est, le sable d'une épaisseur d'un mètre (01m) présente dans l'ensemble un Skewness négatif à tous les niveaux de l'estran. Ces différentes valeurs de Skewness se situent principalement dans deux intervalles. Suivant le premier profil, on a un asymétrique vers les grossiers (sable moyen) au bas estran, un presque symétrique au mis estran, et un asymétrique vers les grossiers (sable moyen) au haut estran. Suivant le deuxième profil, on a un asymétrique au bas et haut estran, intercalé par un symétrique au mis estran. Enfin, suivant les profils plus éloignés de l'embouchure, on a un asymétrique au bas et mis estran et un très-très asymétrique au haut estran. En surface, le faciès sableux est presque homogène à proximité de l'embouchure avec un assemblage de grains moyens et fins. Mais lorsqu'on s'éloigne de l'embouchure, il se produit une variation brusque d'asymétrie vers les fins et vers les grossiers au niveau des profils éloignés, du bas au mis estran. Ainsi, à l'Est, d'un assemblage moyens-fins proche de l'embouchure, on passe brusquement à un assemblage grossiers-fins du mis au haut de plage. Les grossiers sont allés plus loin que les fins. Cela est impossible s'il s'agit d'un même courant de transport selon la loi de Stock et Rivière [29]. Nous pouvons donc déduire un changement brusque dans l'hydrodynamisme sédimentaire dû à un courant plus fort qui s'ajouterait au courant régulier à cet endroit. L'analyse des autres courbes ne donne pas d'explications contraires, aux changements brusques de conditions hydrodynamiques en cet endroit. Les plages à proximité de l'embouchure sont des zones soumises temporellement aux changements brusques dans les conditions hydrodynamiques sédimentaires. Les changements de tendance de part et d'autre de l'embouchure seraient dus aux facteurs de fortes énergies (houles) qui s'ajouteraient et/ou se combineraient aux courants réguliers (de marée) dans la zone. Cela est à l'origine du régime variable de vent qui engendrerait des vagues de vent, de houle et de la combinaison des deux dans cette région. Ces facteurs, quand ils se combinent aux courants de marées déjà régulier, sont à l'origine d'un hydrodynamisme fort et régulier sur les plages et dans la passe. En pleine mer, leurs actions ont deux effets au niveau des plages à proximité d'une embouchure. Quand ils s'additionnent aux courants de marées, on aura une asymétrie irrégulière à sens unique vers les grossiers (bas-mis-haut estran). Ces sédiments seraient bien classés. Quand ils ne s'additionnent pas aux courants de marées, on aura une discordance d'asymétrie. Le long d'un profil à l'estran, on a une asymétrie vers les fins au bas estran et une asymétrie vers les grossiers à partir du mis estran. C'est ce qui expliquerait la variabilité des allures de courbes sur une épaisseur d'un mètre (1m). Cette variabilité des allures de courbes d'asymétrie traduit ainsi la variabilité morphologique des embouchures et de sources sédimentaires diverses. Selon [28], les variations d'indices d'asymétrie de grossières aux fines à l'estran des plages témoignent l'influence de plusieurs sources d'apports sédimentaires avec des courants de différentes intensités mais généralement faibles dans le milieu de dépôt. Ces facteurs dominants gouvernent le fonctionnement et l'évolution des embouchures de types hydrodynamiques telle que celle d'Assinie. Ces résultats, corroborent ceux de [30] dans [28] selon lesquels, les brusques changements de l'énergie et de la compétence du courant d'écoulement à l'estran des plages, provoquent l'alternance de niveaux sableux et un mélange de sédiments fins, moyens et grossiers.

3.1.4 INDICE D'ACUITÉ DU SABLE DES PLAGES

L'indice d'acuité ou Kurtosis (KG) est l'indice du mode d'une série statistique représentée sous forme de courbe de fréquences. Il mesure l'angulosité ou l'allure de la courbe des fréquences. Parmi plusieurs auteurs qui ont établi des formules de calcul de cet indice, nous avons utilisé celle en unité phi (ϕ) comme [29]. Ils ont caractérisé trois principaux intervalles de valeurs de cet indice: les intervalles de [0.90 à 1.11], de [1.11 à 1.50] et de [0.67 à 0.90] définissent des courbes respectivement mésocurtique (ou mésokurtique), leptocurtique et platicurtique. Le mode granulométrique étant la classe qui a plus d'effectifs ou d'éléments exprimés sous forme de fréquences (en %), les distributions granulométriques autour du mode correspondraient respectivement aux distributions, ni dispersée, ni concentrée; concentrée et dispersée. La Figure 7 ci-dessous montre les indices d'acuité du sable des plages d'Assinie.

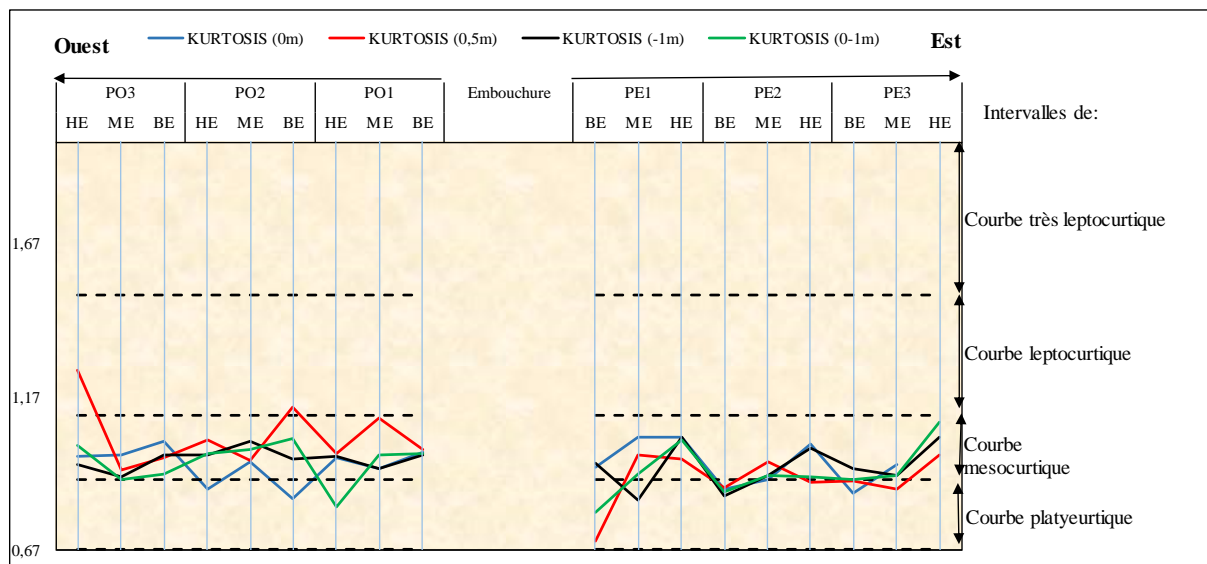


Fig. 7. Variation des indices d'acuité des sables des plages adjacentes à la passe.

Ainsi, au niveau des plages adjacentes à l'embouchure d'Assinie, on a les distributions suivantes: En surface (courbe bleue), aux abords de l'embouchure, la distribution est mixte et quand on s'éloigne de l'embouchure des deux côtés, la distribution est relative et vacille entre mixte et dispersée. Sur toute l'épaisseur d'un mètre (1m) (courbe verte), on a une distribution mixte à l'Ouest, excepté au haut estran du premier profil, tandis qu'à l'Est, elle est dispersée et mixte, proche de l'embouchure et reste mixte plus loin. Les courbes des indices d'acuité du sable des plages aux abords de la passe se situent dans les intervalles de courbes mésocurtiques, platycurtiques et leptocurtique. Ces différentes catégories d'indices d'acuité correspondent aux distributions, ni restreints, ni dispersés (mésos) et dispersés dans les classes granulométriques de grains fins et moyens de ces plages. Ces valeurs ainsi obtenues informent sur la qualité du classement et sur la multiplicité de différentes sources d'apports telles que révélées par [28]. Trois stocks granulométriques ont été révélés par endroit, suivant les profils et par différents niveaux de profondeur à l'estran. À l'Ouest de la passe d'Assinie, l'épaisseur d'un mètre de sable proche de l'embouchure, est unimodale aux différents niveaux de l'estran, excepté le haut estran, bimodal. Ces ensembles laissent entrevoir une variation hydrodynamique plus ou moins contrastée et à partir de diverses sources d'approvisionnement tel que révélé par [28]. Une telle variation peut aussi trouver son origine dans les changements saisonniers du régime hydrologique des cours d'eau (Bia et Tanoé) liés à la variabilité pluviométrique et au chemin du transit littoral à Assinie sans obstacles majeurs telle que signifiée par [28]. La Figure 8 ci-dessous présente cette variabilité des modes et les types de mode des sables des plages de la passe d'Assinie. Les grossiers trimodaux (565 μm) et bimodaux (462,5 μm), particulièrement au haut estran et de plage à l'Est de l'embouchure témoignent l'apport fluvial.

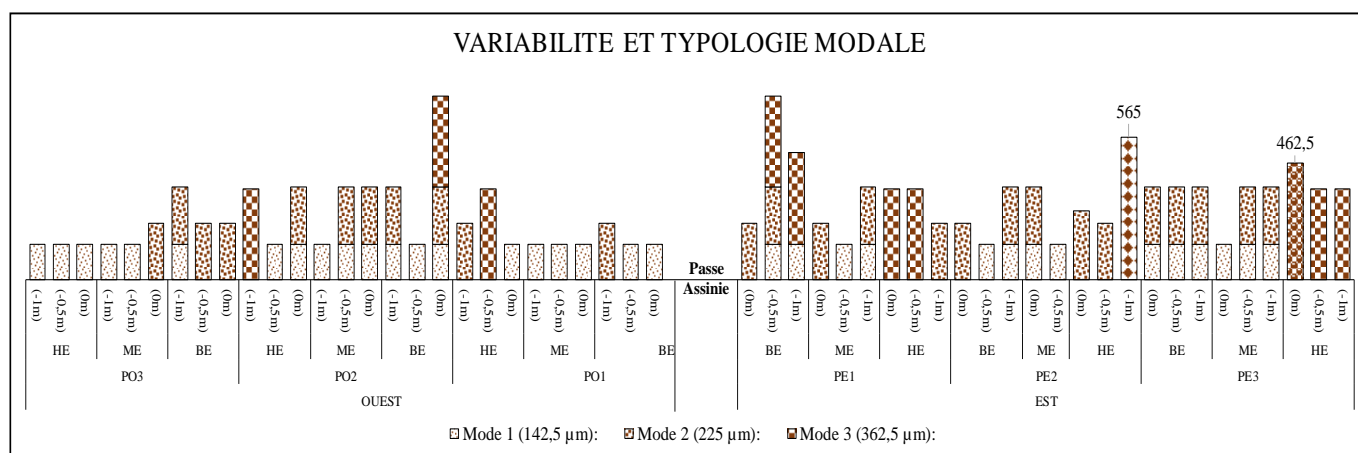


Fig. 8. Variabilité et typologie modale des faciès sableux des plages de la passe

3.1.5 ORIGINE DES SÉDIMENTS DE PLAGES

La représentation couplée des indices granulométriques (en unité ϕ) du sable de surface et celui de toute l'épaisseur d'un mètre, révèle que les sédiments de plages actuelles d'Assinie se sont déposés majoritairement dans des paléoenvironnements de plage, de dune côtière et de dune ou rivière. (Figures 9). Trois cas de figure se présentent dans ces représentations d'indices granulométriques. L'utilisation successive et l'analyse objective de ces diagrammes obtenus comme [31], [32] permettent de tirer profit de ces données à travers les indices granulométriques qui en résultent. Il ressort que tous les sédiments seraient déposés dans un environnement de dune côtière (a), et de plage (b). En prenant en compte, leurs classements, la majorité des sédiments « bien classé » et « assez bien classé » seraient déposés dans un environnement de plage, alors que les sédiments « moyennement classé » du haut estran seraient déposés dans un environnement de dune ou de rivière (c et d). Etant donné que ces sédiments ont été directement échantillonnés à la plage actuelle, les différents environnements de dépôt mis en évidence, expliqueraient le ou les origine (s) antérieures ou sources des sédiments. Ainsi, on aurait un transport suivant un gradient décroissant de la taille des particules sédimentaires dans une zone côtière (a). Les données utilisées permettent de fixer les limites extérieures maximales de la zone d'analyse concernée. Il s'agit d'une échelle globale d'approche. Ensuite, le diagramme (b), précise que dans cette zone côtière, le transport a lieu dans un environnement de plage. Ce qui sous-entend l'impact des forçages marins, à l'origine des sédiments majoritairement moyens, fins, très fins distribués dans ces plages.

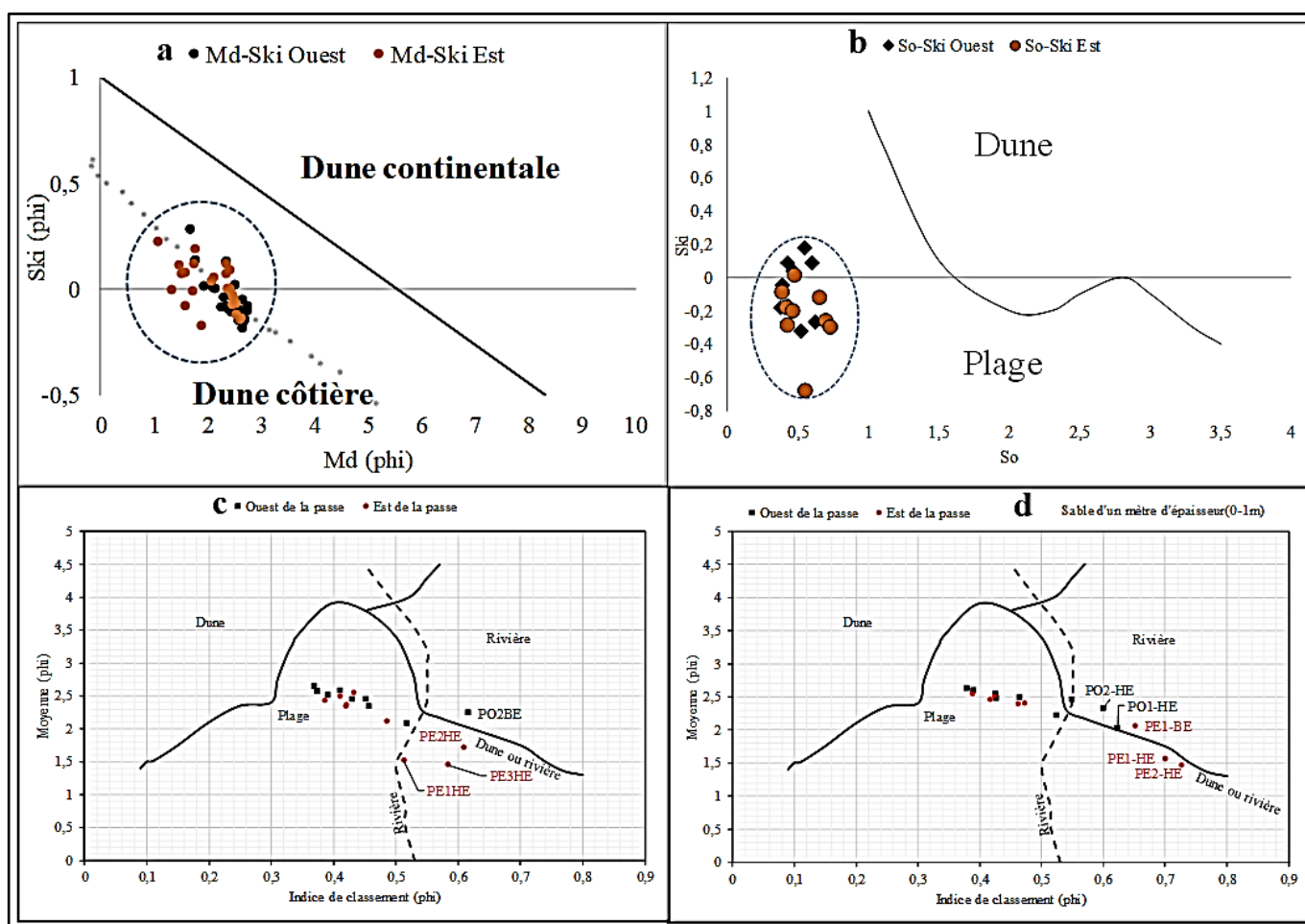


Fig. 9. Représentation couplée des indices granulométriques (en unité ϕ) du sable de surface et de toute l'épaisseur d'un mètre

Avec ce diagramme, les données définissent une échelle plus restreinte correspondante à un niveau d'analyse le plus pertinent. Enfin, les diagrammes (c) et (d), révèlent que, les sédiments « fins », bien classé et assez bien classé, se seraient déposés dans un environnement de plage, particulièrement au bas et mis estran, alors que les grossiers (moyennement classé), seraient déposés dans un environnement de dune ou rivière au haut estran. Avec ce diagramme, les données précisent une zone d'étude particulière locale. Les sédiments moyens, fins et très fins des plages actuelles proviendraient de la mer, des

dunes sableuses anciennes (cordons littoraux fossiles) qui coexistent avec les hydrosystèmes lagunaires et canaux de vidange, alors que les sédiments grossiers proviendraient des apports fluviaux estuariens en amont, en plus de ceux du transit littoral.

4 MODE DE TRANSPORT DES SABLES DES PLAGES DE LA PASSE

Pour la détermination du mode de transport, nous avons utilisé le diagramme de la médiane en fonction du diamètre du premier centile (en μm), connu sous le nom de l'enveloppe de Passega [22] (Figure 10). On remarquera que la dispersion des points n'épouse pas exactement l'enveloppe de Passega, mais ils occupent dans une certaine mesure les portions QP et PO. Cette analyse permet de déduire que, le transport de ces sables des plages de la passe d'Assinie se fait généralement par roulement (grossiers) et suspension gradée (PO) (fins) et dans une moindre mesure par saltation (grains moyens) (QP).

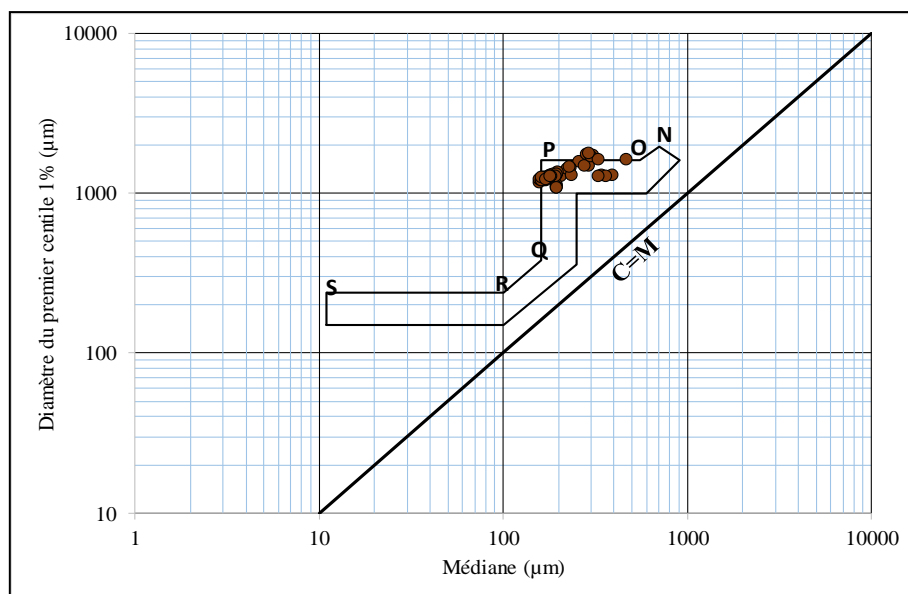


Fig. 10. Diagramme C/M de Passega [22] pour les sédiments des plages de la passe

5 FACIÈS GRANULOMÉTRIQUES DES SABLES DES PLAGES DE LA PASSE

Les faciès granulométriques permettent de décrire les conditions hydrodynamiques sédimentaires par comparaison avec les courbes cumulatives de références [33]. En effet, avec l'utilisation des paramètres granulométriques et du diagramme de Passega, [34], a pu associer ces différents faciès avec des conditions hydrodynamiques de dépôts. Dans notre cas, les faciès sableux des plages adjacentes de la passe d'Assinie présentent des différences qu'on soit à l'Ouest ou à l'Est de l'embouchure et permettent d'établir une relation hydrodynamique dune-plage-mer.

5.1 FACIÈS GRANULOMÉTRIQUES DU SABLE DE HAUT DE PLAGES À L'OUEST DE LA PASSE

À l'Ouest, les sédiments sont caractérisés par deux groupes de courbes cumulatives ayant la forme d'un S à forte pente du domaine sableux. Ils débutent par une légère partie grossière basse, et se terminent par une fraction fine dans le domaine de silts grossiers. Ces courbes correspondent aux faciès paraboliques qui traduisent des conditions de dépôt dans un courant relativement rapide telles que signifiées par [33]. La fraction grossière au bas de la distribution granulométrique est témoin de cette action spontanée. Le décalage entre ces deux groupes de courbes, traduit non seulement un écart important entre deux diamètres des grains de sables, mais également deux stock sableux [26] à l'estran du segment Ouest de plage.

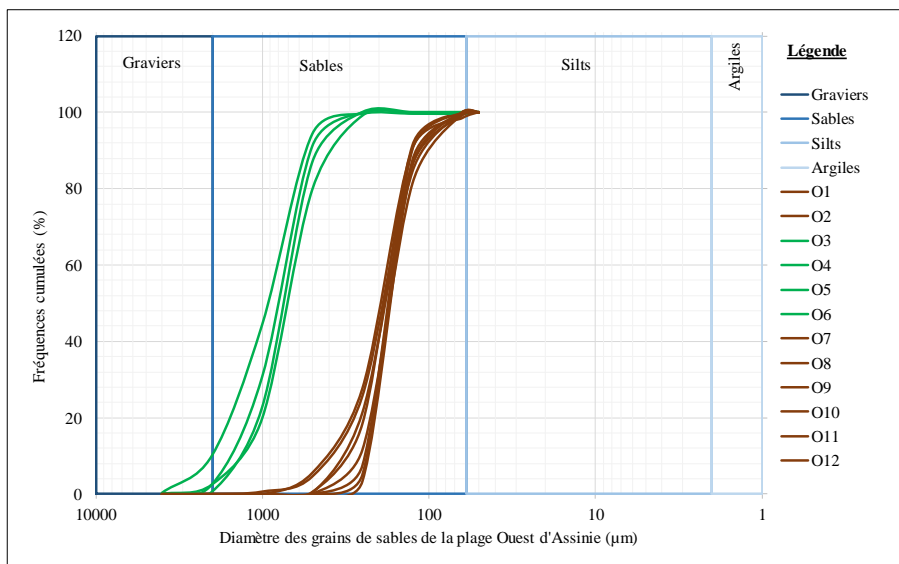


Fig. 11. Faciès hyperboliques du sable de haut de plage à l'Ouest de la passe

Ces deux stocks sont caractérisés par un courant de dépôt relativement rapide de houle (pour les grossiers) et un courant de l'étalement de pleine mer de longue durée (pour les fins) tel que mis en évidence par [3]. Ces faciès correspondraient aux sédiments déposés par excès de charge et caractérisent les sables triés au cours d'un transport dans un milieu peu agité. La fraction fine du domaine de silts grossiers caractérise les faciès hyperboliques des autres faciès du fait que la sédimentation a lieu dans un environnement de décantation à l'étalement de pleine mer.

5.2 FACIÈS GRANULOMÉTRIQUES DU SABLE DE PLAGE À L'EST DE LA PASSE

À l'Est, les sédiments sont caractérisés par trois catégories de faciès paraboliques à forte pente des domaines graviers et sables. Ils commencent ensemble, par une fraction très grossière dans le domaine « graviers » et se terminent à 100% dans le domaine « sable » en fraction fine, contrairement à celles de l'Ouest qui se terminent en domaine « silts », avec une très forte pente (Figure 12).

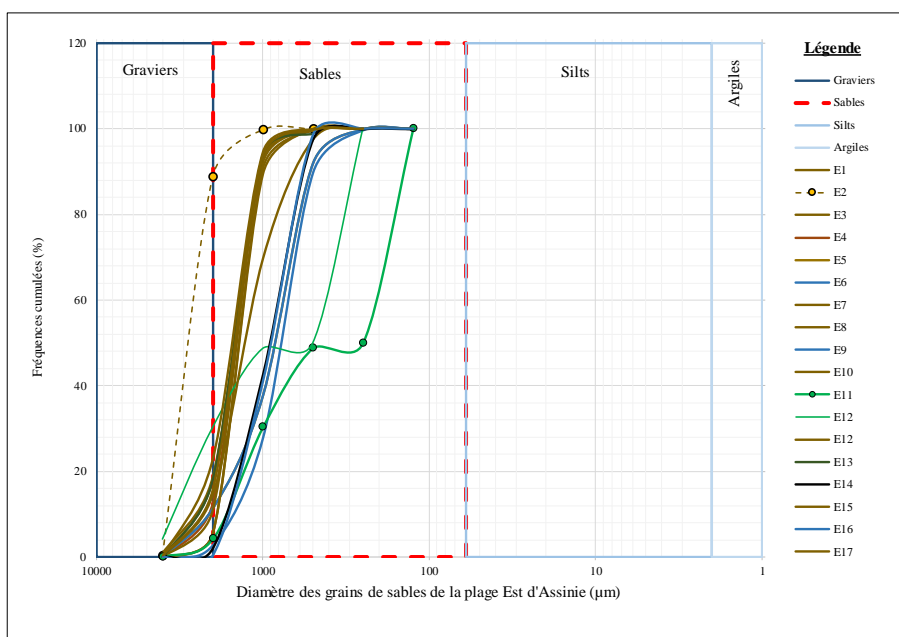


Fig. 12. Faciès hyperboliques du sable de haut de plage à l'Est de la passe

Ces caractéristiques diverses des faciès paraboliques témoignent le positionnement des points d'échantillonnage dans les conditions hydrodynamiques variables. Des conditions hydrodynamiques calmes, régulières avec la combinaison de facteurs de plus ou moins forte d'énergie, de courte durée dans cette partie de plage. Les faciès (E1, E2, E3, E4, E5, E7, E8, E10, E12, E13, E15 et E17 en vert foncé), correspondraient aux sédiments issus des cours d'eau qui se jettent dans la lagune Aby en amont. Ils seraient déposés en période de crue et redistribués sur la plage Est par la dérive littorale, avec l'action combinée de la houle au moment de forte énergie, contrairement aux faciès (E6, E9 et E16, en bleu), de faible énergie. Les faciès paraboliques, (E11 et E12 en vert clair), correspondent aux sédiments déposés dans des conditions hydrodynamiques particulièrement rapides, marquées une interruption brusque de facteur de forte énergie combinée (la déflexion) au cours du transport et du dépôt continu et régulier de la fraction grossière. La déflexion et le décalage traduisent respectivement, la différence de diamètre entre les deux classes de cette série et la condition hydrodynamique particulière au niveau du segment de plage Est. Dans ce même contexte, [26] expliquent que la charge solide de l'eau n'étant pas encore adaptée au courant transporteur, les particules grossières (grains moyen dans notre cas) sont en excès dans la suspension et se déposent en premier en grand nombre. Ces faciès correspondraient aux sédiments déposés par excès de charge et caractérisent les sables triés au cours d'un transport dans un milieu à forte énergie tel que mis en évidence par [26].

6 GRANULOMÉTRIE *IN-SITU* DU SABLE DE LA PLAGE À L'EST DE LA PASSE

L'analyse macroscopique *in-situ* présente les réalités naturelles pendant la période de campagnes de terrain. Elle vise à montrer la conformité des résultats théoriques aux réalités naturelles. Elle est importante dans la mesure où les conditions hydrodynamiques sont variables en fonction des facteurs, surtout de forte énergie. En effet, notre étude macroscopique *in-situ* a mis en évidence un fait majeur dans la granulométrie du sable d'Assinie. C'est la présence d'un banc d'environ 0,5 mètre d'épaisseur constitué de sable fortement coquillé à dominance grossière à l'Est de l'embouchure. Ce banc, légèrement surmonté d'une couche de sable blanc, fait surface à certains endroits du haut de plage, alors que le bas de plage (l'estran) est constitué de sable blanc fin. L'échantillonnage a été fait à dessin pour matérialiser et expliquer cette réalité naturelle. Les photographies de la Figure 13 ci-dessous montrent une tranchée d'un mètre (1m) réalisée au haut de plage végétalisé, immergé en pleine mer de vive eau.

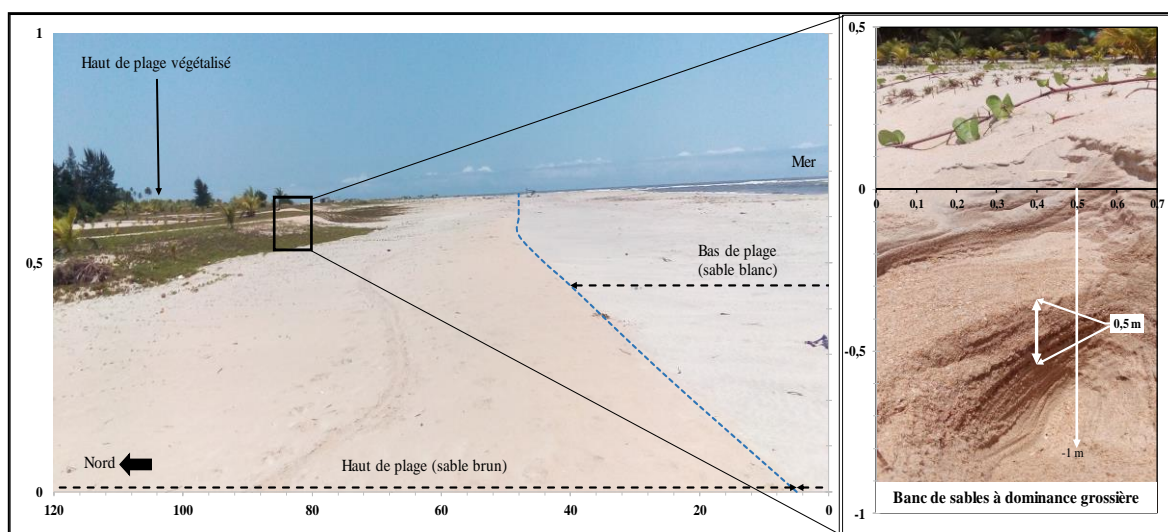


Fig. 13. Analyse macroscopique au haut de plage à l'Est de la passe

Étant donné que la campagne d'échantillonnage a été réalisée dans le mois de décembre (saison sèche), ce banc de sable grossier discordant témoignerait l'apport fluvial par l'action conjuguée des forçages marins en période de crue précédente. La houle à l'origine du transit littoral serait de direction et de sens Sud-Est en cette période de l'année. La comparaison des épaisseurs des bancs de sable aux faciès distincts fournirait des informations relatives sur la périodicité des paléoclimats de la région.

7 FACIÈS GRANULOMÉTRIQUES COMPARATIVES DU SABLE DE BAS DES PLAGES DE LA PASSE

Pour une compréhension objective de l'étude granulométrique des plages, nous avons fait une analyse granulométrique comparative des deux secteurs situés au même niveau de balancement de marée de part et d'autre de l'embouchure. La Figure 14 ci-dessous présente les courbes de fréquences cumulées des fractions granulométriques des sables. Les faciès granulométriques du sable à l'Ouest de l'embouchure (en vert) se situent dans les domaines de sables moyens, fins, très fins et se terminent dans le domaine de silts très grossiers, tandis que ceux du sable à l'Est (en bleu et noir) débutent dans le domaine de sables grossiers. De part et d'autre de l'embouchure, les sables aux faciès paraboliques traduiraient des environnements de dépôt plus ou moins agités. Ces zones à hydrodynamisme au facteur primordial faible et régulier (marée) sont impactées par deux autres facteurs (houle et débit fluvial) dont la combinaison augmenterait la fraction grossière, avec des actions inégalement réparties sur ces deux plages à l'origine du domaine de sables grossiers à l'Est et non à l'Ouest. Les explications de [3] suivantes donnent un sens aux résultats obtenus. En effet, la fluctuation du niveau d'eau statique au cours d'un cycle tidal est à l'origine du balayage de l'estran par le déferlement.

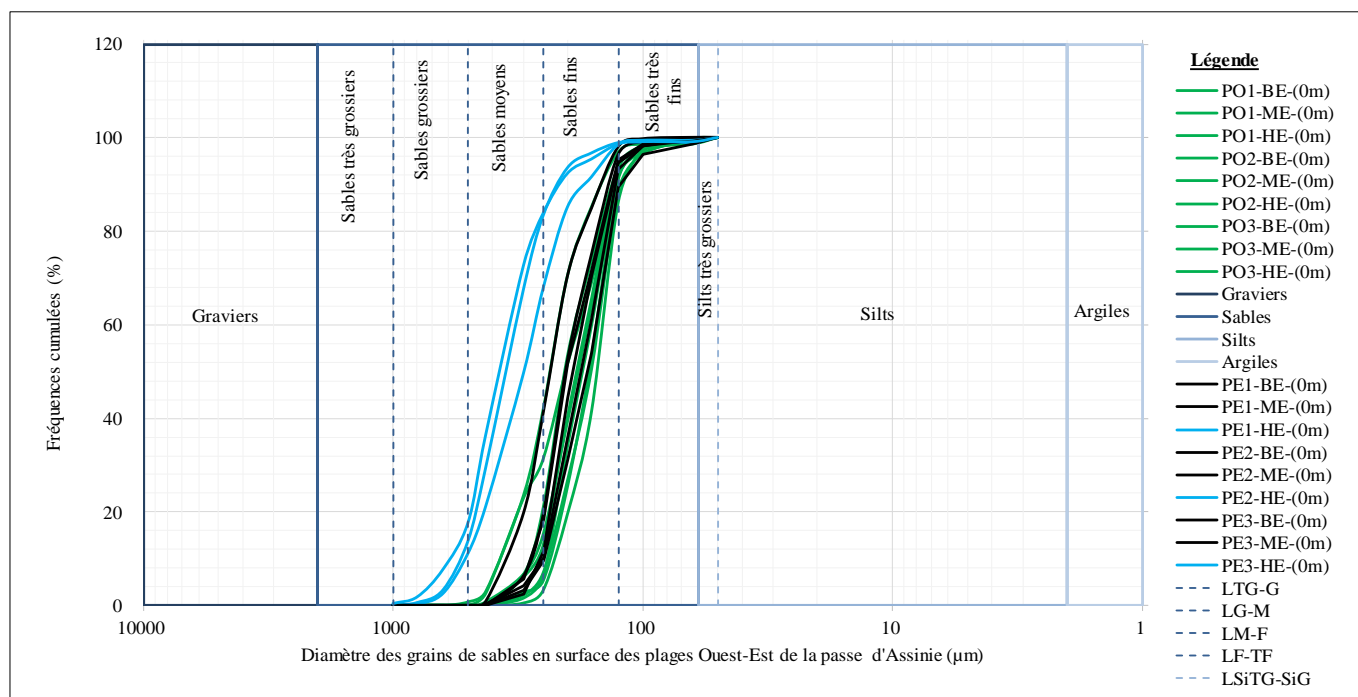


Fig. 14. Faciès granulométriques des sables des plages de la passe d'Assinie

Ce qui perturbe la répartition et l'organisation granulométrique des sédiments établis par les courants pendant les hautes mers et son efficacité diminue du haut estran vers le large en fonction de sa cambrure dans la zone de swash et de la pente de la plage. De ce fait, le sens du transit sédimentaire suit la direction de provenance des houles et est orienté vers le Sud-Est et l'Est d'Assinie en cette période de l'année. Le déferlement des houles et la durée de leur action en fonction du parcours de l'onde de marée sur l'estran expliqueraient à la fois l'organisation et la désorganisation des vecteurs de directions lorsqu'on s'éloigne de l'embouchure des deux côtés. Dans le haut estran, l'action des houles est caractérisée par une longue durée, pendant toute la période de l'étalement de la pleine mer. Le retrait de la mer induit la mobilité de la zone de déferlement à l'estran. Ces conditions sont très favorables à une évolution des vecteurs de direction contrastée à l'estran. La durée de l'action des houles dans les zones de déferlement et du swash et leur mobilité varie suivant les cycles de marées. La répartition granulométrique et les vecteurs de directions du transport des sédiments dépendent essentiellement du déferlement des houles dont l'action est différenciée dans le temps et dans l'espace en fonction de la marée. Les caractéristiques du transport conditionnent le spectre granulométrique du matériel déplacé et déterminent la distribution du flux des particules déposées, modifiant ainsi la texture du sédiment mis en place. Selon [35], La connaissance des propriétés physiques et la qualité des sédiments des plages permettent de connaître le comportement de ces sédiments de plages dans toute situation de mobilité hydraulique. Selon le même auteur, elle est nécessaire le plus en amont possible afin de définir les modes de gestion les plus appropriés à la maîtrise des effets de l'opération sur l'environnement littoral. Au regard de ces résultats, nous pouvons croire

que la granulométrie majoritairement fine des sédiments d'Assinie traduirait une surface spécifique plus grande, susceptible d'entraîner une concentration plus forte en contaminant de l'eau dans le sédiment telle que révélée par [35].

8 CONCLUSION

L'approche granulométrique de la compréhension de l'hydrodynamisme sédimentaire des plages adjacentes à la passe d'Assinie a été réalisée avec l'utilisation de cinquante-quatre (54) échantillons prélevés en une campagne de terrain au cours d'un cycle de marée en saison sèche. On retient que, les grains de sable des plages sont majoritairement fins (2,1 à 2,6 ϕ) dans l'ensemble avec un banc de faciès grossier coquiller discordant à l'Est de l'embouchure. Ces sables en provenance de dunes côtières (cordons littoraux anciens), mer (fins et moyens) et de rivières (grosiers), seraient transportés par roulement, suspension graduée et dans une moindre mesure par saltation. L'interprétation de ces résultats révèle un hydrodynamisme sédimentaire relatif à intensité décroissante lorsqu'on s'éloigne de l'embouchure. Il serait gouverné par trois facteurs dont deux marins (marée et houle), synchrones (Ouest) et asynchrones (Est) avec une composante fluviale. Ces données acquises permettront non seulement de rendre compte de l'évolution de la qualité du milieu dans le temps, mais d'évaluer les enjeux liés à leur mobilité hydraulique et de définir les méthodes de travaux de gestion environnementaux les plus adéquates. Avec les études granulométriques plus approfondies des faciès du remplissage sédimentaire de ces plages, l'on pourrait caractériser la périodicité et la régularité des paléoclimats littoraux aux enjeux préventifs.

REMERCIEMENTS

J'adresse mes sincères remerciements aux membres de l'équipe des campagnes de terrain pour leur soutien dans l'acquisition et le traitement des données scientifiques. Une équipe dirigée par le Professeur Sylvain MONDE et conduite par M. Paul ASSALEY (MC) avec l'assistance de Docteur Aristide KOUAO et la participation de Docteur Ted-Edgard WANGO et Monsieur Mamadou TOURE (MC). Mon fervent remerciement est réservé au Chef de la localité d'Assinie pour son accord à notre demande de campagne de prélèvement de sédiments sur son sol et aux étudiants de Master 2, filière Géologie Marine, de la 17^{ème} promotion pour leur participation active lors des campagnes de terrain et des traitements de données au laboratoire.

REFERENCES

- [1] Site internet de CEREMA, Analyser le fonctionnement global de la plage, ddtm-sml-gl@manche.gouv.fr, (2022).
- [2] DONVAL, B. GOBERT, G. YOUENOU, R. LOARER, La plage, un univers à découvrir. Al manach du Marin Breton, Open Access Version, (2011) 20-25.
- [3] M. CHAIBI, N.A. RAMADAN, M. AYTOUGOUGDAL, H. AIT MALEK, 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). PP. 72- 89. ISSN: 2508-9382 ISSN: 2508-9382.
- [4] A.V. WOGNIN, Caractérisation hydrologique et sédimentologie de l'embouchure du fleuve Bandama. Thèse Science de la terre, UFRSTRM, GEOMARSE, Université d'Abidjan: Abidjan, 2004 - 195 p. + annexe.
- [5] C.HAUHOUOT, M. ROBIN, A. MIOSSEC, Cinématique du littoral de Grand-Lahou (Côte d'Ivoire) à l'aide d'un SIG, In: Iles et littoraux tropicaux - Brest, Ouest éditions, (1997), pp. 269-276.
- [6] J.P. TASTET, Le littoral ivoirien: géologie, morphologie, dynamique. Ann. Univ. Abidjan, Série c, T. XXI-B, (1985), pp 189-218.
- [7] L. MARTIN, Morphologie sédimentologique et paléogéographie au quaternaire récent du plateau continental ivoirien. Trav. Doc. ORSTOM, Paris, (1977) 61, 265p.
- [8] HAUHOUOT, « Le littoral d'Assinie en Côte-d'Ivoire: dynamique côtière et aménagement touristique», Les Cahiers d'Outre-Mer [En ligne], 251-Juillet-Septembre 2010, document 2, mis en ligne le 01 juillet 2013, consulté le 01 octobre 2016. URL: <http://com.revues.org/6023>; DOI: 10.4000/com.6023.
- [9] E. KONAN, J. ABE, K. AKA, URS NEUMEIER, J. NYSSSEN et A. OZER, « Impacts des houles exceptionnelles sur le littoral ivoirien du Golfe de Guinée », Géomorphologie: relief, processus, environnement, 2016, 11241.
- [10] P.K. KOFFI, K. S. YAO, J. ABE, C. HAUHOUOT, S. B. Barthélémy, Quelles perspectives face à la dynamique préoccupante des plages d'Assouindé Valtour et du Club Nautique, respectivement au Sud-Est et au Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire. XIIIèmes Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil Dunkerque, 2-4 juillet 2014, 11p.
- [11] N. WEBER, Morphologie, architecture des dépôts, évolution séculaire et millénaire du littoral charentais apports de la sismique réflexion combinée à des suivis bathymétriques et validée par des vibrocarottages, Thèse de Doctorat Présentée à l'Université de la Rochelle, (2004), 357 p.

- [12] T-E. WANGO, M. MOUSSA, A. N. YAO et S. MONDE, Hydrodynamique du complexe lagunaire Grand-Lahou, Ebrié et Aby (Côte d'Ivoire): Impacts des forçages fluviaux et de la marée. Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, Section Sciences de la Terre, 2013, n° 35, 27–38.
- [13] D. VIENNET, Utilisation de la morphogranulométrie dans le suivi source to sink du transfert particulaire dans les bassins versants. Thèse soutenue publiquement le 30/06/2020, 2020, 222 P.
- [14] T-E. WANGO, Modélisation de l'hydrodynamique, de la dispersion du sel et de l'eau douce dans le complexe lagunaire de la côte d'ivoire (grand-lahou, ebrié et aby), thèse de doctorat, Université de Cocody, (2009), 188p.
- [15] J. ABE, Contribution à la connaissance de la morphologie et de la dynamique du littoral ivoirien (cas du littoral d'Abidjan) Essais de modélisation en vue d'une gestion rationnelle. Thèse, Université de Cocody-Abidjan, (2005), 345 p.
- [16] K.S. YAO, Etude de la dynamique sédimentaire du littoral occidental ivoirien entre Tabou et Sassandra: Approches morpho-bathymétriques, sédimentologiques et exoscopiques. Thèse de doctorat unique, université Félix Houphouët Boigny de Cocody-Abidjan, (2012), 197 p.
- [17] K.S. YAO, J. ABE, S.B BAMBABA, K.E. KONAN, K. AKA Dynamique d'un périmètre littoral portuaire: la côte de San-Pédro, Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire. Revue Paralia, Vol. 3, (2010), pp 2.1–2.12.
- [18] GOOGLE EARTH PRO., Image © CNES/Attribus du 11/03/2022.
- [19] K.H. WENTWORTH, A scale of grade and class terms for clastic sediments. Journal of Geology 30, (1922), 377-392.
- [20] R.L. FOLK, W.C. AND WARD, Brazos rivers bar: a study in the significance of grain size parameters. Journal of Sedimentary Petrology, Vol. 27, n° 1 (1957), 325-354.
- [21] W.C. KRUMBEIN, and F.J. PETTIJOHN, Manual of Sedimentary Petrography. Appleton-Century-Crofts, New-York, (1938).
- [22] R. PASSEGA, Grain size representation by C.M. patterns as a geological tool. Journal of Sedimentary Petrology, 34 (4), (1964), 830p.
- [23] P. REIFFSTECK et J. ARBAUT, Influence de la répartition granulométrique sur le comportement mécanique d'un sol, BLPC, n°268-269, juil/août/sept 2007. 83-103 p.
- [24] A. SHORT, J. WILEY and L. SONS, Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics, Coastal Studies Unit, School of Geosciences, University of Sidney, Australia, 1999, 379 p.
- [25] N. WEBER, Morphologie, architecture des dépôts, évolution séculaire et millénaire du littoral charentais apports de la sismique réflexion combinée à des suivis bathymétriques et validée par des vibrocarottages, Thèse de Doctorat Présentée à l'Université de la Rochelle, (2004), 357 p.
- [26] K.S. YAO, J. ABE, S.B BAMBABA, K.E. KONAN, K. AKA Dynamique d'un périmètre littoral portuaire: la côte de San-Pédro, Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire. Revue Paralia, Vol. 3, (2010), pp 2.1–2.12.
- [27] E. KONAN, Etude de caractérisation morpho-dynamique du cordon littoral sableux ivoirien à l'est d'Abidjan avant et après la tempête exceptionnelle d'août 2007. Thèse de Doctorat Unique. Univ. Felix Houphouët Boigny, (2012) 187 p.
- [28] M. TOSSOU, A. R. ADECHINA, B. J. HOUNKPE, C. N. KELOME, B. A. SY, A. T. DIAW, Analyse Granulométrique et Cartographie des Sédiments Superficiels de la Lagune Côtière au Bénin (Afrique de L'Ouest), European Scientific Journal August 2019 edition Vol.15, No.24 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431.
- [29] RIVIERE et STOCK, Méthodes granulométriques: techniques et interprétation. Ed Masson, Paris, New York, Barcelone, Milan, (1977), 149p.
- [30] PIMMEL, Contribution à l'étude sédimentologique des mangroves de Casamance (Sénégal): étude granulométrique et exoscopique. Thèse de Doctorat de spécialité (3ème cycle) en géologie, Institut de Géographie, Université Louis Pasteur, Strasbourg, France, (1984), 132p.
- [31] G.M. FRIDMAN, Comparison of moment measures for sieving and thin-section data for sedimentary petrological studies. Jour. Sedim. Petrol., (1962), 32, 15 - 25.
- [32] R.J MOIOLA, and D. WEISER, Textural parameters: an evaluation. Journal of Sedimentary Petrology, n°38, (1968), 45-53.
- [33] J. FOURNIER, C. C. BONNOT, R. PARIS, O. VOLDOIRE, M. LE VOT, Analyses granulométriques, principes et méthodes. CNRS, Dinard, 2012, 99 p.
- [34] CHEDEVILLE, Étude de la variabilité du fonctionnement hydro-sédimentaire des karsts de l'Ouest du Bassin de Paris à partir de la comparaison des remplissages sédimentaires karstiques anciens, actuels et du signal turbide des eaux souterraines. Université de Rouen, 2015.
- [35] LEBOLLOCH, Bonnes pratiques pour la caractérisation des matériaux en vue d'une opération de dragage et d'immersion en milieu marin et estuarien, Novembre 2016. 126 p.