



Caractérisation minéralogique et granulométrique des sédiments littoraux de la baie d'Agadir (Maroc atlantique): dynamique sédimentaire et sources des matériaux

Mineralogical and grain size characterization of coastal sediments of the Agadir bay: Sediment dynamics and sediment sources

Ismail Aouiche^{1*}, Lahcen Daoudi¹, Fatim-Zahra Ihbach¹, Brahim Ouahmane²

1 Laboratoire de Géosciences et Environnement, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cadi Ayyad - Marrakech, B.P.549, Marrakech, Maroc

2 Laboratoire GEAMDD, Université Ibn Zohr, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Département de Géographie, Cité Dakhlal, BP 29/8, Agadir, Maroc.

**Corresponding author: E-mail: aouiche31@gmail.com*

Abstract

This study presents a methodology based on two complementary approaches; firstly a mineralogical and granulometric characterization of the sediments and secondly a statistical simulation (Gao and Collins Model) from calculation of granulometric indexes. The grain size characterization of the sediment of Agadir beach was performed by analyzing the spatial evolution of the granulometric indexes. To achieve it, a sampling campaign was conducted in January 2014 along 19 profiles perpendicular to the shoreline. The results of the granulometric indexes have shown predominance of medium size sand, well classified and almost symmetrical. However the spatial distribution of sand (longitudinal and transversal) highlights the combined effect of forcing parameters (wave and current) and the nature of the bottom of the shoreface. The simulation of Gao and Collins model allowed the location of sand deposits and loss zone.

Keywords: Sediments, Coast, Granulometric indexes, Calcimetry, Mineralogy, Hydrodynamics, Agadir.

Résumé

Cette étude présente une méthodologie basée sur deux approches complémentaires; 1) une caractérisation minéralogique et granulométrique des sédiments, 2) une simulation statistique à partir de calcul des indices granulométriques (Modèle Gao et Collins). La caractérisation granulométrique et minéralogique de la plage sableuse d'Agadir a été effectuée en analysant l'évolution spatiale des caractéristiques du sable le long de la plage et au niveau de ses différentes unités géomorphologiques. Pour cela, une campagne d'échantillonnage a été réalisée en Janvier 2014 le long de 19 profils 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 et presque symétriques. Cependant une variabilité de la distribution spatiale des grains de sable met en évidence l'effet combiné des agents de forçage (vagues et courants), la nature des fonds de l'avant côte et les sources des sédiments. La simulation statistique a permis de localiser de façon qualitative et quantitative les zones d'alimentation et les zones de perte en sable.

Mots clés: Sédiments, Littoral, Indices granulométriques, Calcimétrie, Minéralogie, Hydrodynamisme, Agadir.

1. Introduction

La morphologie des plages est fortement liée d'une part aux sources des sédiments qui les alimentent et d'autre part, à l'énergie mise en jeu dans leur transport et leur dépôt. Les études sédimentologiques (granulométriques, minéralogiques), permettent de déterminer la relation entre les caractéristiques des sédiments (la taille, la nature.) et leurs conditions de sédimentation. Les sources de sédiments alimentant les plages sont très diverses : la charge

solide des cours d'eau, la dérive littorale, les apports du large, les dunes. Le déplacement des sédiments le long des côtes est lié essentiellement à l'hydrodynamique marine [1]. Il est également influencé par la granulométrie du sédiment source [1-2-3-4-5-6].

A l'instar de nombreuses plages sableuses à l'échelle du monde, la côte atlantique du Maroc est le siège d'une érosion et d'un recul du trait de côte accélérés. De nombreuses études ont été entreprises sur les littoraux Nord du Maroc. Le littoral d'Agadir est parmi les moins étudiés, pour cela nous avons entrepris des études qui se sont intéressées à l'évolution du trait de côte et des petits fonds et une caractérisation hydrodynamique du milieu à différentes échelles temporelles [7-8-9].

Afin de comprendre l'évolution morphosédimentaire de la baie d'Agadir, une étude sédimentaire du littoral d'Agadir a été réalisée dans le but de déterminer d'une part les caractéristiques granulométriques et minéralogiques et d'autre part les facteurs hydrodynamiques qui commandent la répartition et la distribution granulométrique et minéralogique de ces sédiments ainsi que leurs origines.

2. Présentation de la zone d'étude

Situé sur la côte atlantique du Maroc à 35 km au Sud du Cap Ghir, le littoral d'Agadir est implanté au fond d'une baie protégée au Nord par le Cap Ghir et largement ouverte vers le Sud-Ouest (Fig . 1). La baie d'Agadir située à 30°25'30"N de latitude et 9°38'30"W de longitude, forme une zone de transition entre une côte rocheuse au nord et une longue côte sableuse, rectiligne et basse au sud.

Le littoral d'Agadir a connu de grands bouleversements depuis le début du 20ème siècle. En réalité c'est depuis l'antiquité que ce littoral est le siège d'une dynamique hydrosédimentaire très active ; cette dynamique s'est fortement perturbée par les différents aménagements portuaires et touristiques mis en place au niveau de la zone. Aujourd'hui il s'agit d'une zone soumise à un régime hydrodynamique très complexe ; les ouvrages présents (Ports, brises lames, épis) ainsi que l'agressivité de la houle ont bouleversé l'évolution de ce domaine côtier.

La baie d'Agadir appartient à la région Souss Massa qui se situe au centre géographique du Maroc et qui couvre une superficie de l'ordre de 23950 km², renfermant trois bassins versants. Le climat de la plaine de Souss est aride à semi-aride ; il varie du type humide à hiver froid sur les sommets du Haut-Atlas Occidental, au type aride à hiver frais en plaine. La proximité de l'Océan et l'influence du courant froid des Canaries influencent le climat de la zone, et la barrière montagneuse de l'Anti-Atlas contribue à la protection contre les vents chauds et torrides du Sud [7]. Sur le bassin versant d'Agadir, cinq Oued débouchent dans la baie d'Agadir. Parmi ces oueds, Oued Souss est le seul dont le débit est élevé ; il constitue la majorité des apports hydriques par voie fluviale dans la baie d'Agadir (500 millions de m³ voire même 1 milliard de m³ au cours d'années exceptionnellement pluvieuses). Il se jette dans l'océan à 6 km au sud du port. Son débit moyen est de 16,3 m³/s [10].

La houle le long des côtes marocaines est la conséquence de dépressions barométriques lointaines et sans relation avec les vents locaux. L'organisme *Puertos del estados* (ports d'état) nous a fourni des données statistiques des paramètres des houles (Hauteur significative, direction, période) en fonction de leur fréquence. Les champs d'ondes ont été générés avec le modèle d'onde spectrale WAM qui est un code de calcul numérique basé sur les champs de vents. La comparaison des mesures du point SIMAR 44 a permis de mettre en évidence que les houles de directions W, WNW, NW, et NNW sont très largement dominantes en fréquence et en intensité [7].

3. Méthodologie

3.1 Echantillonnage

L'échantillonnage a été conduit, au mois d'Avril 2014, le long de 19 profils perpendiculaires à la ligne de rivage (3 profils dans la plage d'Anza, 4 dans la baie d'Agadir et au niveau de l'embouchure de l'oued Souss) (Fig . 2). Pour chaque profil, quatre prélèvements ont été effectués respectivement au niveau des quatre unités géomorphologiques de la plage, depuis la plage sous marine jusqu'à l'arrière plage (bas estran, mi-estran, haut estran et arrière plage), soit au total 68 échantillons superficiels. 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 [11-12].

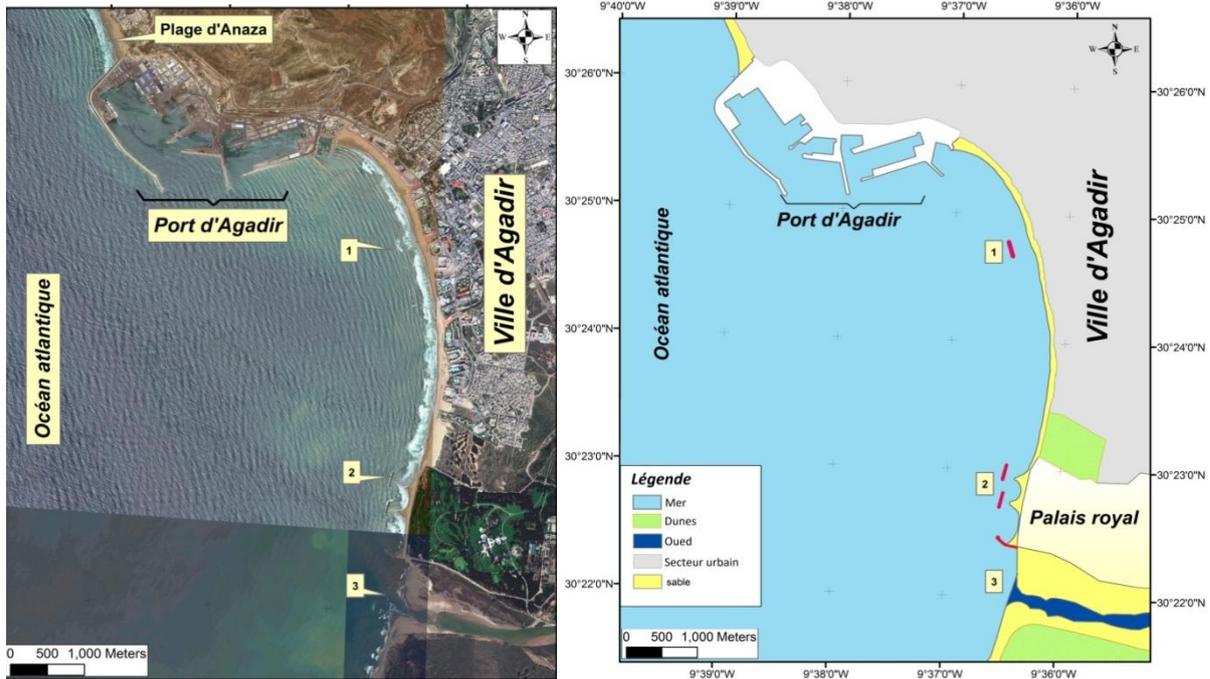


Figure 1 : Situation géographique de la baie d'Agadir (Google earth, 2012)

L'étude sédimentologique comporte des analyses granulométriques et des analyses minéralogiques des sables. Chaque échantillon a fait l'objet d'une analyse granulométrique à l'aide d'un granulomètre laser, d'une analyse calcimétrique par le calcimètre de Bernard et d'une analyse microscopique à l'aide d'une loupe binoculaire.



Figure 2 : Localisation des profils d'échantillonnage (Rd : Rive gauche et Rd : Rive droite)

3.2 Analyse granulométrique

La démarche méthodologique adoptée s'appuie sur des travaux antérieurs relatifs à la relation entre la granulométrie des sédiments et leurs répartitions sur les plages sableuses [13-14-15]. Les échantillons prélevés ont fait l'objet d'une analyse granulométrique, à l'aide d'un granulomètre laser HORIBA 300 du Laboratoire de Géoscience et Environnement du Département des Sciences de la terre de la Faculté des Sciences et Techniques Marrakech. Les paramètres habituels analysés sont la taille moyenne (μ m), le coefficient de classement ou de triage (σ) et le coefficient d'assymétrie (Sk). Il existe plusieurs méthodes pour calculer ces paramètres mais dans notre cas nous avons opté pour les paramètres de Folk et Ward (1957) car ils donnent des résultats beaucoup plus significatifs.

3.3 Analyse calcimétrique

La détermination de la teneur en CaCO_3 de tous les échantillons est réalisée à l'aide du calcimètre de Bernard. Le principe de cette technique est donné par Vatan (1967), selon lequel, tout matériau contenant du carbonate de calcium (CaCO_3) fait effervescence au contact d'un acide (ex : HCl), celle-ci correspond au dégagement de dioxyde de carbone (CO_2) sous forme de gaz, selon la réaction chimique suivante :



3.4 Etude microscopique

Les différents échantillons prélevés ont fait l'objet d'une analyse microscopique à l'aide d'une loupe binoculaire. Cette méthode a pour but de déterminer par comptage classique la composition minéralogique d'un échantillon de sable, en considérant que chaque grain du sable correspond à un minérale donné. La détermination du pourcentage des différentes fractions tient compte du nombre et de la taille des particules. Pour chaque échantillon, l'opération du comptage est effectuée plusieurs fois pour réduire l'erreur d'estimation.

3.5 Détermination du potentiel du transport sédimentaire (méthode Gao et Collins)

La méthode proposée est basée sur la comparaison de 3 paramètres statistiques de deux prélèvements. Par comparaison de n paramètres 2n cas possibles peuvent apparaître. Avec les paramètres moyenne (μ), classement (σ) et asymétrie (Sk), le nombre de cas est pris en compte pour le calcul sur un point [16].

Premièrement, les paramètres d'un échantillon sont comparés avec ceux des sites environnants tels que la distance entre les deux points soit inférieure ou égale à une distance critique d'échantillonnage (D_{cr}) qui correspond à la distance maximum séparant deux points adjacents. Si un point d'échantillonnage génère plusieurs vecteurs, une sommation finale est faite de manière à obtenir un vecteur unique résultant tel que :

$$\vec{R}_{(x,y)} = \sum_{i=1}^n \vec{r}_{(x,y)i} \quad (1)$$

Une opération de filtrage est appliquée pour réduire une nouvelle fois le bruit causé par les vecteurs dont les directions sont éloignées de la direction générale du modèle. Les vecteurs sommations de chaque point sont additionnés au vecteur des points voisins situés toujours à une distance comprise dans D_{cr} . Les vecteurs de transport ainsi définies, s'écrivent :

$$\vec{R}_{av(x,y)} = \frac{1}{1+K} \left[\vec{R}_{(x,y)} + \sum_{j=1}^k \vec{R}_j \right] \quad (2)$$

R_j est le vecteur sommation obtenu sur la base de l'équation (1) et k le nombre total de sites pris en compte pour le calcul sur un point.

4. Résultats et discussions

4.1 Analyse granulométrique

Les résultats obtenus pour les différents indices granulométriques sont présentés sous forme de cartes réalisées avec le logiciel ArcGis 10 par interpolation des valeurs des échantillons pour les différents profils. La carte de la figure 3a,b représente la répartition de la taille moyenne des grains au niveau de la baie d'Agadir et la plage d'Anza. Au niveau de la baie d'Agadir les valeurs du grain moyen se situent entre 230 μ m et 323 μ m, ce qui

indique des sables fins à moyens. La carte montre une évolution transversale caractérisée par la diminution de la taille moyenne des grains en allant du bas estran vers le haut de plage, à l'exception de la partie extrême Nord de la baie adossée à la digue où on constate une inversion de cette tendance. Concernant la distribution longitudinale, la partie Sud de la baie présente des sables avec des tailles relativement plus grossières par rapport au secteur Nord. Au niveau de la plage d'Anza, l'évolution transversale et longitudinale du grains moyen est identique à celle de la baie d'Agadir. En allant du nord vers le sud la taille augmente, alors que du bas de l'estran vers l'arrière plage la taille moyenne diminue (Fig. 3a,b).

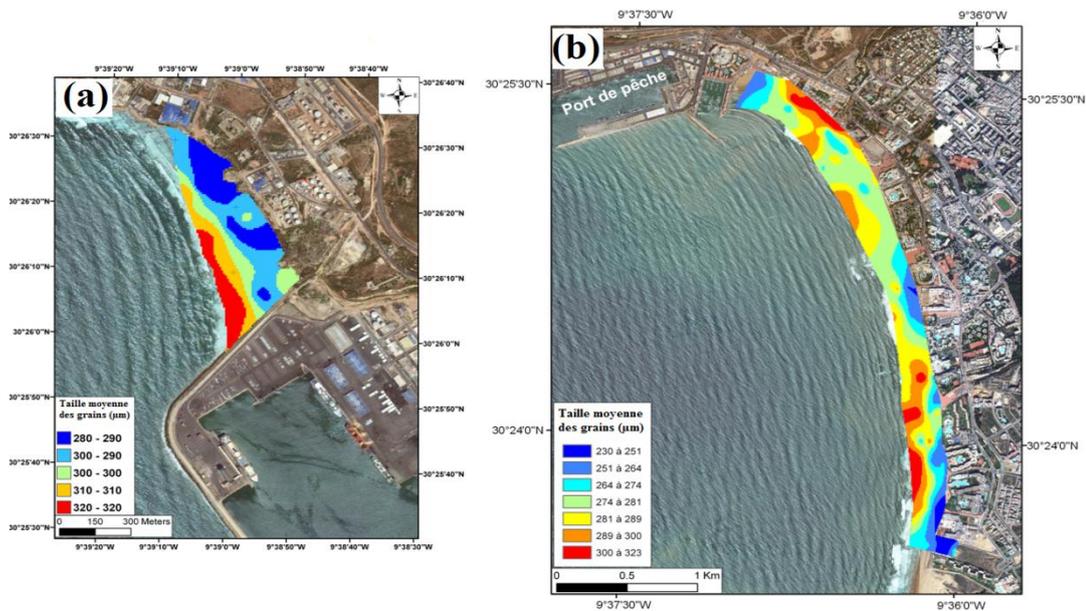


Figure 3: Distribution de la taille moyenne des grains au niveau de la plage d'Anza (a), et au niveau de la baie d'Agadir (b).

La carte de la figure 4a,b montre que pour la majorité des échantillons analysés dans la baie d'Agadir et la plage d'Anza les valeurs du classement (Sorting index) varient entre 0.4ϕ et 0.5ϕ permettant de qualifier ces sables de bien classés.

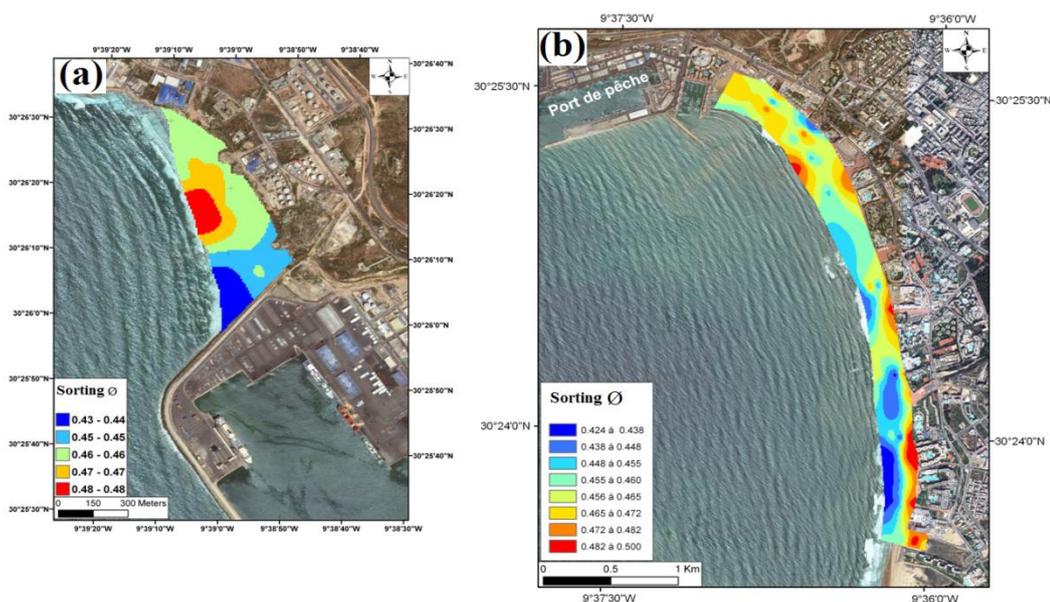


Figure 4: Evolution du coefficient de classement- Sorting index- au niveau de la plage d'Anza (a) et au niveau de la baie d'Agadir (b)

La carte de la figure 5a,b représente la distribution du coefficient d'assymétrie (skewness) dans la baie d'Agadir et la plage d'Anza, les valeurs varient entre -0,104 à -0,031 Ø. Ils sont donc comprises entre -1Ø et +1Ø, ceci indique que la distribution est presque symétrique.

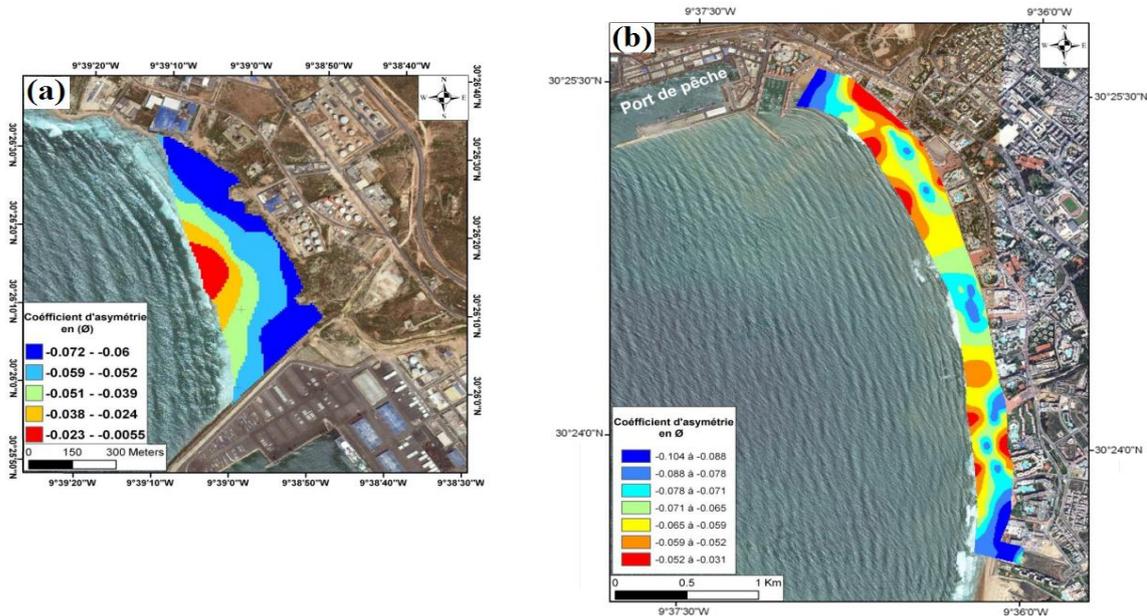


Figure 5 : Evolution du coefficient d'assymétrie - skewness- au niveau de la plage d'Anza (a) et au niveau de la baie d'Agadir (b)

L'analyse granulométrique des sables de la baie d'Agadir a permis de mettre en évidence la distribution et la cartographie des différents indices granulométriques et de comprendre les différents agents de dépôt. Les différentes cartes granulométriques présentées montrent que tous les paramètres analysés présentent une évolution transversale et longitudinale identiques. La partie Nord de la baie est caractérisée par des valeurs faibles des grains moyens et des valeurs élevées des deux coefficients d'assymétrie et du triage. Ceci indique un milieu de faible énergie justifiée par la présence de la jetée du port [8]. En effet, la houle incidente qui arrive directement du large est atténuée par la jetée du port créant une zone d'ombre en arrière de la jetée. Cependant, dans la partie Sud de la baie la taille du grain moyen est plus importante, alors que les deux autres coefficients présentent des valeurs faibles. Ceci montre que la zone est très agitée vu qu'elle est directement ouverte aux actions de la houle incidente [7].

4.2 La calcimétrie

Pour les 68 échantillons analysés le pourcentage de CaCO₃ varie entre 31 % et 62 %. La figure 6 représente l'évolution transversale du pourcentage de CaCO₃. Il est presque identique pour tous les profils représentatifs de la baie d'Agadir et la plage d'Anza. En allant du bas estran vers le haut de plage le pourcentage de CaCO₃ augmente avec une stabilité de la teneur en calcite entre le bas et le mi estran (Fig. 6). Les deux profils représentatifs de l'oued Souss (Rive gauche et Rive droite) sont les seuls qui présentent une variation transversale inverse avec des pourcentages de calcite généralement faibles (< 20%).

L'évolution longitudinale de la teneur en fragments de coquilles indique que ce dernier est de plus en plus important quand la zone est ouverte aux fluctuations des agents hydrodynamiques, ce qui permet d'enrichir les sables de cette partie en débris de coquilles provenant de la dérive ou du large. Par contre au niveau des zones calmes et abritées, la teneur est faible ce qui indique que les échanges avec le large sont limités. si on compare la figure 3 à la figure 7 on remarque qu'au niveau de la plage d'Anza le vannage par les vagues concentrent les bioclastes vers le Sud mais reste plutôt dans le bas de plage. Dans la baie d'Agadir, ces bioclastes concentrés dans le haut de plage concernent la fraction grossière dans la moitié Nord comme c'est le cas à Anza. Par contre dans la moitié Sud il s'agit de sable fin. Nous pensons que cela est à mettre au profit d'une déflation éolienne

active surtout au niveau de la vallée de l'oued Souss qui canalise les vents d'Ouest. Cela n'est pas le cas d'Anza et de la moitié Nord de la baie en position d'abris car protégés par les hauteurs du Haut Atlas.

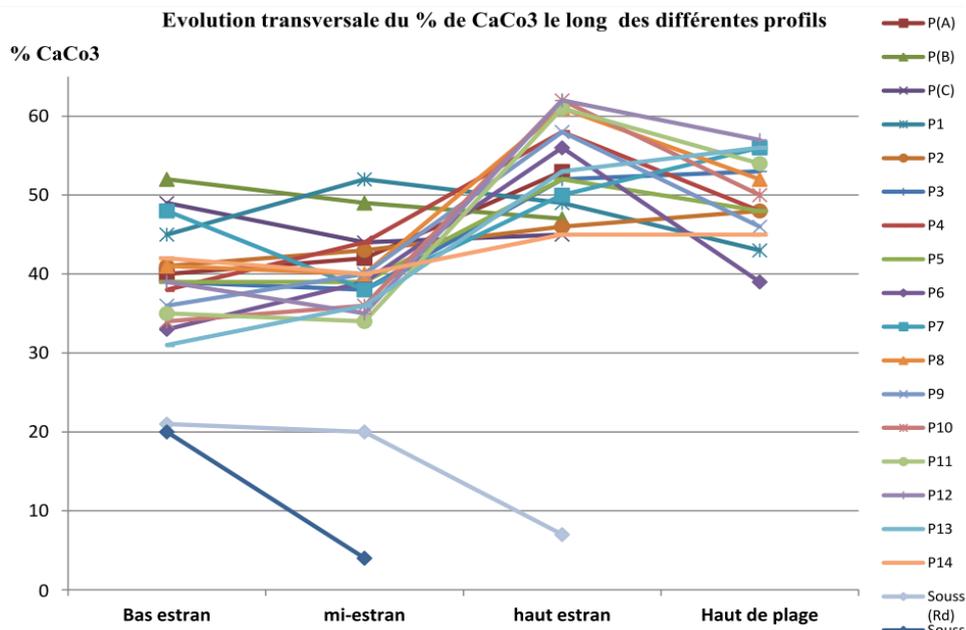


Figure 6 : Evolution transversale du % de CaCO₃ le long des différents profils

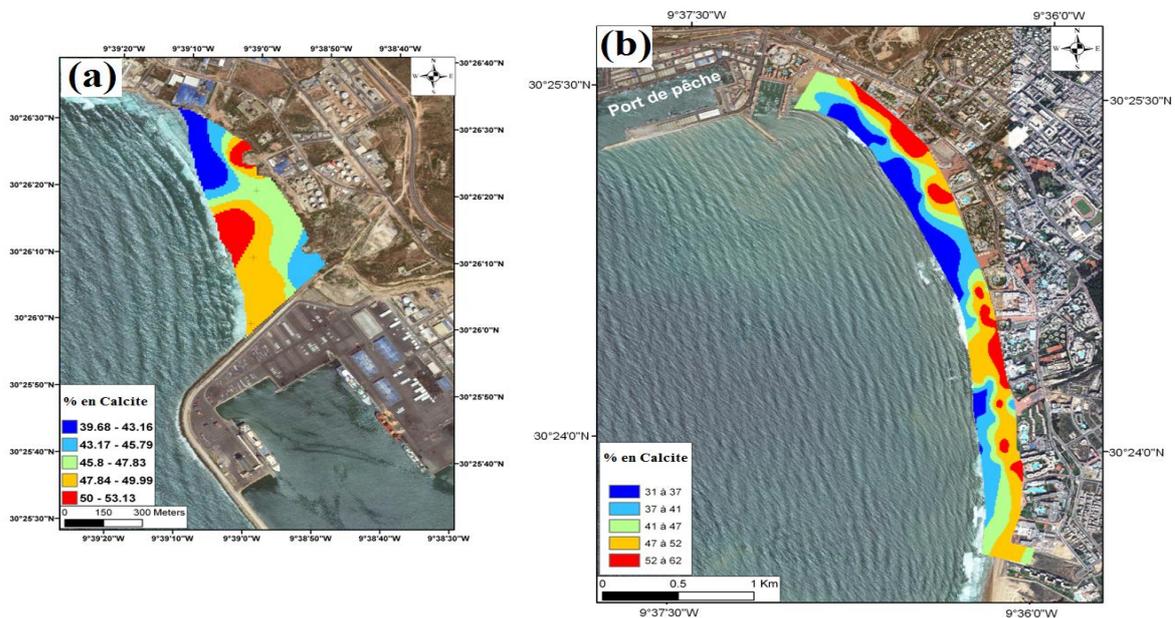


Figure 7: Evolution du pourcentage de calcite au niveau de la plage d'Anza (a) et au niveau de la baie d'Agadir (b)

4.3 La microscopie

Le but de l'étude microscopique est de déterminer les Différents composants du sable du littoral d'Agadir et d'identifier son évolution spatiale en tenant compte des différents paramètres influençant cette dynamique, ainsi déterminer les sources possibles du sédiment dans la baie d'Agadir. L'analyse minéralogique des sables a permis de distinguer trois types de composantes minéralogiques : i) Les grains de quartz, ii) les grains de calcite (fragments de coquille), et iii) les grains opaques (oxydes de fer et ferromagnésiens). La figure (8) montre que la composition granulométrique varie très nettement d'un échantillon à un autre.

Cette étude nous a permis d'analyser l'évolution de la teneur en grains opaques qui sont composés essentiellement par des oxydes de fer et des minéraux ferromagnésiens. L'analyse des résultats obtenus permet de constater que les teneurs les plus faibles en minéraux opaques sont retrouvées dans la plage d'Anza, avec des pourcentages de l'ordre de 3%. Si nous supposons que l'alimentation de la baie d'Agadir en sédiment se fait uniquement par la dérive littorale telle que cela a été avancé dans plusieurs études (LCHF, 1972), nous devrions avoir la même composition que la plage d'Anza. Ceci n'est pas du tout le cas puisque leur proportion est plus élevée dans les sédiments de la baie d'Agadir où elle varie entre 9% au niveau des profils Nord et 19% dans le profil 14 situé à l'extrême Sud. Ceci confirme la présence d'autres sources de sédiments alimentant la baie d'Agadir en grains opaques. Les petits oueds qui se déversent directement dans la baie d'Agadir (Lghezoua, Lahouar, Tildi et Tanaout) traversent généralement des formations calcaires et marneuses, et par conséquent ne peuvent être en aucun cas à l'origine de ces pourcentages élevés de grains opaques.

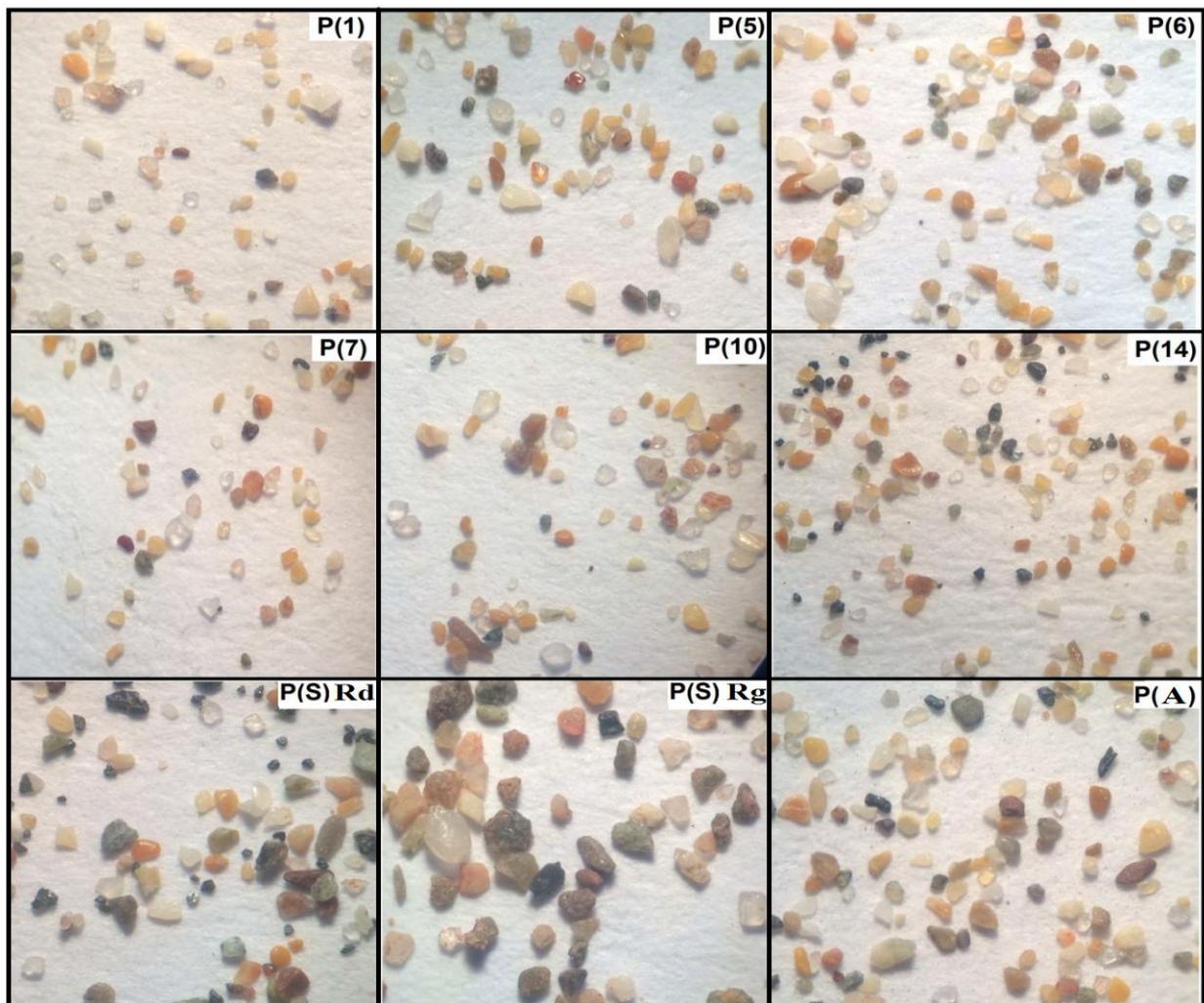


Figure 8 : Vue sous loupe binoculaire de quelques échantillons le long de la baie d'Agadir (Grossissement X 20)

Les teneurs les plus élevés en grains opaques (49%) des sables sont enregistrées au niveau de l'embouchure de l'Oued Souss qui représente la source principale de ces minéraux vu que le bassin de cet oued englobe en partie les domaines atlasique et anti-atlasique, où les socles paléozoïque et précambrien sont composés de roches magmatiques et métamorphiques. Lors des crues, la charge solide de l'Oued Souss est déposée au large de l'estuaire sous forme d'un delta. Pendant les périodes calmes, ces sédiments sont redistribués par la houle sur la plage. Ceci confirme la contribution de l'Oued Souss dans l'alimentation de la baie d'Agadir qui est très nette au niveau du P14 (Fig . 8).

4.4 Détermination des directions potentielles de transports sédimentaires

En 1972, le LCHF mesurait des valeurs de d_{50} comprises entre 0.10 mm au fond et 0.25mm sur la plage. Plus tard, les travaux de SOGREAHLPEE de 1989 et 1992 montrent que de façon générale, dans la baie d'Agadir, le diamètre médian du sédiment diminue avec l'augmentation de la profondeur. L'ensemble du sable qui recouvre les petits fonds et l'estran est constitué d'éléments fins et homogènes. Dans le cadre d'une étude réalisée par DPDPM en Mars 2013, vingt sondages à la lance avec prélèvement d'échantillons de sédiments ont été réalisés. La localisation des sondages et des prélèvements effectués est indiquée sur la figure 9.

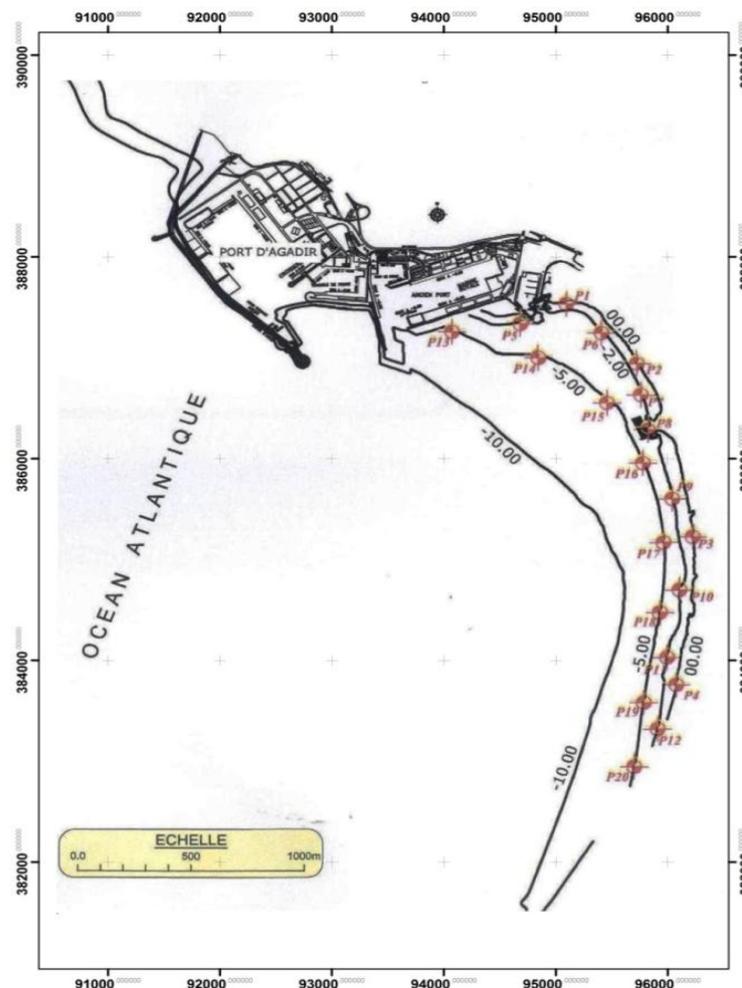


Figure 9 : Localisation des sondages et des points d'échantillonnage

Les sondages à la lance ont montré que l'épaisseur de la couche meuble atteint 5 m dans la plage d'Agadir à l'exception des sondages P6 et P20 qui ont montré un refus à 2,5 m et à 2m. La nature du fond est sableuse dans la totalité du secteur d'étude (Tab .1).

Les échantillons des sédiments prélevés au mois de mars 2013 par la DPDPM ont été utilisés pour évaluer les directions potentielles de transport sédimentaire à l'aide de la méthode de Gao et Collins (1994). La fraction grossière > 80 pm varie entre 78,7% et 99%, tandis que la fraction fine est comprise entre 1% et 21,3% (Tab . 2). Les trois indices granulométriques (grain moyen (σ), sorting (μ) et skewness (Sk)) utilisés pour calculer la probabilité d'occurrence de la direction nette de transport sédimentaire sont présentés dans le tableau 2.

Les vecteurs de transport résiduels calculés à partir des 20 échantillons montrent deux grandes tendances ; une dérive orientée sud-nord localisée au nord, et une dérive orientée nord-sud localisée au sud, donnant naissance à un point de divergence au centre de la baie (Fig.10). On note aussi une tendance d'évacuation des sédiments vers le large près de la partie amont du système de défense situé à l'extrême sud de la baie.

Tableau 1 : Résultats des sondages réalisés en 2013

N° Echantillon	X	Y	Profondeur atteinte	Diamètre (mm)
1	95095	387535	5	0,4
2	95715	386950	5	0,25
3	96215	385225	5	0,25
4	96070	383750	5	0,35
5	94690	387340	5	0,25
6	95405	387245	Refus à 2,5 m	0,25
7	95750	386635	5	0,35
8	95815	386290	5	0,22
9	96030	385600	5	0,25
10	96100	384700	5	0,25
11	95990	384025	5	0,25
12	95910	383315	5	0,25
13	94085	387260	5	0,22
14	94840	387005	5	0,19
15	95450	386555	5	0,22
16	95770	385960	5	0,25
17	95955	385170	5	0,25
18	95925	384480	5	0,25
19	95785	383580	5	0,22
20	95705	382945	Refus à 2,0	0,25

Tableau 2: Indices granulométriques (grain moyen, Sorting et Skewness calculés pour chaque échantillon).

Points	GRAIN MOYEN			SORTING (μm)	SKEWNESS (μm)
	X	Y	Z		
P1	95405	387245	0	407,6	-2,724
P2	95715	386950	0	318,4	2,136
P3	96215	385225	0	318,9	2,611
P4	96070	383750	0	399,0	0,783
P5	94840	387005	-2	294,4	2,906
P6	95450	386555	-2	281,1	-1,193
P7	95770	385960	-2	298,6	1,509
P8	95955	385170	-2	302,3	2,240
P9	95925	384480	-2	296,1	1,848
P10	95785	383580	-2	293,1	1,685
P11	95095	387535	-2	310,7	3,730
P12	94690	387340	-2	309,5	3,009
P13	95750	386635	-5	268,2	-1,776
P14	95815	386290	-5	227,6	-0,555
P15	96030	385600	-5	265,0	0,556
P16	96100	384700	-5	301,2	0,198
P17	95990	384025	-5	305,6	2,554
P18	95910	383315	-5	305,9	0,785
P19	94085	387260	-5	290,5	0,692
P20	95705	382945	-5	296,7	0,779

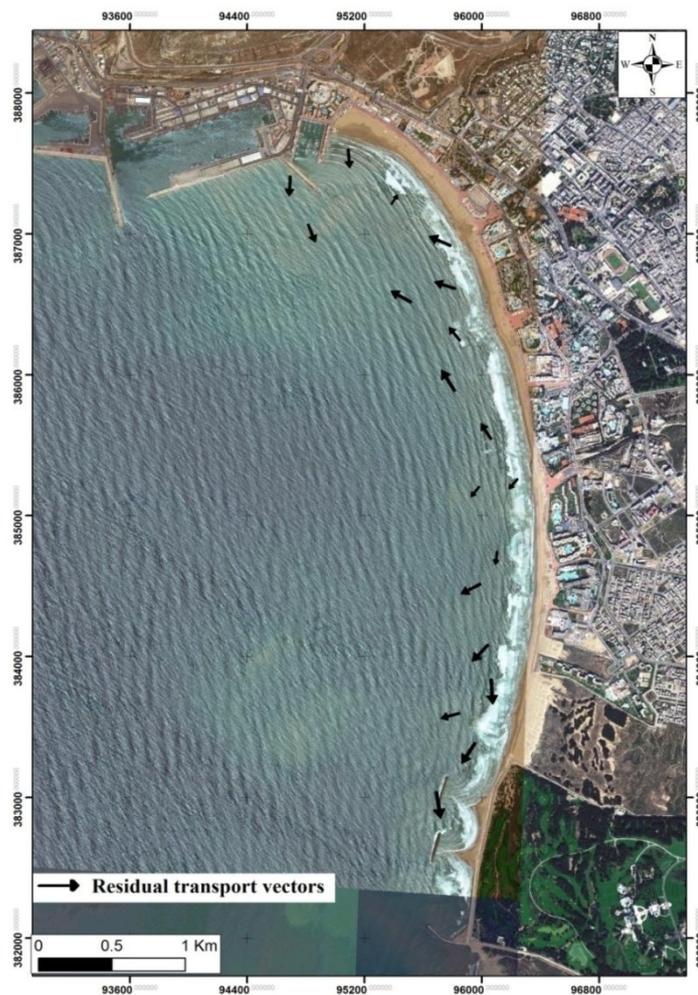


Figure 10 : Transport résiduel calculé par le modèle Gao et Collins

Ces résultats ont été confirmés par la modélisation de la houle et des courants [8]. Les simulations de la houle montrent que la jetée du port commercial implanté en 1989, avait conduit à une diminution significative de l'énergie des vagues, expliquée par la diffraction des houles provenant du nord-ouest. Cette diminution de l'énergie est très remarquable dans la partie nord de la baie. Alors que le sud de la baie est exposé à des niveaux plus élevés de l'énergie de la houle incidente (Fig. 11). Les résultats obtenus de la simulation quasi stationnaire des courants montrent que la combinaison des trois courants ; courant de retour, courant de dérive et courant sagittale, contrôlent une grande partie du transport sédimentaire du secteur sud de la baie : i) Le courant de retour (Undertow current) induit un intense transport sédimentaire vers le large en particulier pendant les épisodes de forte énergie, provoquant un mouvement important des sables du haut vers le bas de la zone intertidale (Fig. 12). ii) L'incidence de la houle oblique, énergétiquement forte, induit un courant de dérive important (longshore current) qui contribue au transit sédimentaire en déplaçant des volumes importants de sédiments du nord vers le sud (Fig. 12). iii) Alors qu'en amont de système de défense, implanté au sud de la baie, le courant sagittal (rip current) transporte une grande quantité de sédiments au large (Fig. 12).

La situation au nord est complètement à l'inverse : Le nord de la baie présente un secteur protégé de la houle incidente, caractérisé par des faibles courants de retour et un courant de dérive orienté sud-nord (Fig. 12) qui perd sa capacité du transport tout en se déplaçant vers le nord. La diminution de l'intensité de ce courant favorise le dépôt des sédiments, ainsi l'asymétrie des vagues lors des conditions peu énergétiques induit un transport net vers le rivage.

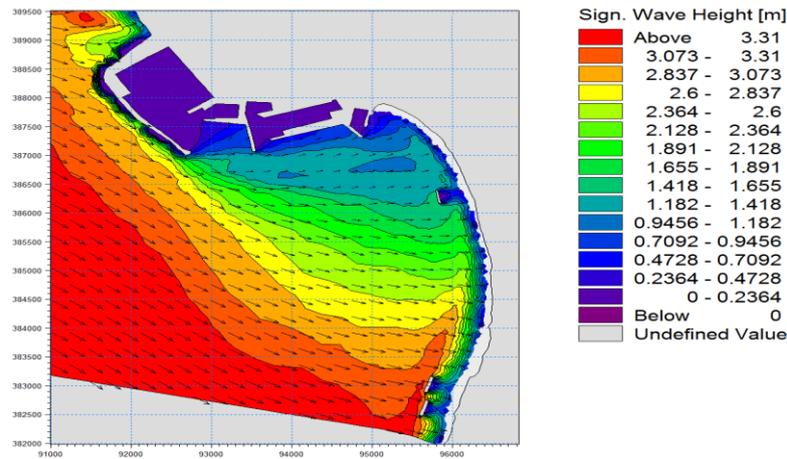


Figure 11 : Propagation de la houle (Caractéristique des houles les plus fréquentes)

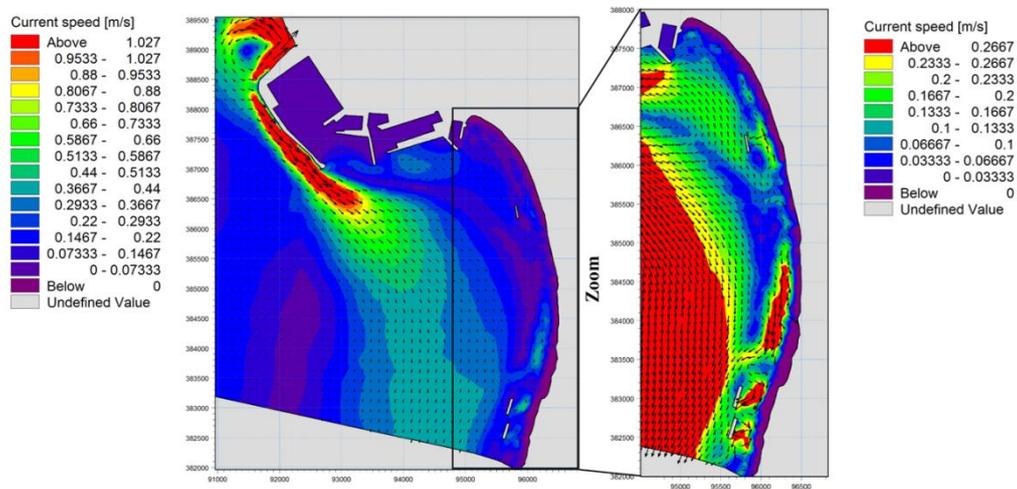


Figure 12 : Courants engendrés par la houle

Conclusion

Les analyses granulométriques et calcimétriques menées dans le cadre de l'étude sédimentologique ont permis de montrer une forte relation entre les caractéristiques des sables de la plage d'Agadir (taille, coefficient d'asymétrie, coefficient du triage ...etc.) et les agents dynamiques (houles, marées, vents et courants) qui sont influencés en partie par les aménagements (port, brises lames, épis, extractions des matériaux...etc.). Les zones agitées et ouvertes aux actions des agents hydrodynamiques (Anza et la partie Sud de la baie) présentent généralement des sables de taille moyenne et des pourcentages en calcite plus élevés (échanges avec le large). Tandis que les zones calmes protégées et abritées favorisent la sédimentation des sables de taille assez fine et des pourcentages de calcite plus faible (faible échange avec le large).

L'orientation du trait de côte et la forme du port de commerce représentent les principaux facteurs influençant la complexité hydrodynamique de la baie d'Agadir. La jetée du port de commerce crée une zone abritée au Nord et diffracte la houle provenant du secteur Nord-Ouest. Cette jetée est aussi à l'origine de naissance de la contre dérive orientée Sud Nord. En revanche dans la moitié sud de la baie, les installations touristiques et la digue promenade sont de plus en plus exposées à l'énergie de la houle. Dans ce secteur, l'angle d'approche de la houle génère un courant littoral qui transporte les sédiments en suspension dans la zone adjacente. Une partie de ces sédiments est stockée derrière le système de défense, tandis que le reste est pris par les courants de retour et les courants sagittaux.

Les résultats obtenus permettent de conclure, que les zones ouvertes aux fluctuations des agents hydrodynamiques (cas de la plage d'Anza et partie sud de la baie) sont généralement très agitées, et plus assujettis

aux échanges avec le large. Cependant, les zones abritées et protégées (cas de la partie Nord de la baie d'Agadir) présentent des zones calmes favorisant l'accumulation des sédiments fins. L'étude minéralogique par observation microscopique des échantillons de sables a également permis d'identifier les sources de sédiment alimentant la baie d'Agadir. Nous avons pu mettre en évidence que la baie d'Agadir est principalement alimentée par les sédiments provenant de la dérive. L'Oued Souss contribue aussi de façon significative à l'alimentation de la rive gauche de l'estuaire, nous avons également montré sa contribution dans l'alimentation de la moitié sud de la baie d'Agadir en période de crue malgré la dérive qui porte vers le Sud.

Remerciements-Le soutien financier de ce projet a été assuré par le Projet d'Action Intégrée Hubert Curien "Volubilis" N°MA/13/290. M. AOUICHE Ismail reçoit une bourse du Centre National pour la Recherche Scientifique et Technique (CNRS-Maroc-) que nous aimons remercier.

Références

1. Sahu B.K., Depositional mechanisms from the size analysis of clastic sediments. *J. Sedim. Res.* 34 (1964) 73.
2. Folk R.L. A review of grain size parameters. *Sedimentology.* 6(2) (1966) 73-93
3. Nordstrom K.F. The use of grain size statistics to distinguish between high and moderate energy beach environments. *J. Sedim. Res.* 47(3) (1977) 1287-1294.
4. Pino M. & Jaramillo E. Morphology, texture and mineralogical composition of sandy beaches in South of Chile. *J. Coastal Res.* 8(3) (1992) 593-602.
5. Aagaard T. Sediment supply to beaches: cross-shore sand transport on the lower shoreface. *Journal of Geophysical Research* (2014)
6. Aagaard T., Davidson-Arnott R., Greenwood B., Nielsen J., Sediment supply from shoeface to dunes: linking sediment transport measurements and long-term morphological evolution. *Geomorphology* 60 (2004) 205.
7. Aouiche I., Daoudi L., Anthony E., Sedrati M., Ziane E., & Harti A. The impact of storms in the morphodynamic evolution of a human-impacted semi-sheltered beach (Agadir Bay, Morocco). *African Earth Sciences. Journal of African Earth Sciences.* 115 (2015c) 32-47.
8. Aouiche I., Daoudi L., Anthony E.J., Sedrati M., Ziane E., Harti A. & Dussouillez P. Anthropogenic effects on shoreface and shoreline changes: Input from a multi-method analysis, Agadir Bay, Morocco. *Geomorphology* 254 (2015a) 16-31 doi:10.1016/j.geomorph.2015.11.013.
9. Aouiche I., Daoudi L., Ziane E. & Harti A. Apport de l'étude diachronique dans l'évolution spatio-temporelle de la baie d'Agadir (Maroc). *Journal of Materials and Environmental Science.* 6 (11) (2015b) 3307-3318.
10. LCHF (Laboratoire centrale hydraulique de la France). Modélisation physique du port d'Agadir, Casablanca (Maroc) (1972) 4.
11. Chauhan O.S. Laminae and grain-size measures in beach sediments, East Coast Beaches, *Indian J. Coastal Res.* 8(1) (1992) 172-182.
12. Abuodha J.O.Z. Grain size distribution and composition of modern dune and beach sediments, Malindi bay coast, Kenya. *J. African Earth Sci.* 36 (2003) 41-54.
13. Short A.D. Beach systems of the central Netherlands coast: processes, morphology and structural impacts in a storm driven multi-bar system. *Mar. Geol.* 107 (1992) 103-137.
14. Anthony E.J., Vanhée S. & Ruz M.-H. 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 (2006) 316-329.
15. Tamura T., Horaguchi K., Saito Y., Nguyen V. L., Tateishi M., Oahn Ta T.K., Nanayama F. & Watanabe K. Monsoon-influenced variations in morphology and sediment of a mesotidal beach on the Mekong River delta coast. *Geomorphology* 116 (2010) 11-23.
16. Gao S., Collins M., Lanckneus J., De moor G., and Van lancker V. Grain-size trends associated with net sediment transport patterns: An example from the Belgian continental shelf. *Marine Geology.* 121 (1994) 171

Actes du colloque RQM8 de Nador, 2015

NB. Article accepté après avis des Professeurs Weisrock André (MNHN, Paris) et Ouammou Abderrahman (FLSH, Agadir), membres du comité de lecture des actes de la RQM8.

(2016) ; <http://www.jmaterenvirosci.com>