

DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE DANS LE GOLFE DE HAMMAMET (CENTRE-EST DE LA TUNISIE)

Mouldi BRAHIM et A. NABLI

Institut National des Sciences et Technologies de la Mer.

ملخص

ديناميكية الرواسب في خليج الحمامات: يظهر تحليل حجم الجسيمات من الرواسب السطحية تحت الماء بسواحل النفيظه ان قاعة البحر مكسوة برمال ذو حجم متوسط ودقيق. ويتم فرز الرواسب بشكل جيد او بإعتدال توزيع حجم الجسيمات من الرواسب السطحية على طول الساحل من 2م الى 20م عمق يظهر الجسيمات مرتبة و يقل حجمها من الساحل إلى البحر. يعني تقع الرمال الضحلة في 2 م. تقع الرمال الناعمة بين 5 و 25 م باستثناء العينات التي تم جمعها في محيط 20 م والتي تظهر متوسط حجم الجسيمات. وتشير التحليلات المعدنية التي تتألف من اثنين من المعادن الرئيسية هي الكوارتز والكالسيت، بالإضافة إلى الكالسيت المغنيسيوم والأراغونيت، بنسب صغيرة. **كلمات البحث:** حجم الجسيمات والمعادن، وديناميات الرواسب، خليج الحمامات

RESUME

L'analyse granulométrique des sédiments superficiels montre que la plage sous-marine est tapissée par des sables moyens et fins, généralement bien, très bien classés et modérément classés.

La répartition granulométrique des sédiments de surface le long d'un profil transversal de la côte vers le large, jusqu'à -25 m de profondeur, montre un grano-classement décroissant de la côte vers le large. Des sables moyens sont localisés dans les faibles profondeurs (2 m). Les sables fins sont localisés entre 5 et 25 m à l'exception des échantillons collectés au niveau de l'isobathe -20 m qui montrent une granulométrie moyenne. La présence de ces grains moyens à cette profondeur peut être expliqué par un courant de direction NW/SE et qui est responsable de l'évacuation des sédiments fins.

Les analyses minéralogiques montrent que ces sables sont constitués par deux minéraux principaux qui sont le Quartz et la Calcite, auxquels s'ajoutent la calcite magnésienne et l'aragonite, en faibles proportions.

Mots clés : Granulométrie, minéraux, Dynamique sédimentaire, Golfe de Hammamet.

ABSTRACT

Sediment dynamics in the Gulf of Hammamet in the Center East of the Tunisian waters: Particle size analysis of surface sediments shows that underwater beach is lined by means of sand and purposes, generally well, moderately well sorted and classified.

The particle size distribution of surface sediments along a transverse profile of the coast to offshore, to 25 m depth shows a grano-ranking decreasing from the coast out to sea. Means sands are located in the shallow (2m). Fine sands are located between 5 and 25m with the exception of samples collected at the contour -20 m which show an average particle size. The presence of these means grains at that depth can be explained by a current direction NW / SE and responsible disposal of fine sediments.

The mineralogical analyzes show that these sands are composed of two main minerals are quartz and calcite, the magnesium calcite and aragonite, in small proportions

Keywords : Grain size, minerals, sedimentary dynamics, Gulf of Hammamet

PRESENTATION DE LA ZONE

Le golfe de Hammamet se situe dans la partie Nord-Est de la Tunisie. Il est limité au Nord par le Cap Bon, à l'Ouest par la plaine d'Enfidha-ville, au Sud par la plaine du sahel et à l'Est par la mer Méditerranée. Les côtes sont souvent très basses et sont marquées par de vastes plages sableuses et des sebkhah longeant le littoral (Oueslati, 1991, 2004).

Les herbiers des *Posidonies* existent dans l'étage infra-tidale jouent un rôle important dans la dynamique des sédiments. Les herbiers d'Hammamet et au nord de Hergla occupent des surfaces respectives de 10.5 et 8.5 km². La surface totale des herbiers est estimée environ à 167Km² dans le golfe

d'Hammamet. (Ben Mustapha et Hattour. 1992). Dans le golfe d'Hammamet l'herbier de *cymodocées* se découvre par un fonds de -6 à -40m de rivage (Amari, 1984). Les *Cymodocées* sont présents jusqu'à des fonds de -10m, en alternance quelquefois avec des bancs de sable nus, et colonise les étendues où les mouvements sédimentaires sont importants.

Du point de vue pédologie, plusieurs classes de sols peuvent être observées dans la zone de l'étude. Entre Hammamet et Monastir les principaux types de sol sont : sols minéraux bruts : sols d'apport éolien et sol halomorphes (sols à alcali très salés et sol très salé à encroûtement salin superficiel) et des Sols à mull : se sont des sols bruns associés à des lithosols, régosols et vertisols (DRES, 1973)

Les terrains bordières sont d'âge néogène et quaternaire. Les formations géologiques montrent une lithologique d'un faciès sablo-argileux. Entre Hammamet sud et Hergla, on peut considérer que tout le littoral est en équilibre. C'est en particulier le cas de la longue plage restée déserte qui s'étend de Selloum à Hergla et plus particulièrement à Madfoun où elle est bordée par une belle dune bordière (Colleuil, 1976 ; El Batti, 1974).

Entre Bouficha et Hergla, le réseau hydrographique est très développé. Aucun de ces cours d'eau ne parvient directement de la mer. Leur eau s'accumule dans les sebkhas qui longent la côte. Lors des crues, les sebkhas débordent et les eaux de crues chargées en particules sédimentaires, transportées par charriage à partir du bassin versant, constitueront une source d'alimentation des plages en sédiments.

Deux barrages ont été construits sur les lits des oueds. Lebna et Chiba dans l'objectif de régulariser les débits liquides surtout en périodes de crues. A titre indicatif, les apports charriés par l'oued Lebna au cours de l'année 72-73 sont estimés à $10,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ et le volume de sédiment parvenu à la retenue du barrage de l'oued Chiba de 73- à 75 est évalué à $7,86 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (DGRE, 2008). Ces quantités des sables charriés par les fleuves, retenues par les deux barrages de Lebna et Chiba seront privées à la mer. Ainsi, le stock sédimentaire disponible aux embouchures de ces cours d'eau pour être déplacé et réparti sous l'action des courants littoraux, est sensiblement réduit après la construction des barrages. Cette réduction entraînera, à plus ou moins brève échéance, un recul du trait de cote.

Les courants généraux des eaux de surface en Méditerranée sont générés par la provenance des eaux de l'Atlantique, via le détroit de Gibraltar, qui sont caractérisées par leur faible salinité. Ces courants circulent de l'Ouest vers l'Est au large des côtes Nord de la Tunisie et du Nord vers le Sud au large de la côte Est. D'après les Instructions Nautiques sur la côte Est de la Tunisie, il existe un courant général de direction Nord-Sud accompagné par un faible courant de retour de direction Sud-Nord. La côte d'Est est caractérisée par des courants faibles avec des vitesses de l'ordre de $10 \text{ à } 30 \text{ cm.s}^{-1}$ (SGTE-LCHF, 1978).

Sur les côtes tunisiennes, la marée dominante est de type semi-diurne liée à la lune et/ou au soleil (de type M2 et de moindre importance de type S2). La répartition des amplitudes de ces deux types de marée (M2 et S2) établie à l'aide de modèles numériques, respectivement par Tsimplis et al. (1995) et par Abdennadher et Boukthir (2006). Ces modèles ont été bien calés par des observations de la variation du niveau de la surface de la mer en plusieurs points en Méditerranée. La marée dominante M2 est caractérisée par un point amphidromique (minimum d'élévation et vitesse élevée) localisé dans le détroit de Sicile. La marée a une amplitude d'environ 12 cm

sur les côtes nord. L'onde de marée traverse le détroit près des côtes tunisiennes tout en s'atténuant (5 cm dans le golfe de Hammamet). Elle se dirige ensuite vers le sud et pénètre dans le golfe de Gabès en s'amplifiant et engendrant une forte résonance (Sammari et al. 2006). La marée de type M₂ dans le golfe de Hammamet atteint les 5 cm et celle de type S₂ est comprise entre 4 cm et 6 cm. Les courants de marée peuvent jouer un rôle important mais ce n'est pas le cas sur les côtes tunisiennes où ils sont faibles (10 cm.s^{-1} , maximum) et masqués le plus souvent par les courants de houle générés par les vents locaux (SGTE-LCHF, 1978). Les courants de marée sont importants seulement au niveau des étranglements et des communications.

Au large du golfe de Hammamet, la houle est caractérisée par des longueurs d'ondes relativement faibles. Les statistiques de la fréquence de la houle, au large des côtes du golfe de Hammamet, se traduisent par des roses de houle qui montrent une variation remarquable du Nord au Sud. En effet, dans la partie Nord du golfe les roses montrent des houles qui ont des directions Nord-Est et Est. Leur hauteur varie de 1 à 2.5 m pour la plupart des cas et peut atteindre 5m pour des périodes supérieures à 10s (Zaara, 1996). Les houles enregistrées dans la partie Sud du golfe de Hammamet montrent une variation saisonnière assez importante. La direction de la houle prédominante change d'une saison à une autre. Elle est de Sud-Est et Sud-Sud-Est. Les courants de retour sont des courants induits par les houles à l'approche de la côte. En effet, la compensation de l'apport d'eau à la côte par les houles déferlantes se fait par un retour d'eau vers le large, créant des courants d'arrachement (Paskoff, 1957, 1981, 1994), qualifiés aussi de courants sagittaux qui peuvent être perpendiculaires ou obliques par rapport au rivage. Sous l'action des houles obliques par rapport au rivage, un courant de houle prend naissance entre la zone de déferlement et le trait de côte. Son angle d'incidence est généralement inférieur à 10° par rapport au Nord.

ECHANTILLONNAGES ET METHODOLOGIES

Une campagne d'échantillonnage a été réalisée dans le littoral d'Ennefidha du 19 au 21 juin 2015. Nous avons prélevés des échantillons de sédiments de surface des petits fonds sur dix radiales dans les profondeurs entre 2 et 24 m (figure 1, tableau I). Au total 53 échantillons ont été collectés. Les prélèvements des sédiments des petits fonds ont été effectués à l'aide d'une benne de type Van VEN sur une barque côtiers à moteur nommée « MOUNA ». La position de prélèvement de chaque échantillon a été effectuée par un GPS (Global Positioning System) de type Radar. La profondeur de chaque point de

prélèvement des sédiments a été effectuée par un profondimètre.

Afin d'étudier la distribution et le mode de transport des sédiments de surface des petits fonds d'Ennefidha, les échantillons prélevés ont fait l'objet d'analyse granulométriques et minéralogique couvrant toute la zone du littoral d'Ennefidha entre 2 et 25 m de profondeur.

Les sédiments prélevés de plage sous-marine de la frange littorale d'Ennefidha ont fait l'objet d'analyses granulométriques et minéralogiques (Folk, 1966 ; Folk and Word, 1975).

La granulométrie consiste à déterminer le pourcentage des grains en fonction de la dimension des grains. Pour les sables, on procède à un tamisage à sec de la fraction grossière ($d > 63 \mu\text{m}$) sur une série de tamis de type Afnor dont les mailles sont en progression géométrique du bas vers le haut (63, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250 μm). Pour chaque fraction grossière ($> 63 \mu\text{m}$), on a tracé une courbe cumulative semi-logarithmique qui représente le pourcentage cumulatif du refus en fonction du diamètre correspondant des grains du sédiment. A partir de chaque courbe, des indices et des ordres de classement numérique ont été déterminés.

Les analyses minéralogiques consistent à déterminer les minéraux argileux et non argileux par diffraction aux rayons, en utilisant un diffractomètre menu d'un

monochromateur à anticathode de cuivre qui sert à émettre la radiation $K\alpha$ du cuivre.

Cette méthode consiste à utiliser la propriété de diffraction d'un faisceau monochromatique de rayons X par les plans réticulaires, en se basant sur la loi de Bragg :

$$n\lambda = 2 d \sin \theta$$

avec :

n : nombre entier λ : $1,54\text{\AA}$ d : distance de deux plans réticulaires θ : angle d'incidence

Détermination des minéraux non argileux

Les minéraux non argileux sont déterminés à partir de l'analyse minéralogique du sédiment total par la " méthode de poudre ". Cette méthode consiste à irradier l'échantillon bien broyé par les rayons X.

Le pourcentage semi-quantitatif de chaque minéral est déterminé par le rapport de hauteur du pic principal du minéral sur la somme des hauteurs des pics principaux des autres minéraux présents.

La détermination de la minéralogie globale des sédiments est réalisée par diffraction aux rayons X de type Pro MRD USCR 188 selon « la méthode de poudre » (Rivière, 1952, 1953 ; Deng et al., 2009). Cette méthode consiste à irradier l'échantillon brut finement broyé dans l'espace angulaire compris entre 2° et 52° en utilisant la radiation $K\alpha$ du cuivre. Les minéraux sont reconnus par la suite sur le diffractogramme grâce à leurs raies caractéristiques

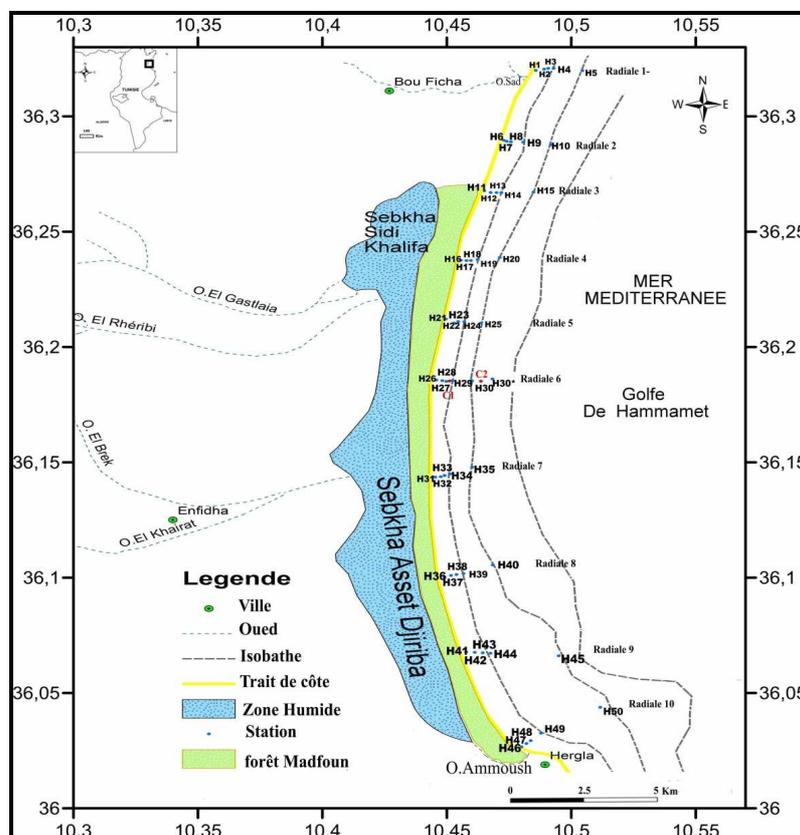


Figure 1 : localisation des points de prélèvements

Tableau I : les coordonnées géographiques des stations des prélèvements des petits fonds et le % des grains

station	Coordonnées	Depth(m)	D>63µm (%)	Station	Coordonnées	Depth(m)	D>63µm
H1	36° 18.479'N 10° 30.351'E	2	100	H28	36° 11.131'N 10° 28.369'E	7	100
H2	36° 18.518'N 10° 30.518'E	5	100	H29	36° 11.143'N 10° 28.487'E	10	100
H3	36° 18.533'N 10° 30.628'E	7	100	H30	36° 11.145'N 10° 28.885'E	20	96
H4	36° 18.493'N 10° 30.900'E	10	100	H30*	36° 11.190'N 10° 29.255'E	25	95
H5	36° 18.480'N 10° 31.362'E	20	99	H31	36° 8.873'N 10° 28.097'E	2	100
H6	36° 16.824'N 10° 29.668'E	2	100	H32	36° 8.889'N 10° 28.192'E	5	100
H7	36° 16.804'N 10° 29.703'E	5	100	H33	36° 8.926'N 10° 28.287'E	7	100
H8	36° 16.798'N 10° 29.756'E	7	100	H34	36° 8.939'N 10° 28.422'E	10	100
H9	36° 16.788'N 10° 29.976'E	10	100	H35	36° 9.109'N 10° 28.810'E	20	94
H10	36° 16.714'N 10° 30.699'E	20		H36	36° 6.520'N 10° 28.294'E	2	100
H11	36° 15.633'N 10° 29.225'E	2	100	H37	36° 6.560'N 10° 28.420'E	5	100
H12	36° 15.591'N 10° 29.368'E	5	100	H38	36° 6.573'N 10° 28.523'E	7	100
H13	36° 15.602'N 10° 29.471'E	7	100	H39	36° 6.599'N 10° 28.682'E	10	100
H14	36° 15.594'N 10° 29.582'E	10	100	H40	36° 6.797'N 10° 29.204'E	20	99
H15	36° 15.608'N 10° 30.133'E	20	100	H41	36° 4.746'N 10° 28.682'E	2	100
H16	36° 14.001'N 10° 28.720'E	2	100	H42	36° 4.730'N 10° 29.131'E	5	100
H17	36° 13.991'N 10° 28.833'E	5	100	H43	36° 4.697'N 10° 29.610'E	7	100
H18	36° 13.996'N 10° 28.905'E	7	100	H44	36° 4.675'N 10° 29.963'E	10	100
H19	36° 14.016'N 10° 29.036'E	10	100	H45	36° 4.565'N 10° 30.733'E	18	99
H20	36° 14.070'N 10° 29.498'E	20	98	H46	36° 2.464'N 10° 29.659'E	2	100
H21	36° 12.618'N 10° 28.373'E	2	100	H47	36° 2.555'N 10° 29.767'E	5	100
H22	36° 12.522'N 10° 28.532'E	5	99	H48	36° 2.624'N 10° 29.846'E	7	100
H23	36° 12.542'N 10° 28.613'E	7	100	H49	36° 2.777'N 10° 30.017'E	10	100
H24	36° 12.542'N 10° 28.740'E	10	100	H50	36° 3.383'N 10° 31.177'E	18	100
H25	36° 12.507'N 10° 29.074'E	20	100	C1	36° 11.140'N 10° 28.432'E	7	100
H26	36° 11.166'N 10° 28.180'E	2	100	C2	36° 11.137'N 10° 29.033'E	24	99
H27	36° 11.151'N 10° 28.296'E	5	99				

RESULTATS ET DISCUSSIONS

1-Analyse granulométrique des sédiments d'Enfidha

L'analyse granulométrique et minéralogique de l'échantillon prélevé dans la plage sous-marine a permis de déterminer les faciès et la répartition des sédiments en relation avec la morphologie et l'hydrodynamique de la zone étudiée.

L'analyse granulométrique des sédiments de surface prélevés a permis de déterminer le pourcentage de la fraction grossière dont le diamètre des particules est supérieur à 63 µm (figure 16) et de la fraction fine dont le diamètre des particules est inférieur à 63 µm (tableau I).

Les sédiments prélevés des petits fonds d'Enfidha sont caractérisés par un faciès sableux dont la fraction grossière représente 100% dans la majorité des échantillons. Quelques échantillons présentent une très faible teneur en fraction fine.

L'analyse granulométrique montre que les sédiments ont un faciès essentiellement sableux avec 95 à 100 % de la fraction grossière.

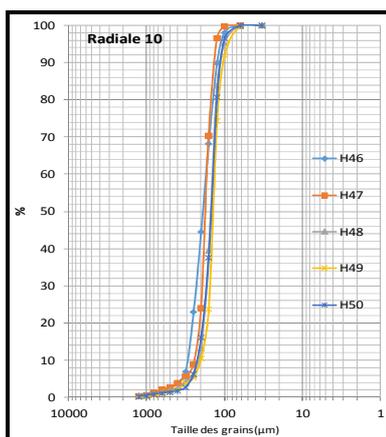


Figure 2: Courbes en forme de S bien régulières

Courbes cumulatives

Les courbes cumulatives semi-logarithmiques des sédiments de surface de la plage sous-marine, ont, en général, la forme d'un S à forte pente, ou bien la forme d'un S plus ou moins étalé (figures 2 et 3).

Les courbes en forme d'un S à forte pente bien redressé et bien régulier malgré l'existence de légères différences dans leurs allures (figure 2) indique qu'il s'agit de sables bien classés dans un milieu peu agité avec évacuation des particules fines vers le large par les houles. Une telle forme des courbes montre aussi qu'on a un stock sédimentaire homogène et des conditions d'énergie adaptées à la charge transportée. Ce type de transport est observé au niveau des radiales R1, R8, R9 et R10

Les courbes cumulatives des échantillons R2, R3, R4, R5, R6, R7, prélevés de la plage sous-marine dans le littoral d'Enfidha, ont la forme d'un S plus ou moins étalé (figure 3) qui indique des sables à classement moyen et un milieu plus ou moins agité.

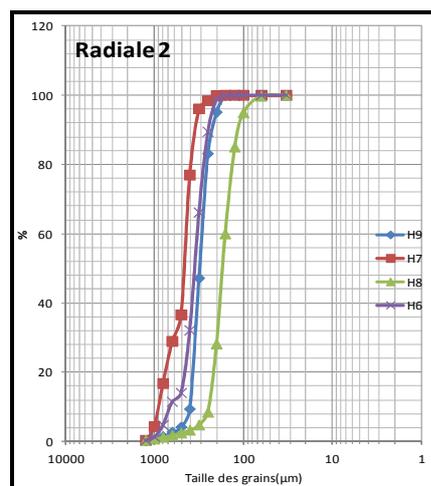


Figure 3: Courbes en forme de S plus ou moins étalées

Indices granulométriques des sables

A partir de chaque courbe granulométrique des indices granulométriques sont calculés (Folk, 1957). Les indices granulométriques pour chaque échantillon analysés sont mentionnés dans le tableau III.

La moyenne

Les valeurs de la moyenne de tous les échantillons sont comprises entre 0.79 et 3.17 ϕ , ce qui indique des sables moyens et fins (figure 4). A l'exception des échantillons H7 et H25 qui présentent des sables grossiers et graviers. La taille des grains de sables diminue en allant des petits fonds (2m) au large (20m). Il existe, donc, un tri granulométrique effectué

par les courants de houles, spécialement les courants de retour, qui mobilisent les particules, de taille très petite, tapissant la plage sous-marine peu profonde et laissent celles de taille plus importante à leur place. Les particules les plus fines sont, ensuite, transportées et déposées au niveau des petits fonds plus profonds. En effet la fraction fine inférieure à 250 µm se trouve au large entre les isobathes -10m et -25m. Les sédiments dont la taille moyenne est supérieure à 250 µm tapissent les petites profondeurs entre 0 et 10 m. Les sabliers caractérisés par une granulométrie grossière sont localisés près des embouchures des oueds et les sebkhas (Oued Choggaf et Sebkha Sidi Khalifa)

L'écart-type

Suivant sa valeur, on distingue plusieurs types de sables :

- Sable très bien classé : $\sigma < 0,35 \phi$
- Sable bien classé : $0,35 \phi < \sigma < 0,5 \phi$
- Sable modérément classé : $0,5 \phi < \sigma < 1 \phi$

La majorité des sables ont des valeurs d'écart type variant entre 0.27 et 0.73 ϕ . Ils sont donc bien à très

bien classés (figure 5) et sont déposés dans des milieux à faibles énergies.

Les sables prélevés dans le littoral de Bouficha, à une profondeur de 2 m et les sables des petits fonds de toute la zone prospectée, profonds de 20, ont un écart type compris entre 0,5 et 0,73 ϕ . Ces sables sont, donc, modérément classés et sont déposés dans un milieu plus agité. Il existe donc un courant près du fond à l'isobathe -20m.

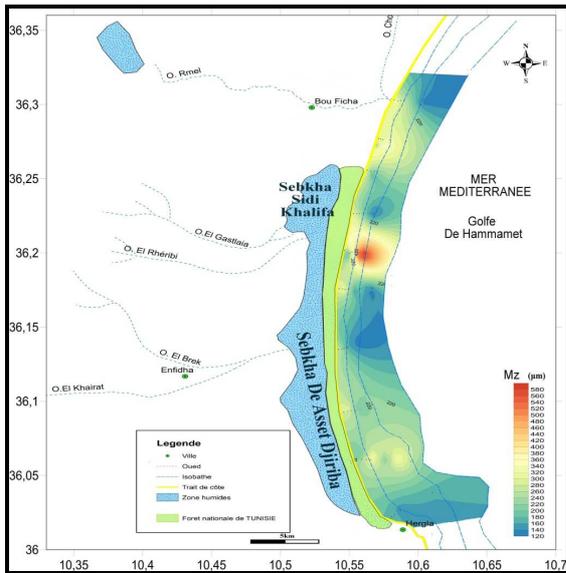


Figure 4: Répartition spatiale de la taille moyenne Mz (μm)

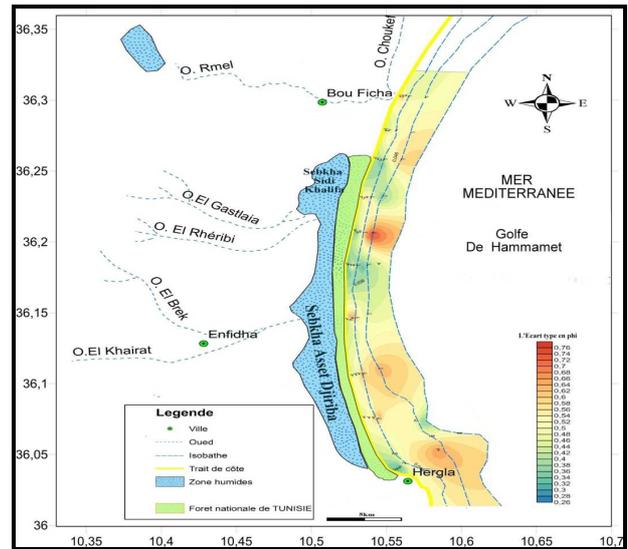


Figure 5 : Répartition spatiale d'écart type en phi

Skewness ou coefficient d'asymétrie (Ski)

Il permet de déterminer la déviation de la courbe granulométrique par rapport à la courbe de Gauss. Les valeurs de Skewness varient entre -2.37 et 1.48 ϕ (tableau II)

En fonction de sa valeur, on distingue :

- 1 $\phi < Ski < -0,30 \phi$: Courbe très asymétrique vers les grossiers
- 0,30 $\phi < Ski < -0,10 \phi$: Courbe asymétrique vers les grossiers
- 0,10 $\phi < Ski < 0,10 \phi$: Courbe presque symétrique
- 0,10 $\phi < Ski < 0,30 \phi$: Courbe asymétrique vers les fins

0,30 $\phi < Ski < 1 \phi$: Courbe très asymétrique vers les fins

Les courbes granulométriques présentent une asymétrie vers les grossiers au niveau des petits fonds peu profonds (2 m) et tendent à devenir asymétriques et très asymétriques vers les fins en allant vers les petits fonds les plus profonds (10 et 20 m). Ceci témoigne l'existence du tri granulométrique, déjà constaté, en allant de la plage sous-marine peu profonde vers le large.

Le coefficient d'uniforme

Le coefficient d'uniformité est inférieur à 2 pour tous les échantillons (tableau II). Donc, les sables présentent une granulométrie uniforme.

Tableau II : Indices granulométriques des sédiments

station	Prof (m)	Médiane (μm)	MZ (ϕ)	Ecart-type (ϕ)	SKI (ϕ)	U (ϕ)
H1	2	303	1,802	0,513	-0,177	0,64
H2	5	365	1,532	0,598	0,272	0,56
H3	7	271	1,926	0,404	0,138	0,68
H4	10	253	2,035	0,458	0,605	0,74
H5	20	136	2,904	0,464	-0,405	0,74

H6	2	370	1,477	0,479	-0,487	0,54
H7	5	557	0,924	0,515	-0,707	0,49
H8	7	182	2,488	0,441	-0,152	0,67
H9	10	321	1,659	0,321	0,105	0,73
H10	Herbiers	Herbiers	Herbiers	Herbiers	Herbiers	Herbiers
H11	2	321	1,665	0,391	0,115	0,68
H12	5	301	1,751	0,372	-0,308	0,85
H13	7	195	2,379	0,458	-1,403	0,53
H14	10	182	2,49	0,325	-0,075	0,69
H15	20	236	2,152	0,531	1,483	0,84
H16	2	307	1,734	0,404	0,009	0,63
H17	5	318	1,687	0,442	0,207	0,63
H18	7	291	1,801	0,304	-0,047	0,71
H19	10	287	1,873	0,615	-0,559	0,56
H20	20	126	3,022	0,362	0,388	0,79
H21	2	290	1,807	0,343	-0,041	0,71
H22	5	151	2,869	0,407	-2,378	0,69
H23	7	194	2,397	0,342	-0,138	0,67
H24	10	245	2,07	0,386	0,444	0,78
H25	20	631	0,792	0,674	-0,58	0,33
H26	2	280	1,85	0,276	-0,114	0,75
H27	5	307	1,727	0,379	0,094	0,7
H28	7	291	1,803	0,372	-0,016	0,71
H29	10	309	1,717	0,413	-0,47	0,67
H30	20	117	3,16	0,56	0,128	0,58
H30*	25	114	3,171	0,435	0,119	0,91
H31	2	259	1,974	0,313	0,23	0,82
H32	5	286	1,828	0,403	-0,352	0,63
H33	7	215	2,25	0,37	0,038	0,66
H34	10	172	2,554	0,294	-0,042	0,71
H35	20	128	3,074	0,736	-1,083	0,38
H36	2	287	1,86	0,553	-0,744	0,52
H37	5	294	1,807	0,437	-0,041	0,59
H38	7	286	1,849	0,462	-0,099	0,61
H39	10	184	2,458	0,308	-0,415	0,69
H40	20	229	2,193	0,719	-1,06	0,38
H41	2	352	1,559	0,569	-0,506	0,44
H42	5	339	1,625	0,598	-0,253	0,4
H43	7	226	2,186	0,382	0,267	0,7
H44	10	194	2,421	0,502	-1,006	0,48
H45	18	171	2,611	0,645	-1,392	0,48
H46	2	200	2,367	0,456	-0,337	0,57
H47	5	185	2,46	0,354	-0,581	0,68
H48	7	161	2,645	0,36	-0,482	0,66
H49	10	148	2,768	0,33	-0,087	0,7
H50	18	163	2,635	0,331	-0,178	0,62
C1	7	352	1,55	0,492	-0,522	0,58
C2	24	217	2,262	0,595	-0,091	0,51

Diagramme de Passega

La représentation, sur le diagramme de Passega (Passega, 1957), de la position des points représentatifs des sédiments superficiels à granulométrie uniforme dans le littoral d'Enfidha montre que les valeurs du premier centile varient entre 500 et 1350 μm et que les valeurs de la médiane varient entre 116 et 560 μm (figure 6). Les sables de la plage sous-marine d'Enfidha sont déplacés selon

deux modes de transport. Les sédiments sont transportés par saltation ou roulement dans les profondeurs entre 5 et 7 m ; zone de déferlement de la houle au niveau des stations (QP : h22 H23 H34 H41 H47 H48 H50). Les sédiments au niveau des autres stations sont transportés essentiellement par roulement ou suspension gradée (PO : H1 H2 H3 H6 H7 H9 H11 H12 H13 H15 H16 H18 H19 H20 H25 H28 H32 H36 H39 H40 H42 H45 H46 C2)

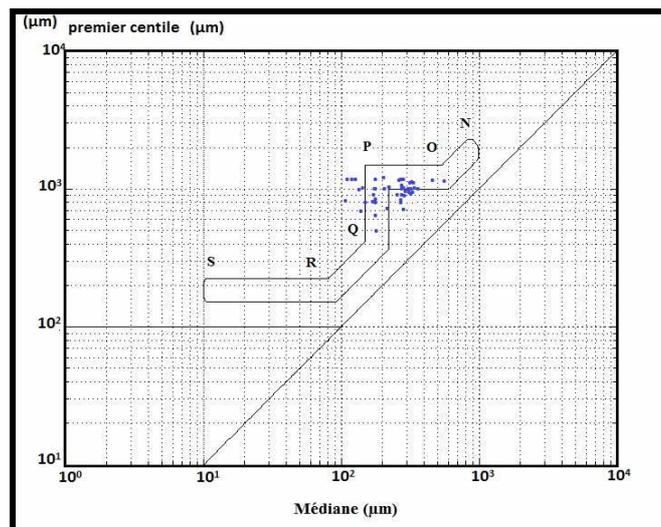


Figure 6: Diagramme de Passega

2-Minéralogie des sédiments superficiels

L'analyse minéralogique des sédiments superficiels par diffraction aux rayons X montre que les principaux minéraux non argileux sont le quartz, la calcite, la calcite magnésienne et la dolomite (figure 7 et tableau III). La répartition des pourcentages semi-quantitatifs de ces minéraux montrent que :

- Le Quartz est le minéral le plus dominant. Il est présent avec des teneurs variant de 49% à 99%. Sa teneur diminue, généralement, en allant de la côte vers le large. (figure 7)

Le Quartz aurait pour origines les sédiments plio-quaternaire, essentiellement les affleurements sablo-argileux des bassins versants du golfe de Hammamet, représentés par une série de reliefs dominés au Cap Bon par Djebel Abderrahmane, dont les formations sont entaillées par le réseau hydrographique (Oued Lena et Oued Chiba. Ces oueds constituent des aires nourricières potentielles dans l'alimentation de l'engraissement des plages et des cordons littoraux.

Tableau III : les pourcentages des minéraux non argileux
Des sédiments de surface dans le littoral d'Enficha

Station	prof (m)	% quartz (SiO ₂)	% Calcite (CaCO ₃)	% calcite magnésienne (Ca _{0,85} Mg _{0,15})CO ₃	% Aragonite (CaCO ₃)
H1	2	99	1		
H2	5	87	11	2	
H3	7	96	2	2	
H4	10	87	13		
H5	20	78	16	6	
H11	2	89	4	7	
H12	5	83	17		
H13	7	95	5		
H14	10	96	4		
H15	20	91	4	5	
H26	2	91	4		5
H27	5	60	17	8	15
H28	7	91	9		
H29	10	74	18	8	
H30	20	51	43	6	
H30*	25	49	43	8	
H36	2	92	8		
H37	5	79	10		11
H38	7	76	10	8	6
H39	10	87	7	6	
H40	20	93	3	2	2
H46	2	93	2	3	2

H47	5	94	2	2	2
H48	7	87	8	2	3
H49	10	68	17	7	8
H50	18	71	14	8	7

- La Calcite présente des teneurs comprises entre 1% et 43% (tableau III). Elle devient généralement, de plus en plus fréquente de la côte vers le large. La teneur en Calcite est, particulièrement, importante aux de H30 et H30 où le pourcentage est de 43%. La calcite peut être expliquée par la présence des débris coquilliers et des apports détritiques terrigènes.

- La calcite magnésienne est présente dans les minéraux non argileux avec des teneurs faibles. Les teneurs varient entre 0 et 8% (tableau III). Ce minéral

est le résultat d'une substitution partielle du calcium par du magnésium (Mg 1 et 0.9 Ca) (Moose et Mackenzie, 1990). Les teneurs les plus élevées sont au niveau des stations H27, H29, H30* et H38

- L'Aragonite présente les teneurs les moins faibles dans les minéraux non argileux dans le littoral d'Enficha (tableau III). Les teneurs varient entre 0 et 15 %. Les concentrations les plus importantes sont au niveau de la station H27

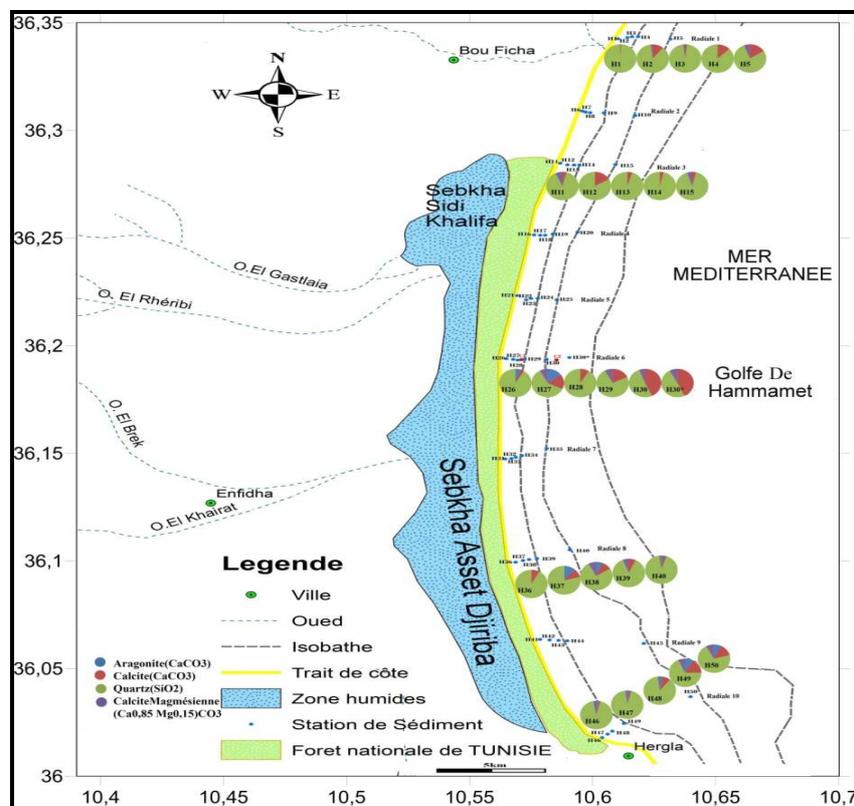


Figure 7: répartition des minéraux non argileux dans les sédiments superficiels dans le littoral d'Enficha

CONCLUSION GENERALE

L'analyse granulométrique des sédiments superficiels de la frange littorale située entre Bouficha et Hergla, montre que la plage sous-marine est tapissée par des sables moyens et fins, généralement bien, très bien classés et modérément classés. Les sables bien et très bien classés (5 - 20 m) se déplacent, essentiellement, par suspension gradée. Ils sont déposés dans un milieu peu agité avec évacuation des particules fines vers le large par les houles. Les sables modérément classés localisés à 2 m et à 20m sont déposés dans un

milieu plus agité. Les sédiments fins sont transportés par les courants près du fond dans ces profondeurs.

L'analyse de la répartition granulométrique des sédiments de surface le long d'un profil transversal de la côte vers le large, jusqu'à -25 m de profondeur, montre un granoclassement décroissant de la côte vers le large. Des sables moyens sont localisés dans les faibles profondeurs à -2m. Les sables fins sont localisés entre 5 et 25 m à l'exception des échantillons collectés au niveau de l'isobathe -20m qui montrent une granulométrie moyenne. La présence de ces grains moyens à cette profondeur

peut être expliqué par un courant de direction NW/SE et qui est responsable à l'évacuation des sédiments fins.

Les courbes cumulatives semi-logarithmiques des sédiments de surface de la plage sous-marine, ont, en général, la forme d'un S à forte pente, bien redressé et bien régulier et d'un S plus au moins étalé. Ceci montre qu'on a un stock sédimentaire homogène et des conditions d'énergie adaptées à la charge transportée.

Les analyses minéralogiques servent à caractériser, de plus, les sédiments de la frange littorale d'Enfidha. Elles montrent que ces sables sont constitués par deux minéraux principaux qui sont le Quartz et la Calcite, aux quels s'ajoutent la calcite magnésienne et l'aragonite, en faibles proportions. Le Quartz provient, essentiellement, des terrains géologiques limitrophes du littoral, des apports détritiques terrigènes et des apports éoliens en provenance des zones bordières.

Les oueds constituent des aires nourricières potentielles dans l'alimentation de l'engraissement des plages et des cordons littoraux en quartz.

La teneur en Calcite augmente, généralement, de la côte vers le large. Elle aurait pour origine les apports détritiques terrigènes et les débris coquilliers.

BIBLIOGRAPHIE

- Abdennadher, J., Boukthir, M., 2006. Numerical simulation of the barotropic tides in the Tunisian shelf and the strait of Sicily. *J. Mar. Syst.* 63, 162–182.
- Amari A. (1984) : Contribution à la connaissance Hydrologique et sédimentologie de la plateforme de Kerkennah .thèse 3cycle. Faculté de science de Tunis, 251p.
- Ben Mustapha et Hatour. 1992 : Herbiers de posidonies, éponges et Méga-Benthos Importants du golfe de Hammamet. Elaboration d'une étude de création d'aires marines protégées et de récifs artificiels, Direction Générale de l'environnement et la Qualité de la Vie l'Institut Nationale des Sciences et Technologique de la Mer .pp 91-128.
- Brahim. M 2002 : sédimentation dans le golfe de Hammamet .Rapport final. Elaboration d'une étude de création d'aires marines protégées et de récifs artificiels, Direction Générale de l'environnement et la Qualité de la Vie .l'Institut Nationale des Sciences et Technologique de la Mer. pp 18-43.
- Brahim M., Atoui A., Sammari C., Aleya L., 2014: Surface sediment dynamics along the eastern coast of Djerba Island (Gabes Gulf, Tunisia). *Journal of African Earth Sciences* 92 (2014) 45–54.
- Brahim M., Atoui A., Sammari C., Aleya L., 2014: Surface sediment dynamics along the shores of Tunis Gulf (North-Eastern Mediterranean). *Journal of African Earth Sciences* 103 (2015) 30–41.
- Brahim M., Atoui A., Sammari C., Aleya L., 2015: Surface sediment dynamics along the Tunisian coast at Skhira (Gulf of Gabès, south-eastern Tunisia). *Journal of African Earth Sciences* 112 (2015) 73–82.
- Colleuil B .1976 : Etude stratigraphique et néotectonique des néoformations et quaternaires de la région de Nabeul-Hammamet (Cap-Bon. Tunis) Diplôme d'étude Supérieures .Université Nice.34p.
- Deng, Y., White, G.N., Dixon, J.B., 2009. *Soil Mineralogy Laboratory Manual*. 11th ed. Published by the authors, Department of Soil and Crop Sciences. Texas A&M University, College Station, Texas, pp. 77843–2474.
- Direction des ressources en eau et en sol. (1973) carte de pédologie de Tunis[En ligne] 1:500000,1carte couleur, 418x4280 pixels, 3,86 Mo.
http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/esdb_archive/EuDASM/africa/maps/afr_tncpd1.htm
- Direction générale des ressources en eau et direction des eaux de surface (2007–2008), *Annuaire hydrologique de la Tunisie*, Ministère de l'agriculture et des ressources hydrauliques et de la pêche, 241p.
- El Batti D.1974 : Hydrogéologie de la plaine d'Enfidaville .Thèse de 3 cycle université de science et Méditerranéenne. Grenoble .121p
- Folk R. L (1966): Review of grain-size parameters, *Sedimentology*, Oxford. .6.pp13-27
- Folk, R. and Ward, W., 1957. Brazors river bars, a study in significance of grain size parameters. *J. Sedim. Petrol.* 27, 13–27.
- Klein, C., Hurlbut Jr., C.S., 1993. *Manual of Mineralogy*, 21st ed. John Wiley Sons, Inc., New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore, 681pp.
- Mose, E., Mackenzie, K., 1990. *Geochemistry of Sedimentary Carbonates*, Book, first ed. Elsevier Science.
- Oueslati A .1991: Coastal morpholgy and sea level rise consequence in Tunisia Vol 2.p212.
- Oueslati, A., 2004. Littoral et aménagement en Tunisie. Des enseignements de l'expérience du vingtième siècle et de l'approche géoarchéologique à l'enquête prospective. Faculté des Sciences humaines et Sociales Tunis. ISBN 534p.
- Passega, 1957: Texture as characteristic of clastic deposition *Ann, Asse Petrol, Geology*, V.41, pp1952-1984.

- Paskoff R.1981 :L'érosion des plages en Tunis Rev Tunis Géogr., n°8,pp 82-96.
- Paskoff R.1994 : les littoraux impacts des aménagements sur leur évolution 2^{ème} édition ,256p.
- Rivière, A., 1952. Expression analytique générale de la granulométrie des sédiments meubles. Bull. Soc. Géol. Fr. 61, 155.
- Rivière, A., 1953. Méthode d'interprétation des granulométries des sédiments meubles. Rev. Inst. Fr. du Pétrole et Annales des combustibles liquides, vol. 8, pp. 102–1952.
- Sammari, C., Millot, C., Taupier Letage, I., Stefani, A., Brahim, M., 1999. Hydrological characteristics in the Tunisia-Sardinia-Sicily area during spring 1995. Deep Sea Res. I, 1671–1703
- Tsimplis M.N., Proctor R., Flathier R.A. (1995). *A two-dimensional tidal model for the Mediterranean Sea*. Journal of Geophysical Research, Vol. 100(C8), pp 16223-16239. <http://dx.doi.org/10.1029/95JC01671>
- Zaara Chadia. (1996) : Etude de la stabilité du littoral du golfe de Hammamet mémoire de fin d'étude .Faculté de science de Tunis .105p.