

Caractérisation granulométrique de la plage sableuse de Sidi Moussa (côte atlantique marocaine)

Khalid EL KHALIDI ^{*1}, Abdennaim MINOUBI ¹, Mohamed CHAIBI ²,
Bendahhou ZOURARAH ¹, Frédéric LEONE ³ & Ahmed AAJJANE ¹

¹ Université Chouaib Doukkali, Faculté des Sciences, Laboratoire Géosciences Marines et Sciences du Sol, Unité Associée URAC 45, B.P. 20, 24000 El Jadida, Maroc

² Université Cadi Ayyad, Faculté Polydisciplinaire, Laboratoire ELMar, Sidi Bouzid, B.P. 4162, 46000 Safi, Maroc

³ Université Paul-Valéry Montpellier III, Laboratoire GESTER, 17 rue Abée de l'épée, 34090 Montpellier, France

Résumé. La caractérisation granulométrique de la plage sableuse de Sidi Moussa, située sur la côte atlantique marocaine, a été effectuée en analysant l'évolution du comportement granulométrique des sables le long des profils de plage et au niveau de ses différentes unités géomorphologiques. Pour ce faire, une campagne d'échantillonnage a été réalisée en novembre 2006 le long de 11 radiales perpendiculaires à la ligne de rivage. Les résultats relatifs aux indices granulométriques et leurs distributions en fonction des unités morphologiques ont montré qu'il s'agit, généralement, de sables de taille moyenne, bien classés à très bien classés et presque symétriques ; ceci démontre l'origine homogène des sables qui alimentent la plage. Cependant une légère variabilité de la distribution spatiale (longitudinale et transversale) des grains de sable a été observée sous l'effet combiné des agents de forçage (vagues, courants et vents) et de la nature des fonds de l'avant côte de la plage de Sidi Moussa. Les transits littoraux théoriques estimés montrent que le transit vers le Sud-Est prédomine et qu'il est d'environ 391 000 m³/an. Cependant, la répartition granulométrique ne reflète pas totalement ce transit. Ceci est due principalement à la morphologie locale de la plage étudiée.

Mots clés : Distribution granulométrique, unités géomorphologiques, transport sédimentaire, plage sableuse de Sidi Moussa, Maroc

Abstract. *Granulometric characterization of Sidi Moussa sandy beach on Moroccan Atlantic coasts.* The granulometric characterization of the site was carried out by analyzing sands along the beach profiles and on the level of its geomorphological units. To be done, a sampling campaign was collected in November 2006 along of 11 perpendiculars radials with the shoreline. The granulometric study of the beach sediments is followed by the analysis of the granulometric indices and their distributions according to the morphological units. The results obtained showed that, generally, sands were intermediate size, with well to very well classified and almost symmetrical; this result prove the homogeneous origin of sands which feed the beach. However, a light variability of the spatial sand distribution (longitudinal and transversal) was observed under effect of the combined forcing agents (waves, currents and winds) and of the nature of the bottom of inshore area of the Sidi Moussa beach. The theoretical estimated of littoral transits show the prevail transit to the South-East, it is approximately 391.000 m³/an. The main results show that granulometric repair does not reflect this transit completely. This is due mainly to local morphology of the beach.

Key words: Granulometric distribution, geomorphological units, sedimentary transport, Sidi Moussa sandy beach, Morocco.

INTRODUCTION

Le littoral étudié est caractérisé par une richesse paysagère et une diversité morphologique importante. On y trouve des lagunes, des marais, des plages sableuses, des criques et des dunes fixées et mobiles. Ce complexe dunaire a une direction générale nord-est/sud-ouest et il est constitué d'une dune plus au moins consolidée sur laquelle s'est déposée une formation dunaire peu consolidée qui se trouve également surmontée par une dune de sables fins (Ouadia 1998, Aboumaria 1993). La mise en place de ces cordons dunaires anciens d'âge Pléistocène supérieur terminal (Soltanien) a été favorisée par le recul de la mer et par l'action des vents d'alizés qui étaient plus puissants qu'actuellement (Ouadia *et al.* 1993, Weistrock 1982).

La plage de Sidi Moussa est adjacente de la lagune de Sidi Moussa. Cette dernière a été classée comme site d'intérêt biologique et écologique (S.I.B.E) puis comme site

RAMSAR depuis 2005. Cependant, cet espace naturel aux grandes potentialités écologiques et écotouristiques enregistre actuellement de graves problèmes environnementaux liés au tourisme balnéaire, à l'activité agricole et à l'extraction massive des granulats. A ces pressions humaines, s'ajoute le forçage des processus naturels. En effet, à court terme (échelle de quelques mois à un an), la stabilité, l'avancé ou le recul du trait de côte dépend essentiellement des niveaux d'eau atteints lors des tempêtes et du bilan sédimentaire de la plage.

Le déplacement des sédiments le long des côtes est lié essentiellement à l'hydrodynamique marine (Paolo 1993), mais également influencé par la granulométrie du sédiment source (Sahu 1964, Folk 1966, Nordstrom, 1977, Pino & Jaramillo 1992). C'est pour cette raison que nous avons essayé de comprendre l'effet des agents de forçage et de la nature du sédiment source sur la dispersion transversale et longitudinale à la plage sableuse de Sidi Moussa.

* Auteur correspondant

Adresse e-mail : elkhalidi_khalid@yahoo.fr

L'objectif du présent travail est de caractériser la variabilité granulométrique des différentes unités morphologiques au niveau de la plage de Sidi Moussa et de déterminer leur répartition spatiale et leur conséquence sur la dynamique sédimentaire locale.

MATERIEL ET METHODES

Présentation du site d'étude

La plage de Sidi Moussa est située sur la façade atlantique du Maroc, à 41 km au sud d'El Jadida (Province d'El Jadida, Commune de Ouled Aïssa) (Fig. 1). Ses coordonnées géographiques sont comprises entre 32°57' et 32°59' de latitude Nord et entre 8°45' et 8°47' de longitude Ouest. Du point de vue climatique, elle est classée dans l'étage semi-aride (Atillah 1994), caractérisé par un climat tempéré avec une température moyenne annuelle de l'ordre de 18,7°C et une pluviométrie moyenne annuelle de 317 mm (Maanan 2003).

Les facteurs de la morphogénèse littorale qui sont mis en jeu dans l'évolution de la plage de Sidi Moussa sont liés essentiellement à l'agitation de la mer (marée, houle) et à l'action du vent. Le régime de la marée au niveau de la plage de Sidi Moussa est de type semi diurne avec deux pleines mers et deux basses mers toutes les 25 heures environ avec un marnage qui oscille entre 2 m et 4 m (Hilmi *et al.* 2002). Les houles dominantes sont des secteurs nord-nord-ouest et nord-ouest (fréquence=78%), tandis que les houles provenant des secteurs nord, ouest-nord-ouest et ouest sont peu fréquentes et qualifiés de secondaires. Les houles du secteur sud-ouest, malgré leur faible dominance, peuvent jouer un rôle primordial dans le transport sédimentaire. Elles sont caractérisées par leur violence qui donne naissance à des tempêtes.

La houle joue un rôle important dans le transport sédimentaire et tout particulièrement les houles qui sont obliques par rapport à la ligne du rivage qui donnent naissance à un transit côtier de sables. Les houles les plus efficaces sont celles dont la période est supérieure à 11 s ; elles ont une fréquence de 60% (Chaïbi 2003). Les vents dominants proviennent des secteurs nord, nord-est et nord-ouest et le littoral est plus venté en hiver (Maanan 2003). En plus de leur influence sur la dynamique morpho-sédimentaire, ces vents ont une action contraignante sur la croissance du couvert végétal, relativement peu dense, sur toute l'extension du littoral (Chaïbi 2003).

De point de vue géomorphologique, la plage de Sidi Moussa est une plage sableuse rectiligne orientée nord-est/sud-ouest. Elle est limitée au nord-est par la passe de la lagune de Sidi Moussa, au sud-ouest par un affleurement rocheux et l'arrière pays de la plage est caractérisé par la présence des dunes de sable qui peuvent atteindre une altitude de 10 m (El Khalidi *et al.* 2007), derrière lesquelles se situe une dépression inter-dunaire nommée "Oulja" (Gigout 1951) qui forme des champs de cultures. Sa présence est expliquée par le développement du cordon dunaire littoral jouant le rôle d'une barre qui la protège de l'océan et de la présence d'une falaise bien individualisée la limitant de côté est (Ouadia 1998).

La plage étudiée est caractérisée par la présence de deux types de formes sableuses : une plage sableuse rectiligne au sud-ouest, derrière laquelle se développe le cordon dunaire, attachée à une flèche sableuse à extrémité libre au nord-est. Cette flèche, d'une longueur d'environ 400 m et d'une largeur moyenne de 150 m, a connu une progression vers le nord-est au cours des dernières décennies car elle est protégée des houles dominantes par un cordon rocheux (El Khalidi *et al.* 2007).

Le secteur d'étude, appartient tout entier à la grande unité structurale nommée Meseta occidentale, et plus précisément aux plateaux et plaines des Doukkala-Chaouia. La Meseta occidentale comporte des séries sédimentaires du primaire (socle) jusqu'au Miocène sur lesquelles on trouve des dépôts transgressifs Plio-quadernaire (Gigout 1951). La plage proprement dite est formée de sédiments sableux d'âge Quaternaire (Ouadia 1998).

Au large de la région étudiée, le plateau continental est peu large, la ligne de l'isobathe des 200 m est à 16 milles de Cap Beddouza (El Foughali 1982). L'analyse morphologique de la plate-forme d'après la bathymétrie établie par Vanney (1977) montre que les isobathes présentent une certaine régularité. Selon les travaux de Cirac *et al.* (1989), la couverture sédimentaire du proche plateau est composée principalement de trois types de faciès : (1) des sables moyens et grossiers bioclastiques, (2) des sables fins et (3) des vases sableuses. Les sédiments superficiels du proche plateau continental pourraient constituer des sources sédimentaires pour la côte, surtout dans la zone d'échange entre les hauts-fonds pré-littoraux et les plages.

Echantillonnage

L'échantillonnage a été conduit, en novembre 2006, le long de 11 radiales perpendiculaires au rivage. Pour chacune d'elles, cinq prélèvements ont été effectués respectivement au niveau des cinq unités géomorphologiques de la plage, depuis la dune côtière jusqu'à la plage sous marine (bas estran, mi-estran, haut estran, arrière plage et dune) (Fig. 2), soit au total 55 échantillons superficiels (Fig. 3). Chaque échantillon sableux a été prélevé sur une surface de 200 cm² (rectangle de 20 cm x 10 cm) et sur une épaisseur d'environ 5 mm couvrant ainsi toute la "couche active" (Chauhan 1992, Abuodha 2003).

Analyse granulométrique

La démarche méthodologique adoptée s'appuie sur des travaux antérieurs relatifs à la relation entre la granulométrie des sédiments et leurs répartition sur les plages sableuses (Short 1992, Kroon 1994; Masselink & Hegge 1995, Aernouts 2005, Anthony *et al.* 2006, Tamura *et al.* 2010). Dans le but de caractériser les sables de la plage de Sidi Moussa, les échantillons prélevés ont fait l'objet d'une analyse granulométrique (normes AFnor). Chaque échantillon a subi un préalable un tamisage par voie humide à travers des tamis de 2 mm et de 63 µm, afin d'éliminer respectivement la fraction grossière (coquilles surtout) et la fraction fine (les limons et les argiles). Après déshydratation totale de l'échantillon à l'étuve à 60°C

pendant 48 heures, 100 g de sable subissent un tamisage à sec sur une colonne de tamis dont les mailles s'échelonnent de 2 mm à 63 µm, pendant 20 min. Le refus de chaque tamis est pesé et l'établissement des histogrammes de fréquence et des courbes cumulatives,

ainsi que le calcul des différents paramètres granulométriques a été réalisé à l'aide d'un programme sous Excel. Les paramètres granulométriques sont calculés selon la méthode de Folk & Ward (1957) et sont exprimés en Phi (Φ).

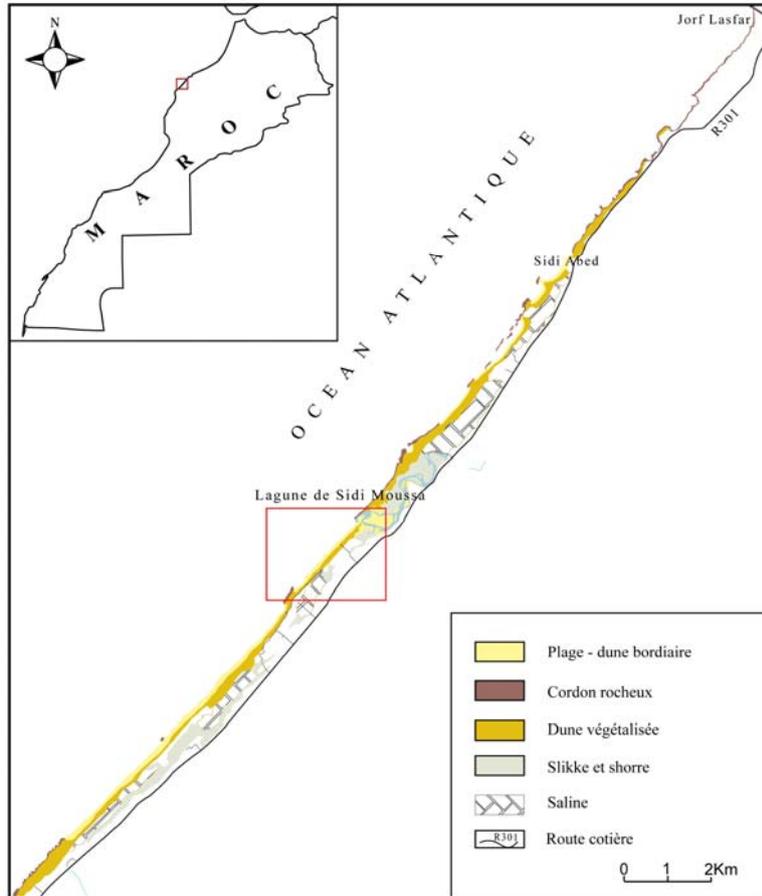


Figure 1 : Localisation géographique de la plage de Sidi Moussa.



Figure 2 : Emplacement et terminologie morphologique employée pour décrire le profil d'échantillonnage à la plage de Sidi Moussa.

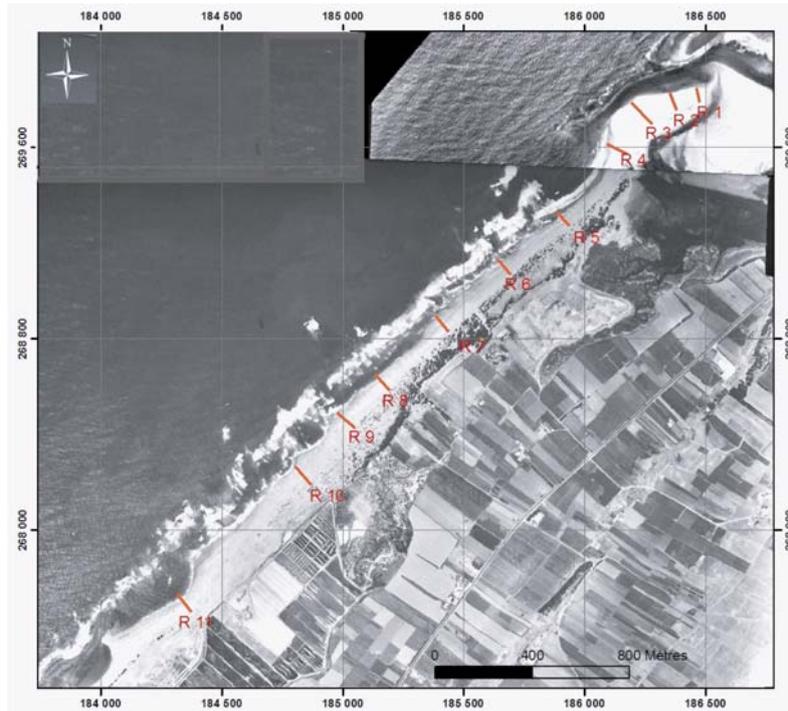


Figure 3: Localisation des radiales de prélèvement des échantillons à la plage de Sidi Moussa.

Quantification du transit sédimentaire potentiel

Le plateau continental au large de Sidi Moussa renferme un stock important de sables mis en place lors de la dernière régression (Jaaidi 1981). Ces sables peuvent être remobilisés vers la côte par les houles et participer à l'alimentation de la plage étudiée. A leurs arrivées sur la plage, ces sables subissent un remaniement grâce à l'effet des courants induits par les houles dominantes (transit sédimentaire).

L'évaluation des transits sédimentaires potentiels le long de la côte a été déterminée en utilisant la relation du Coastal Engineering Research Centre (1984):

$$Q = k \frac{\rho \sqrt{g}}{16 \sqrt{\gamma} (\rho_s - \rho) (1 - n)} H_b^{5/2} \cdot \sin 2\alpha_b$$

Q = transport longitudinal en $m^3 \cdot s^{-1}$

n = facteur de porosité (0,4)

α_b = angle d'incidence des houles au déferlement

ρ_s = densité du sable (2650 kg/m^3)

ρ = densité de l'eau de mer (1025 kg/m^3)

k = paramètre empirique (0,2)

H_b = hauteur au déferlement est calculée à partir de la formule de Goda (1970) récemment validée et améliorée par Rattanapitikon & Shibayama (2000) :

$$H_b = 0,17Lo \left\{ 1 - \exp \left[-\frac{\pi d_b}{Lo} \cdot K \right] \right\}$$

$K = 16,21 \tan^2 \beta - 7,07 \tan \beta - 1,55$

β = pente de la plage ($^\circ$)

Lo = Longueur d'onde de la houle au large (m)

d_b = Profondeur d'eau au déferlement

Le calcul du transport potentiel à la plage de Sidi Moussa, a été réalisé pour trois directions de la houle : nord-ouest, sud-ouest et ouest. Ce choix est justifié par le fait que les houles dominantes sont du secteur nord-ouest et que les houles de tempête sont des secteurs sud-ouest et ouest.

RESULTATS ET DISCUSSION

Les courbes cumulatives semi-logarithmiques des sédiments de la plage de Sidi Moussa ont, en général, la forme d'un "S" ce qui indique que ce sont des sables transportés dans un milieu plus au moins agité avec une évacuation des particules fines vers le large par les courants de retour et le stock sédimentaire est homogène et l'énergie est adaptée à la charge transportée (Atoui & Brahim 2009).

La figure 4 représente la courbe cumulative et de l'histogramme des fréquences des sables du mi-estran de la radiale 5. La plupart des courbes obtenues ressemblent à cet exemple ; elles sont caractérisées par une forte pente, bien redressée et de forme régulière, ce qui indique que la plupart des sédiments de la plage de Sidi Moussa sont des sables bien classés.

Néanmoins, il existe de légères différences de l'allure générale entre les courbes qui peuvent être expliquées par le phénomène de zonation hydrodynamique du profil de la plage (Hardisty 1990) dues aux transformations que subissent les vagues à leur arrivée à la côte (Lindsay 2005).

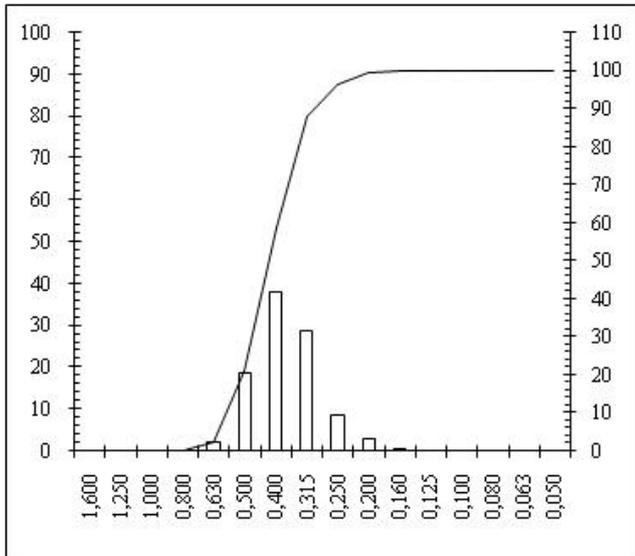


Figure 4 : Courbe cumulative et histogramme des fréquences de l'échantillon du mi-estran de la radiale 5.

Les figures 5, 6 et 7 résument l'évolution longitudinale moyenne des différents indices granulométriques calculés pour chaque niveau d'échantillonnage des profils de plage effectués.

Répartition spatiale du grain moyen

La granulométrie moyenne des sables prélevés dans les différentes parties géomorphologiques de la plage montre généralement une distribution unimodale. Les valeurs du grain moyen se situent entre 1 et 2 ϕ et la classe modale correspond à des sables moyens (Fig. 5). Les variations spatiales de la taille des grains des sables sont minimes et seraient en rapport avec la nature homogène de la source sédimentaire. En effet, les plages de la région (de Jorf Lasfer au cap Beddouza) à laquelle appartient la plage de Sidi Moussa, sont essentiellement alimentées par le stock sédimentaire du proche plateau continental (Jaaidi & Cirac 1987). Selon les travaux des missions L.C.H.F de 1975 (in Charrouf 1989), trois stocks sableux sont susceptibles d'alimenter les plages de la région étudiée : (1) les sables anciens qui correspondent probablement à des affleurements de grès dunaires et quaternaires ; (2) les sables marins actuels qui tapissent les fonds du plateau continental et (3) les sables de calcaires et marnes calcaires, cénomaniennes, qui proviennent de l'érosion des falaises et des cordons rocheux.

Pour expliquer l'origine des sables des plages de la région, les caractéristiques de ces sédiments ont été définies lors des missions L.C.H.F de 1975 (in Jaaidi 1981). Les résultats de dosage des calcaires des sables prélevés au niveau des plages ont mis en évidence que les sables sur le littoral près de Jorf Lasfer ont un taux de calcaire compris entre 98,8 et 99,7% (moyenne de 99,3%). Ces sables sont des sables coquilliers. La fraction insoluble à l'acide est composée de particules sableuses très fines et jaunâtres. Ces constituants proviennent de sédiments du large et de l'érosion des falaises cénomaniennes environnantes (Charrouf 1989).

La taille des grains de sables présente, en général, une tendance évolutive légèrement granulo-décroissante en allant du bas estran vers la dune. Ce tri granulométrique est dû essentiellement à l'effet combiné des vents dominants qui agissent au niveau de la dune et le haut de plage, d'une part, et aux vagues, particulièrement les courants de retour (lame de retrait), qui mobilisent les particules de faibles tailles en bas d'estran, d'autre part.

Considérant l'évolution longitudinale de la granulométrie de la plage de Sidi Moussa, la partie centrale de la plage (radiales 3, 4, 5, 6 et 7) présente des grains plus grossiers que ceux des parties nord (radiales 1 et 2) et sud (radiales 8, 9, 10 et 11). Ceci peut être expliqué par le fait que les deux extrémités de la plage sont plus ou moins protégées contre les houles dominant du nord-nord-ouest et nord-ouest par un cordon rocheux qui délimite la plage de Sidi Moussa au nord-est et au sud-ouest.

Répartition spatiale du Sorting index (ou déviation standard)

Le classement des sables de la plage de Sidi Moussa ne présente pas de grande variation. La majorité des échantillons montrent des valeurs de sorting index variant entre 0,27 et 0,62 ϕ (Fig. 6) permettant de qualifier ces sables de modérément bien classés à très bien classés (Folk & Ward 1957). Ceux qui sont modérément bien classés dominant au niveau du bas estran notamment des radiales 3, 4, 5, 6 et 7 situés au milieu de la plage de Sidi Moussa et qui sont les plus exposés aux houles dominantes par rapport aux autres radiales. Pour le reste de la plage, les sables sont généralement bien classés à très bien classés au niveau de la dune avec des valeurs qui se rapprochent à 0,35 ϕ .

Répartition spatiale du Skewness

Les valeurs de l'asymétrie des courbes de distribution granulométrique des sables de la plage de Sidi Moussa varient entre -0,15 à +0,39 ϕ , mais la plupart d'entre elles sont comprises entre -0,10 et +0,10 ϕ . Ceci indique que les distributions sont presque symétriques, sauf dans quelques échantillons, comme c'est le cas de l'échantillon de mi-estran de la radiale 3 qui présente une asymétrie vers les fins (Fig. 7) qui pourra être liée à des apports préférentiels de sédiments fins pouvant provenir des dépôts constitutifs du cordon dunaire adjacent.

Le Skewness présente une alternance spatiale, au niveau d'une même radiale et d'une radiale à une autre, ce qui témoigne de l'existence d'un tri granulométrique qui dépend essentiellement de l'emplacement du sédiment dans le profil transversal de la plage (bas estran, mi estran, haut estran, arrière plage et dune), de la rugosité de l'avant côte et aussi des fluctuations des agents hydrodynamiques (marées, houles et autres courants). En effet, les sédiments du bas estran subissent un vannage sélectif des éléments fin vers le large sous l'action du 'backwash' (Duane 1964, Friedman 1967), alors que les sédiments du haut estran reçoivent un enrichissement en éléments fins sous l'action des vents (Martins 1965, Folk 1966, Greenwood 1969).

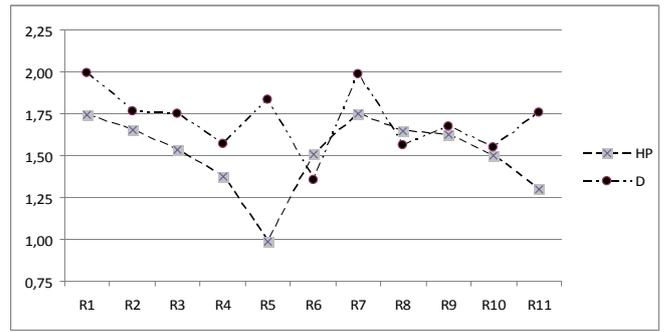
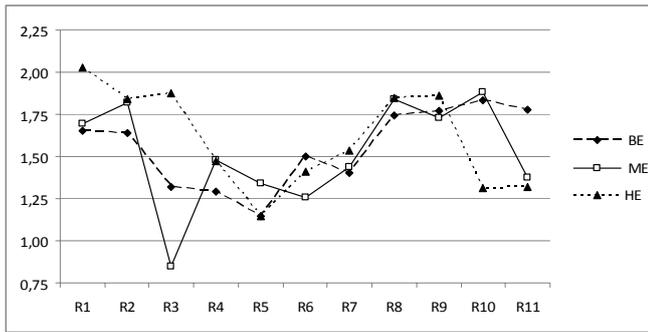


Figure 5 : Evolution du grain moyen le long de la plage de Sidi Moussa en novembre 2006.

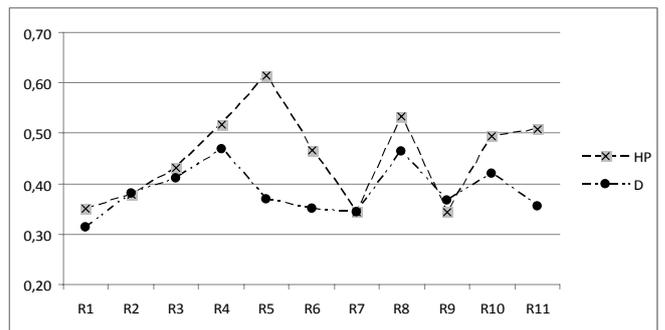
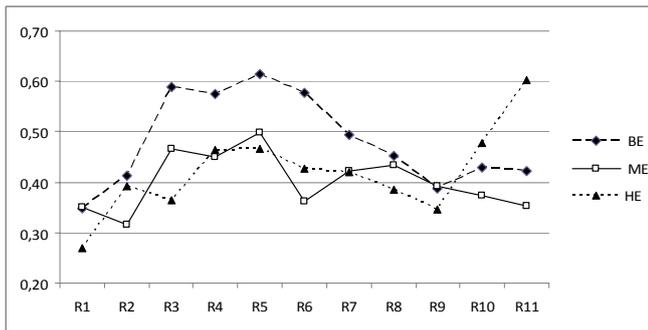


Figure 6 : Evolution du Sorting le long de la plage de Sidi Moussa en novembre 2006.

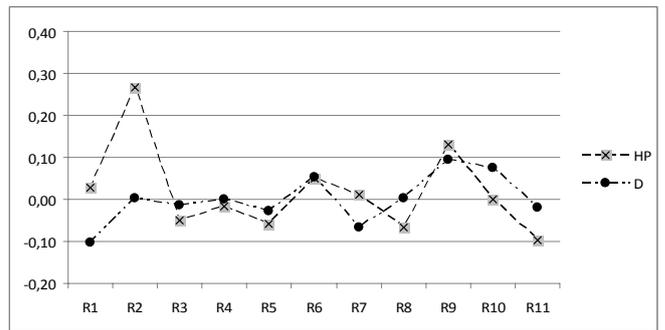
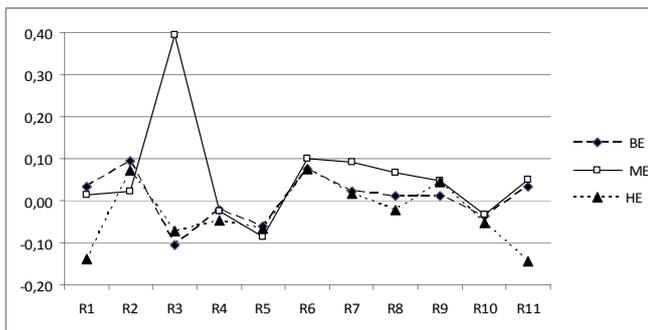


Figure 7 : Evolution du Skewness le long de la plage de Sidi Moussa en novembre 2006.

Dynamique sédimentaire : Transit littoral local

L'angle d'incidence des houles au déferlement dans la région de l'étude varie selon la direction de la côte (Zourarah 2002). Lorsque la direction de la côte forme un angle compris entre 70° et 88° vis-à-vis de la houle du secteur nord-ouest, cette houle induit une dérive littorale et un transport de sable vers le Sud-Ouest ;

Lorsque la direction de la côte forme un angle compris entre 52° et 56° pour la houle du secteur Sud-Ouest ou bien compris entre 58° et 82° pour la houle du secteur ouest; ces houles sont responsables d'une dérive littorale et d'un transfert de sable vers le Nord-Est.

L'estimation du transit littoral nous a permis de relever les constats suivants :

- Les houles du secteur nord-ouest induisent une dérive littorale vers le Sud Ouest et un transit d'environ 473 000 m³/an.

- Les houles du secteur ouest et sud-ouest induisent un transit littoral et une dérive vers le Nord-Est et mobilisent une charge sédimentaire de l'ordre de 82 000 m³/an. Le transit littoral résultant est donc de 391 000 m³/an et est dirigé vers le Sud-Ouest.

La façade maritime atlantique marocaine est caractérisée par un transit littoral dans le sens Nord-Sud (Sogreah 1962, Jaaidi 1981, Charrouf 1989) ; les résultats obtenus par la présente étude coïncident avec ceux des travaux antérieurs. Cependant, il est à signaler que ces résultats théoriques nécessitent des mesures *in situ* pour disposer de plus de précisions relatives au sens suivi par la dérive littorale dans ce secteur.

CONCLUSION

Les sables de la plage de Sidi Moussa montrent en général une granulométrie moyenne qui décroît légèrement du bas estran vers la dune et sont bien classés. L'action combinée des agents hydrodynamiques et du vent sur les différentes unités morphologiques seraient à l'origine de ces phénomènes. Les sables qui se trouvent sur les plages de la région étudiée sont des sables coquilliers à forte homogénéité et proviennent principalement de sédiments du large et de l'érosion des falaises cénomaniennes environnantes. De ce fait, les variations longitudinales (longshore) et transversales (cross-shore) de la granulométrie des sables des différentes unités morphologiques de la plage étudiée sont faibles.

Le transport longshore développe un transit net vers le Sud-Ouest estimé à 391 000 m³/an. Cependant, sur le terrain la répartition granulométrique ne reflète pas les valeurs de ce transit, car la côte se présente sous la forme d'une crique caractérisée par la présence d'un cordon rocheux au large qui influence le transit littoral régional. Le site de Sidi Moussa pourrait correspondre à une cellule hydrosédimentaire caractérisée par un comportement dynamique largement influencé par la morphologie locale. Le littoral depuis Jorf Lasfar jusqu'au cap Beddouza est marqué par une morphologie en criques et un ensemble de cellules hydrosédimentaires. Une étude du littoral plus poussée permettrait de bien identifier l'ensemble de ces cellules et les interactions qu'elles peuvent présenter entre elles.

Remerciements

Ce travail a été réalisé avec le soutien du Programme CNRST-CNRS SHS01/09, du Programme d'action intégrée Marocco-française MA/07/179 et du Programme REMER. Nous remercions le professeur Abdellatif BAYED pour ses remarques et suggestions.

Références

- Aboumaria K., 1993. *Les formations quaternaires du Sahel des Doukkala (Meseta occidentale marocaine) : mise en place et évolution post-sédimentaire*. Thèse Doctorat 3^{ème} cycle, Univ. Mohammed V, Fac. Sci., Rabat, 186 p.
- Abuodha J.O.Z., 2003. Grain size distribution and composition of modern dune and beach sediments, Malindi bay coast, Kenya. *J. African Earth Sci.*, 36, 41-54.
- Aernouts D., 2005. *Le rôle des changements bathymétriques à l'avant côte sur l'évolution des littoraux meubles du Cap Gris-Nez à Dunkerque, Côte d'Opale, Nord de la France*. Thèse Doctorat, Univ. Littoral Côte d'Opale, Dunkerque, 266 p.
- Anthony E.J., Vanhée S. & Ruz M.-H., 2006. Short-term beach-dune sand budgets on the North Sea coast of France: Sand supply from shore face to dunes and the role of wind and fetch. *Geomorphology*, 81, 316-329.
- Atillah A., 1994. Processus et structures thermodynamiques et l'upwelling estival des côtes Atlantiques centrales du Maroc : un examen au moyen des images de satellites. *Etudes méditerranéennes*, 16, 73-95.
- Atoui A. & Brahim M., 2009. Distributions granulométriques des sédiments de surface de la frange littorale du Ras Taguermess au Ras Marmour (Golfé de Gabès, Tunisie). In : Conférence Méditerranéenne Côtière et Maritime. Edition 1, Hammamet, Tunisie 2009, pp.75-78.
- Chaibi M., 2003. *Dynamique sédimentaire et morphogénèse actuelle du littoral d'El Jadida (Maroc)*. Thèse Doctorat Es-sciences, Univ. Aix-Marseille, 235 p.
- Chauhan O.S., 1992. Laminae and grain-size measures in beach sediments, East Coast Beaches, India. *J. Coastal Res.*, 8(1), 172-182.
- Charrouf L., 1989. *Problèmes d'ensablement des ports marocains sur la façade atlantique. Leur impact sédimentologique sur le littoral*. Thèse Doctorat, Univ. Paris Sud, 278 p.
- Cirac P., De Resseguier A. & Weber O., 1989. Situation courantologique et hydrologique sur le plateau Nord-Atlantique marocain (Mission GEOMAR II). *Bull. Inst. Géol. Bassin Aquitaine*, 46, 81-95.
- Coastal Engineering Research Centre (CERC), 1984. Shore Protection Manual. Volumes I & II, Department of the Army, US Army Corps of Engineers. US Government Printing Office, Washington, D.C., 1088 p.
- Duane D.B., 1964. Significance of skewness in recent sediments, Western Pamlico Sound, North Carolina. *J. Sedim. Res.* 34, 864-874.
- El Foughali A., 1982. *Analyse morphostructurale du plateau continental atlantique marocain de Tanger à Cap Cantin, Maroc*. Thèse Doctorat 3^{ème} cycle, Univ. Bordeaux I, 114p.
- El khalidi K., Zourarah B., Chaibi M., Maanan M. & Leone F., 2007. Morphological and diachronic study of the lagoon of Sidi Moussa, Morocco. *Terra et aqua*, 106, 3-9.
- Folk R.L., 1966. A review of grain size parameters. *Sedimentology*, 6(2), 73-93.
- Folk R.L. & Ward W.C., 1957. Brazos river bar; a study on the significance of grain size parameters. *J. sedim. Res.*, 27(1), 3-26.
- Friedman G.M., 1967. Dynamic processes and statistical parameters compared for size frequency distribution of beach and river sand. *J. Sedim. Res.*, 37(2), 327-354.
- Gigout M., 1951. Etudes géologiques sur la Meseta marocaine occidentale (arrière pays de Casablanca, Mazagan et Safi). *Travaux de l'institut scientifique chérifien*, 1, Tome I (texte) : 507 p., Tome II (atlas).
- Goda Y., 1970. A synthesis of breaker indices. *Trans. JSCE*, 2, 227-230.
- Greenwood B., 1969. Sediment parameters and environment discrimination: an application of multivariate statistics. *Can. J. Earth Sci.*, 1347-1358.
- Hardisty J., 1990. *Beach, form and process*. Unwin Hyman, England, 324 p.
- Hilmi K., Orbi A., Lakhdar J., Sarf F. & Chagdali M., 2002. Etude courantologique descriptive de la lagune de Sidi Moussa (Printemps 1997). In: *Actes Colloques Hydrodynamique Marine 02*, Faculté des sciences de Ben M'Sik, Casablanca, Tome I, 1-6.
- Kroon A., 1994. *Sediment Transport and Morphodynamics of the Beach and Near shore Zone near Egmond, the Netherlands*. Thèse Doctorat, Univ. Utrecht, The Netherlands, 275 p.

- Lindsay P.J., 2005. *Pentes des estrans macrotidaux non-cohésifs : étude, propositions méthodologiques et modélisation à partir d'exemples finistériens et costarmoricains*. Rapport de l'Institut universitaire européen de la mer, 387 p.
- Maanan M., 2003. Etude sédimentologique du remplissage de la lagune de Sidi Moussa (côte atlantique marocaine) : caractérisations granulométrique, minéralogique et géochimique. Thèse Doctorat, Univ. Chouaib Doukkali, El Jadida, 172 p.
- Martins L.R., 1965. Significance of skewness and kurtosis in environmental interpretation. *J. Sedim. Res.*, 35(3), 768-770.
- Masselink G. & Hegge B.J., 1995. Morphodynamics of meso- and macrotidal beaches. Examples from central Queensland. *Mar. Geol.*, 129, 1-23.
- Nordstrom K.F., 1977. The use of grain size statistics to distinguish between high and moderate energy beach environments. *J. Sedim. Res.*, 47(3), 1287-1294.
- Jaaidi E.B., 1981. *Les environnements sédimentaires actuels et pléistocène du plateau continental atlantique marocain entre Larache et Agadir*. Thèse Doctorat, Univ. Bordeaux I, 189 p.
- Jaaidi E.B. & Cirac P., 1987. La couverture sédimentaire meuble du plateau continental atlantique marocain entre Larache et Agadir. *Bull. Inst. Géol. Bassin Aquitaine*, 42, 33-51.
- Ouadia M., 1998. *Les formations plio-quadernaires dans le domaine mesetien occidental du Maroc entre Casablanca et Safi : géomorphologie, sédimentologie, paléo environnements quaternaires et évolution actuelle*. Thèse Doctorat d'Etat, Univ. Mohamed V, Rabat, 277 p.
- Ouadia M., Aboumaria K. & Aberkan M., 1993. Nouvelles données sur les formations quaternaires littorales atlantiques entre El Jadida et Safi. 14th I.A.S. regional meeting of sedimentology, Marrakech, p 249.
- Paolo A.P., 1993. *Les littoraux (Leur évolution)*. Collection Université, Éditions Nathan, Paris, 191 p.
- Pino M. & Jaramillo E., 1992. Morphology, texture and mineralogical composition of sandy beaches in South of Chile. *J. Coastal Res.*, 8(3), 593-602.
- Rattanapitikon W. & Shibayama T., 2000. Verification and modification of breaker height formulas. *Coastal Engineering J.*, 42(4), 389-406.
- Sahu B.K., 1964. Depositional mechanisms from the size analysis of clastic sediments. *J. Sedim. Res.*, 34(1), 73-83.
- Short A.D., 1992. Beach systems of the central Netherlands coast: processes, morphology and structural impacts in a storm driven multi-bar system. *Mar. Geol.*, 107, 103-137.
- Sogreah, 1962. Mission d'études du port de Safi - Rapport de fin de mission, M2R2, 121p.
- Tamura T., Horaguchi K., Saito Y., Nguyen V. L., Tateishi M., Oahn Ta T.K., Nanayama F. & Watanabe K., 2010. Monsoon-influenced variations in morphology and sediment of a mesotidal beach on the Mekong River delta coast. *Geomorphology (in press)*.
- Vanney J.R., 1977. Géomorphologie de la marge continentale sud-armoricaine. Public Sorbonne, N.S. Recherches, C.D.U & S.E.D.E.S., Paris, 473 p.
- Weisrock A., 1982. Signification paléoclimatique des dunes d'Essaouira - Cap Sim (Maroc). *Rev. Géomorph. Dyn.*, 416, 91-107.
- Zourarah B., 2002. *Les processus côtiers actuels et leur impact sur l'environnement littoral des Doukkala (côte atlantique marocaine): Approche hydrodynamique, morphologique, sédimentologique et géochimique*. Thèse Doctorat, Univ. Chouaib Doukkali, El Jadida, Maroc, 232 p.