

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهئية الساحل
Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DES ETUDES
UNIVERSITAIRES APPLIQUEES (DEUA) EN SCIENCES DE LA MER**

Sujet :

**L'étude des contraintes critiques de cisaillement pour la mise en mouvement des
sédiments (entre les isobathes - 20 et -35 m) sous l'action de courants mesurés au
niveau de la plage Est de Sidi Fredj.**

Préparé par :

-AMARA Abderzak
-OUCHELLI Amar

Présenté à la commission de jury suivante:

Examineur : **M.HELLAL. M**
Promoteur : **M. HEMDANE. Y**

-session.....2009-

Remerciements

*On remercie tous ceux qui nous ont aide de près ou de loin
pour la réalisation de ce modeste mémoire.*

*On tient à remercier profondément notre promoteur M.
Hemdane Yacine qui nous a accordé une aide précieuse et
bienveillante.*

On tient à lui témoigner notre profonde gratitude.

*On remercie également tous les enseignants pour les efforts
qu'ils n'ont cessé de nous fournir durant notre cursus
universitaire.*

Sommaire

Introduction général.....	4
Chapitre I : Présentation de la zone d'étude	
I.1. Cadre géographique.....	6
I.2. Cadre géologique.....	7
I.2.1. Sédimentologie.....	8
I.2.2. Morphologie sous marine de la baie de Bou Ismail	9
I.3. Aspect du milieu physique et naturel	10
I.3.1. Les roches sédimentaires	10
I.3.1.1. L'érosion marine	10
I.3.1.2. Transport des sédiments	10
I.3.1.3. Le dépôt de sédiments	10
I.3.2. Données météorologies et hydrodynamiques	11
I.3.2.1. Données météorologies	11
Les vents.....	11
I.3.2.2. Données hydrodynamique :.....	12
I.3.2.2.1. Les houles.....	12
I.3.2.2.2. Les vagues	13
I.3.2.2.3. Les courants généraux	13
Chapitre II : Matériels et méthodes	
II.1. Les mesure en mer.....	15
II.1.2. Prélèvement des sédiments.....	15
II.1.3. Prélèvements	16
II.1.4. Mesure des courants	17
II.1.4.1. Le courantomètre 108 MK III.....	17
II.1.4.2. Les composants du courantomètre 108 MK III	18
Instruments	18
Installation	18
Control Diplay Unit	19
II.2. Travaux en laboratoire.....	20
II.2.1. Analyse granulométrique	20

II.2.1.1.Principe de la méthode	20
II.2.1.2.Mode opératoire de l'analyse granulométrique	21
II.2.2.Traitement des données	22
II.2.2.1.Les paramètres granulométriques	22
II.2.2.1.1.Le diamètre moyen M_z	22
Classification de la taille des sédiments ASTM.....	22
II.2.2.1.2.L'indice de tri S_i	23
Classification du tri des grains du sédiment.....	23
II.2.2.1.3.L'indice d'asymétrie (Skewness) Sk	23
Classification de l'asymétrie des grains du sédiment.....	23
II.2.2.2. Le profil logarithmique des vitesses et contraintes de cisaillement.....	24
Rappel sur la notion de la mise en mouvement des sédiments.....	24
II.2.2.2.1.La vitesse critique de cisaillement	25
II.2.2.2.1. La vitesse de cisaillement.....	26
Chapitre III : Résultats et discussion	
III.1. Résultats de l'analyse granulométrique	29
III.1.2. discussion des indices granulométriques	30
III.1.2.1. Le diamètre moyen	30
III.1.2.2. L'indice de tri (S_i)	30
III.1.2.3. l'indice d'asymétrie (Sk)	30
III.1.3. résultat des indices granulométriques (entre les isobathes -20m et - 35m).....	31
III.2.1. Résultats la vitesse de cisaillement (u^*) et la vitesse critique de cisaillement (u^*_{cr}).....	34
III.2.2. Résultat des directions et des vitesses du courant (entre -20 m et -35)	35
Discussion et conclusion	36
Bibliographies	

Liste des figures

Figure n° 1: la presqu'île de Sidi Fredj.....	6
Figure n° 2: carte biosédimentaires de la baie de Bou Ismail.....	8
Figure n° 3: carte de la morphologie sous marine de la baie de Bou Ismail.....	9
Figure n° 4: Carte de la Circulation de l'eau de l'Atlantique modifiée (<i>Modified Atlantic Water</i> MAW) et l'eau hivernale intermédiaire (<i>Winter Intermediate Water</i> WIW) (Milot, 1999).....	11
Figure n° 5: Schéma présentant le fonctionnement de la benne « Van Veen ».....	15
Figure n° 6: photo d'un échosondeur et d'un GPS.....	16
Figure n° 7: Localisation des stations de prélèvements et de mesures du courant	16
Figure n° 8: Le courantomètre 108 MKIII.....	17
Figure n° 9: Les composants d'un courantomètre 108 MK III.....	18
Figure n° 10: Control Display Unit.....	19
Figure n° 11: (a)Schéma d'une couche limite près du fond ; d'après Van Rijn (1993), (b) contrainte de cisaillement et mise en mouvement des particules sédimentaires.....	25
Figure n° 12: Carte du diamètre moyen des grains (entre -20 et -35).....	31
Figure n° 13: Carte de l'indice de tri (entre -20 et -35).....	32
Figure n° 14: Carte de l'indice d'asymétrie (entre -20 et -35).....	33
Figure n° 15: Carte des directions et des vitesses du courant (entre -20 et -35m)	35

Liste des tableaux

Tableau n°1 : Représentation récapitulative de (%) des vents fréquents par saison (O.N.M) dans la région de Sidi Fredj.....	11
Tableau n°2 : fréquence mensuelle (1mois=100%) par direction de houle, au large de Bou-Ismaïl.....	12
Tableau n°3 : diamètres des grains et appellations correspondants à la norme française.....	20
Tableau n°4 : les valeurs des indices granulométriques : Le diamètre moyen(Mz), L'indice de tri (Si), L'indice d'asymétrie (Sk)	29
Tableau n°5 : Les valeurs de la vitesse critique de cisaillement (u_{*cr}) et la vitesse de cisaillement (u_*).....	34

Liste abrégée des symboles

D : diamètre moyen des grains (m)

g : accélération de la pesanteur ($m \cdot s^{-2}$)

k : constante de von Karman

Sk : Skewness (adimensionnel)

u_z : vitesse moyenne à une hauteur z au-dessus du fond ($m \cdot s^{-1}$)

u_* : vitesse de cisaillement ($m \cdot s^{-1}$)

u_{*cr} : vitesse critique de cisaillement pour le début d'un transport sédimentaire sur le fond ($m \cdot s^{-1}$)

Y : paramètre de Yalin

z : hauteur au-dessus du fond (m)

ϕ (Φ) : échelle Phi de Krumbein $f = -\log_2 x$ (mm)

ν : viscosité cinématique du fluide ($m^2 \cdot s^{-1}$)

ρ : densité du fluide ($kg \cdot m^{-3}$)

ρ_s : densité du sédiment ($kg \cdot m^{-3}$)

Introduction

Sous l'effet des vagues, de la houle et des différents courants marins, les fonds sédimentaires sont en perpétuelle façonnement.

Cette modulation des fonds marins et/ou les mouvements sédimentaires est une information capitale aussi bien pour l'aménagement et la protection du littoral que pour les études de l'écologie et de la pollution marines (répartition des espèces benthiques, dispersion des polluants, etc.)

C'est dans cette optique que s'inscrit notre travail qui consiste à étudier les contraintes critiques de cisaillement pour la mise en mouvement des sédiments (entre - 20 et -35 m) sous l'action de courants mesurés au niveau de la plage Est de Sidi Fredj.

L'étude de l'entraînement des sédiments sur les fonds marins des eaux peu profondes a été réalisée grâce à la méthode de Yalin pour l'étude des vitesses critiques de cisaillement pour l'initiation d'un mouvement des fonds marins sédimentaires (**Miller *et al*, 1977**).

Parce que les effets de frottement sur le fond sont moins importants au large par rapport à la côte (**Niedoroda *et al*, 1985; Swift *et al*, 1986 ; Hemdane, 2006**), nous avons essayé d'étudier ces frictions sur des profondeurs intermédiaires (entre le large et la côte).

Grâce à une méthodologie basée essentiellement sur des mesures sur le terrain, nous présentons dans ce travail quelques résultats relatifs à notre méthodologie adoptée en mer et en laboratoire et ce pour des conditions météomarines de faible agitation (faible vent).

CHAPITRE I

PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

I.1. Cadre géographique

La presqu'île de Sidi-Fredj appartient à la baie de Bou-Ismaïl, qui est située à l'Ouest d'Alger et qui est délimitée par le cap de Ras Acras à l'Est, et du mont Chenoua à l'Ouest.

Au voisinage la presqu'île de Sidi-Fredj se trouvent deux anses, l'anse Est et l'anse Ouest.

Le côté Est de la presqu'île de Sidi-Fredj est marqué par de grandes étendues sableuses constituant la plage Est, Moretti et Club des Pins. En s'éloignant vers l'Est, des criques individualisées par les affleurements rocheux y prennent place.

Du côté Ouest, on observe également des étendues sableuses constituant les plages suivantes : plage Ouest, Palm Beach et Azur plage.

Notre zone d'étude se situe dans l'anse Est « plage Est ». (fig.une)

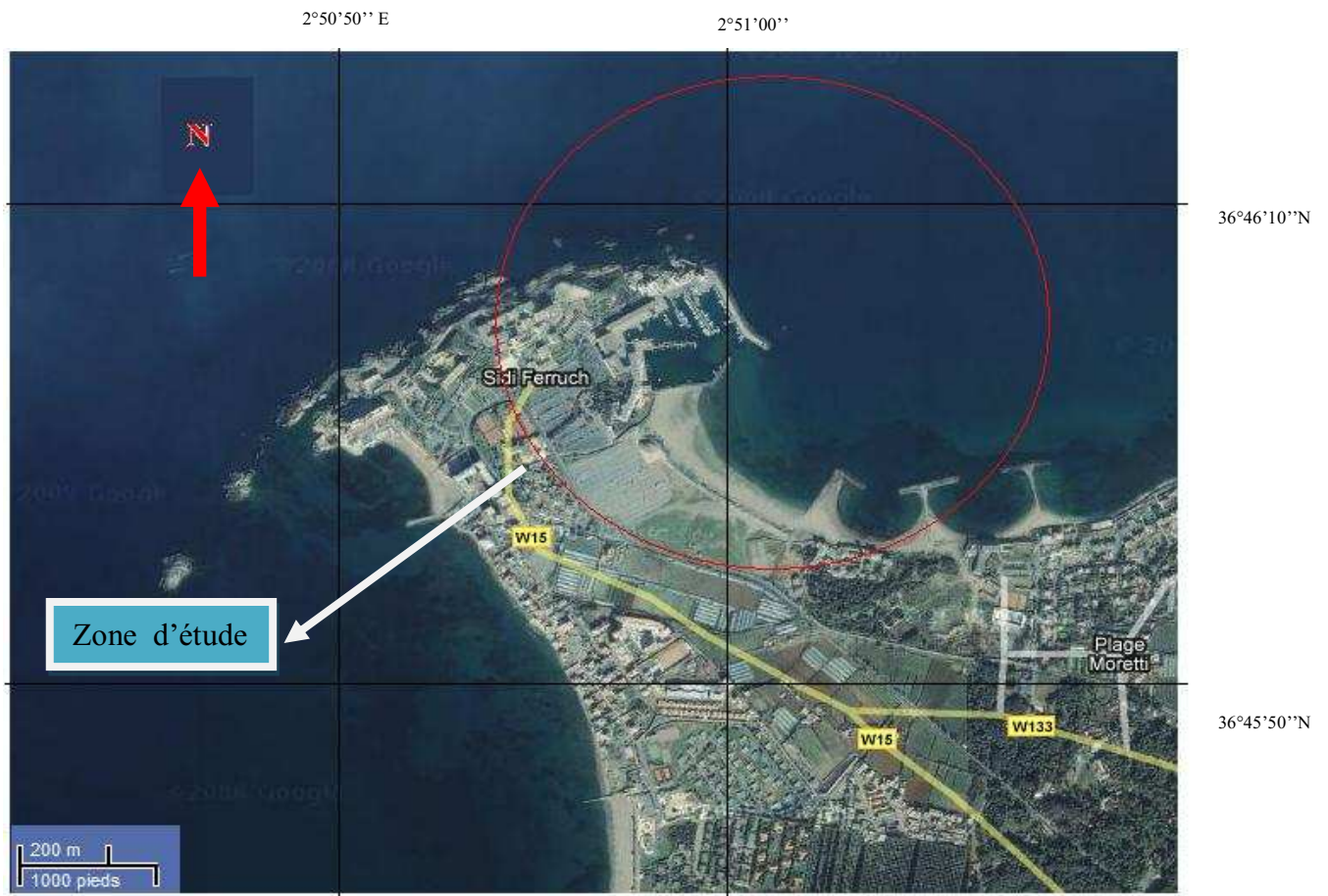


Figure n°1 : la presqu'île de Sidi Fredj (source google earth 2006).

I.2. Cadre géologique :

Les affleurements de la presqu'île de Sidi-Fredj sont les prolongements de l'important ensemble cristallin de la grande Kabylie, auquel se rattache le massif granitique de Thénia (Leclaire, 1972).

Du point de vue géologique la presqu'île de Sidi-Fredj est caractérisée par deux ensembles :

- Le socle dont les affleurements sont considérés comme une partie du massif d'Alger qui est formé par des roches métamorphiques (gneiss, micaschistes et calcaires métamorphiques (Degiovanni, 1973 in Ghehioeche et Zelmat, 1996).
- Les formations sédimentaires déposées au dessus du socle sont d'âge pliocène, calabrien et enfin quaternaires.

Les formations quaternaires constituent une partie de l'arrière plage sur laquelle repose actuellement le mur de protection et le parking du complexe, une partie du platier rocheux est constituée de grés de plages anciennes.

I.2.1. Sédimentologie :

La baie de Bou Ismail est caractérisée par une diversité sur le plan sédimentaire (fig2), sept peuplements ont été identifiés : graviers envasés, vases sableuses, sables fins, vases pures, sables fins envasés, sables graveleux et sables grossiers. Les vases pures et les graviers envasés sont les faciès dominants de la baie de Bou Ismail. Les vases sont très développées dans la région Ouest. Sur notre d'étude les sables fins et les sables fins envasés sont les plus dominants.

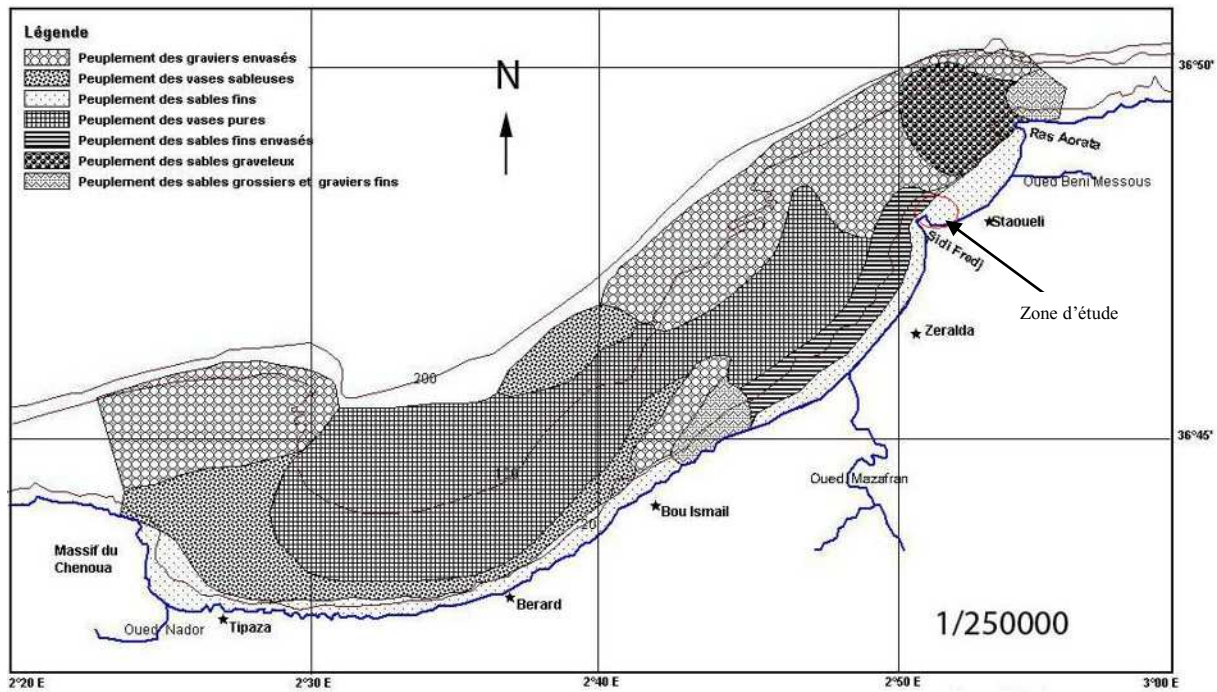


Figure n° 2: carte biosédimentaires de la baie de Bou Ismail (source Bakalem, 2004)

I.2.2. Morphologie sous marine de la baie de Bou Ismail :

Le plateau continental de la baie de Bou Ismail présente une extension maximale de 11 Km. La pente est douce et perturbée par quelques appointement rocheux localisés au large du Mazafran à proximité de Bou Ismail. Sa déclivité augmente après la première rupture de la pente (120m), marquant la limite de ce plateau, au-delà la croissance set également régulière mais avec une pente moyenne (plus de 1%) (Leclaire, 1972). Sur notre zone d'étude, il présente une extension de 6 à 7 Km. (fig.3).

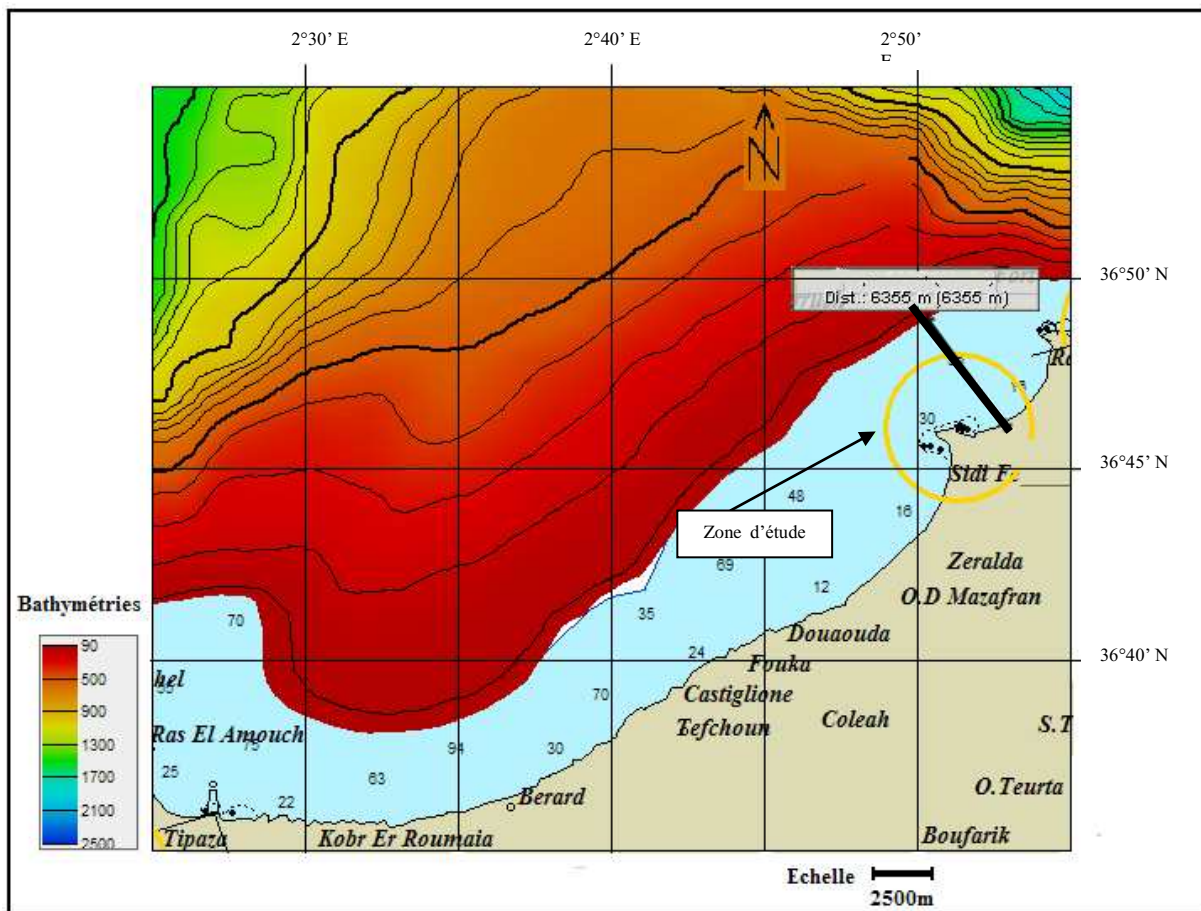


Figure n°3 : carte de la morphologie sous marine de la baie de Bou Ismail

(Source MaxSea Logiciel 2001)

I.3. Aspect du milieu physique et naturel :

I.3.1. Les roches sédimentaires :

Les sédiments et les roches détritiques sont les plus abondants des dépôts sédimentaires. au sein de ces dépôts, ce sont les variétés dont les grains sont les plus fins qui dominent.

Les sables réalisent une partie inséparable du cycle géologique, puisque leurs composants proviennent de l'altération de roches ou de sédiment préexistants, que ces constituants ont subi un certain transport et qu'ils se sont déposés ou ont été précipités dans un bassin de sédimentation.

I.3.1.1. L'érosion marine :

Les principales causes de l'érosion marine sont les vagues et les courants, auxquels on peut additionner l'action d'altération chimique (embruns emportés par le vent).

Le matériel sédimentaire mobilisé subit ensuite un tri granulométrique : le matériel fin est emporté vers les larges ou déposé dans des zones calmes alors que le matériel grossier s'accumule à proximité de la côte. Les sédiments mis en suspension par les vagues peuvent être également transportés par les courants.

I.3.1.2. Transport des sédiments :

Plusieurs modes de transport ont été observés :

- ✓ Transport longitudinal.

- ✓ Transport transversal.

I.3.1.3. Le dépôt de sédiments :

Le dépôt des sédiments a lieu lorsque la vitesse de l'agent de transport (courant) diminue ou lorsque cet agent de transport disparaît. La granulométrie des particules, la texture des sédiments, la géométrie des dépôts sont d'importants indices sur l'agent de transport, sa vitesse au moment du dépôt, sa direction, ...etc.

Dès qu'une particule est mise en suspension, elle commence instantanément à sédimenter, la vitesse de sédimentation augmente avec la taille des grains.

I.3.2. Données météorologies et hydrodynamiques :

I.3.2.1. Données météorologies :

Les vents

Le vent joue un rôle très important pour une étude hydro-sédimentaire ainsi que pour les mouvements des masses d'eau, il est le principal concepteur des houles et des courants du rivage, il conditionne le mécanisme des vagues à la surface, pouvant atteindre des forces considérables. Leurs fréquences et leurs intensités sont à l'origine d'importantes quantités de sables mobilisés.

On remarque que les vents du Nord-Est sont fréquents durant l'été, ils confèrent un temps remarquablement tempéré, les vents de secteur Ouest l'emporte durant l'hiver, responsable d'un transport sableux éolien sur la plage Est (voir tableau n°1). Leur moyenne est relativement faible, la moyenne maximale enregistrée ne dépasse pas 2m/s (donnés S.D.A.T, 1986), ce qui correspond à des vents modérés

Tableau n°1 : Représentation récapitulative des vents fréquents par saison (O.N.M) dans la région de Sidi Fredj en (%).

Période		
Secteur	Hivernale (Octobre-Mars)	Estivale (Avril- Septembre)
Nord-est	19-33	31-58
Ouest	31-46	18-42

I.3.2.2 Données hydrodynamique :

I.3.2.2.1. Les houles :

Les houles jouent un rôle très déterminant sur le transit sédimentaire d'une part, et sur la richesse biologique en assurant dans la zone exposée une circulation des eaux d'autre part. Une analyse des houles est donc nécessaire.

L'analyse des données de la houle faite par le LEM (1983) d'après U.S Naval Weather command pour la période de 1963 à 1970 montre qu'on ne peut considérer que deux périodes.

L'une hivernale avec prédominance au large des houles d'Ouest à Nord-Ouest. L'autre estivale avec prédominance au large des houles de Nord-Est à Est.

Tableau n°2 : fréquence mensuelle (1mois=100%) par direction de houle, au large de Bou-Ismaïl
Source U.S. Naval Weather Service Command (S.S.M.O) 1963-1970, 4500 observations

	N	N-E	E	S-E	S	S-W	W	N-W
Janvier	8.1	12.9	18.2	5	6.5	13.2	28.8	7.3
Février	8.8	10.3	16.6	4	6.1	16.9	35.6	5.8
Mars	11.3	12.6	15.8	3.6	4.5	12.3	30.5	9.2
Avril	11.5	15.4	16	2	4.4	13.7	26.7	10.2
Mai	8.2	26.3	31.9	3	3.3	7.2	13.9	6.2
Juin	9.2	29.1	29.8	1.8	1.4	8.2	16.4	4.2
Juillet	5.9	32.5	35.1	1.4	1	5.9	16.3	2
Août	8.8	27.7	37.3	1.9	1.1	5	13.4	4.9
septembre	6.7	26.4	40.5	2.2	2.3	4.6	14.8	2.5
Octobre	7.8	14.1	20.3	3.2	4.2	14.8	28.8	6.8
Novembre	5.5	5.8	10	5.1	8	15.9	40.4	9.4
Décembre	10.2	6.2	9.4	4.6	7.5	15	37.1	10
moyenne	8.5	18.27	23.4	3.15	4.19	11.05	25.22	6.54

Source : Laboratoire des Etudes Maritimes (L.E.M, 2002) d'après USNWC, 1963-1970 in Belkessa.R, 2008

I.3.2.2. Les vagues :

Les vagues sont des alternances formés sur place par un vent local. Le mouvement de l'eau soumis à des vagues est purement circulaire au large, mais il s'accompagne d'une translation lorsque la vague commence à déferler. Lorsque la direction des vagues est oblique par rapport au rivage, il se produit un phénomène de « dérive littorale » qui se caractérise par des courants parallèles à la côte.

I.3.2.3. Les courants généraux : (Millot, 1984)

La circulation des eaux en méditerranée, le long des cotes algériennes, peut être considéré comme suit :

- ✓ un courant de surface ou courant atlantique de direction Ouest-Est.
- ✓ un courant profond ou courant oriental d'est en Ouest.

Les eaux atlantiques à leur entrée à Gibraltar, se déplacent à une vitesse de 0.51 m/s, ce courant longe les cotes Algériennes et s'écrase contre la cote aux environs de la région algéroise (ALLAIN et FURESTIN, 1969 in Ghehioeche et Zelmat, 1996). ce qui induit des contre courants littoraux dans la région algéroise surtout au niveau de la baie d'Alger.

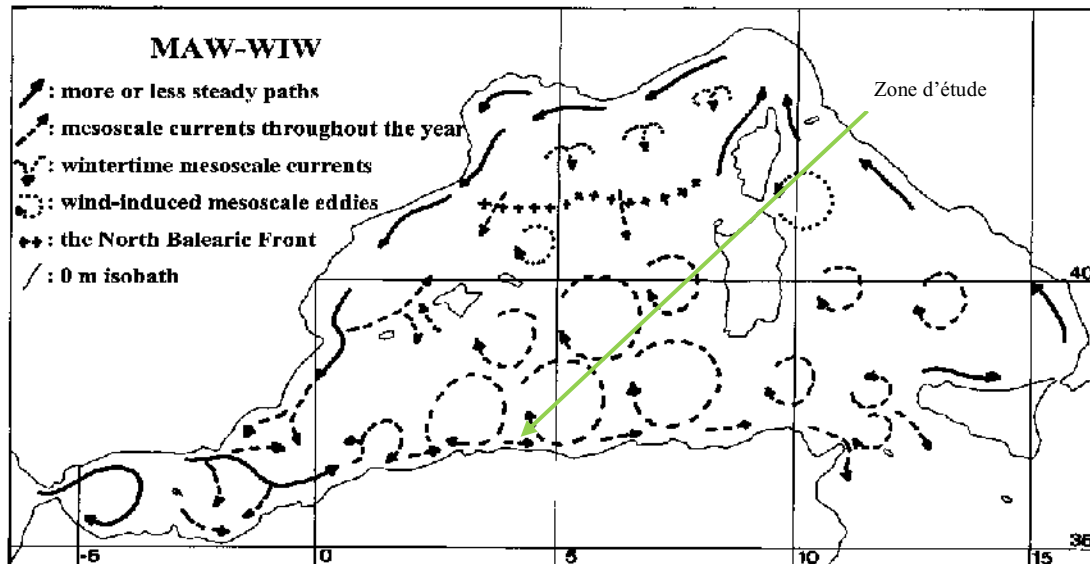


Figure n°4 : Carte de la Circulation de l'eau de l'Atlantique modifiée (*Modified Atlantic Water* MAW) et l'eau hivernale intermédiaire (*Winter Intermediate Water* WIW) (Millot, 1999).

CHAPITRE II

MATÉRIELS ET MÉTHODES

II.1. Les mesures en mer :

La sortie effectuée le 16/05/2009 à bord de l'embarcation « Baba Aroudj », par mer calme à peu agitée, ciel clair, le vent de 10 à 13 nœuds (5 à 6.5 m.s⁻¹) secteur Nord –Est (d'après O.N.M, 2009), avait pour objectif de prélever des sédiments et de mesurer les courants côtiers à 1 m au-dessus du fond pour des profondeurs allant de -20 m à -35 m. Notre travail a été fait sur 14 échantillons, récoltés dans 24 stations suivant des radiales transversales.

II.1.2. Prélèvement des sédiments:

Le prélèvement sédimentaire se fait à l'aide de la benne piocheuse de type « Van Veen » (fig.5).

La benne est descendue manuellement sur le fond marin à l'aide d'une corde, avec les mâchoires ouvertes. Dès que les mâchoires touchent le fond, le crochet qui maintient ces dernières est relâché. Au moment de la remontée, les mâchoires se referment et emprisonnent une quantité de sable ou de sédiment. Sur le navire, la benne est ouverte et le contenu est collecté dans des sacs en plastiques nommés respectivement pour chaque station.

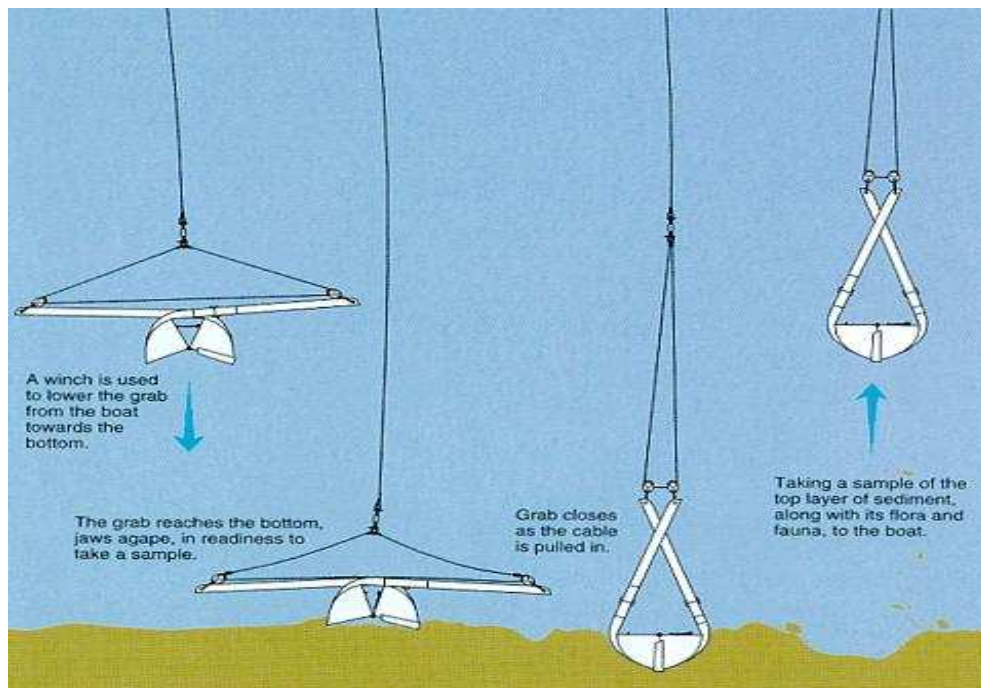


Figure n°5 : schéma présentant le fonctionnement de la benne « Van Veen »

II.1.3. Prélèvements :

La mesure de la profondeur se fait à l'aide d'un échosondeur de type FURUNO FCV-581L.

On lit directement la profondeur sur l'écran, ainsi les coordonnées géographiques en (x, y) pour chaque station à l'aide d'un GPS FURUNO Waas Navigator. (fig.6).



Figure n°6 : photo d'un échosondeur et d'un GPS

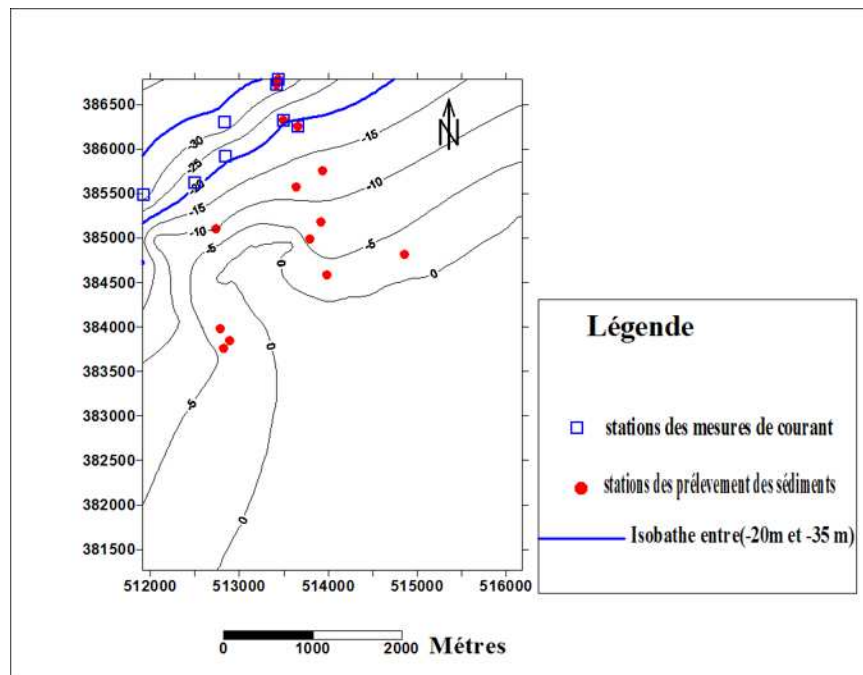


Figure n°7: Localisation des stations de prélèvements et de mesures du courant.

II.1.4. Mesure des courants :

Les courants sont mesurés sur place à l'aide d'un courantomètre « Model 180 MK III »

II.1.4.1. Le courantomètre 108 MK III :

Le modèle 108 MK III est un instrument à lecture directe. Cet instrument peut être utilisé directement avec un PC ou avec le 8008 CDU « control display unit », (unité de contrôle et d'affichage). Cette unité contient 3 ports de communications des données structurées pour offrir une flexibilité considérable de configuration et une utilisation avec des câbles de divers types et longueurs. Les périodes de prélèvements et d'échantillonnages sont installées par un PC ou la 8008 CDU, et l'installation est retenue jusqu'ils sont superposés. Dans notre étude on a utilisé le logiciel CDU express.

En matière d'énergie, le 108 MK III est alimenté à partir d'une batterie (piles) qui peut nous permettre d'effectuer des mesures sur une période de temps considérable (environ 10 heures de mesures continues). Et en ce qui concerne la fréquence de mesure, celle-ci est modulable avec une fréquence maximale de 0.2 Hz.

Après son immersion en mer, le modèle 108 MK III entame la mesure du courant (vitesse et direction), ainsi que d'autres paramètres physiques (Température, Pression, Salinité...).

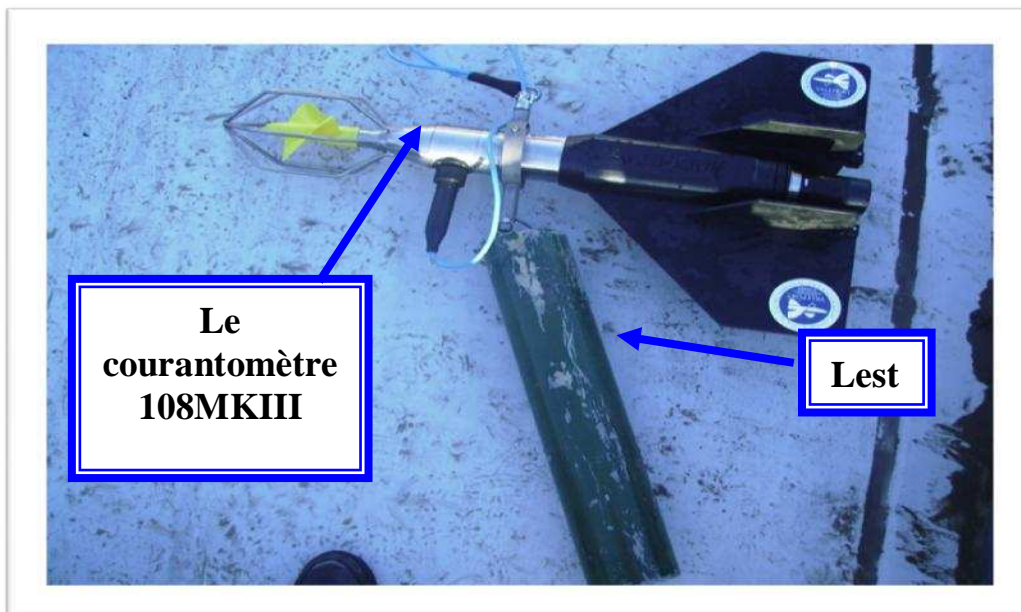


Figure n° 8 : Le courantomètre 108 MKIII.

II.1.4.2. Les composantes du courantomètre 108 MK III :

Instruments :

L'instrument contient tous les capteurs et électronique permettant de mesurer aussi bien le courant que la densité, la pression, la conductivité, la salinité et la vitesse du son dans le fluide.

Installation :

L'instrument est fourni aux utilisateurs pour être attaché à un câble d'amarrage. Le model 108 MK III doit être suspendu avec des connecteurs en mouvement descendant.

Nous observons dans la figure ci-après les différents éléments constituant le courantomètre en question. Une fois que la structure du courantomètre est préparée, celle-ci est attachée depuis le bateau à l'aide d'un câble servant aussi bien pour la suspension du poisson que pour une connexion électronique entre l'appareil et le C.D.U. que nous verrons ci-après.

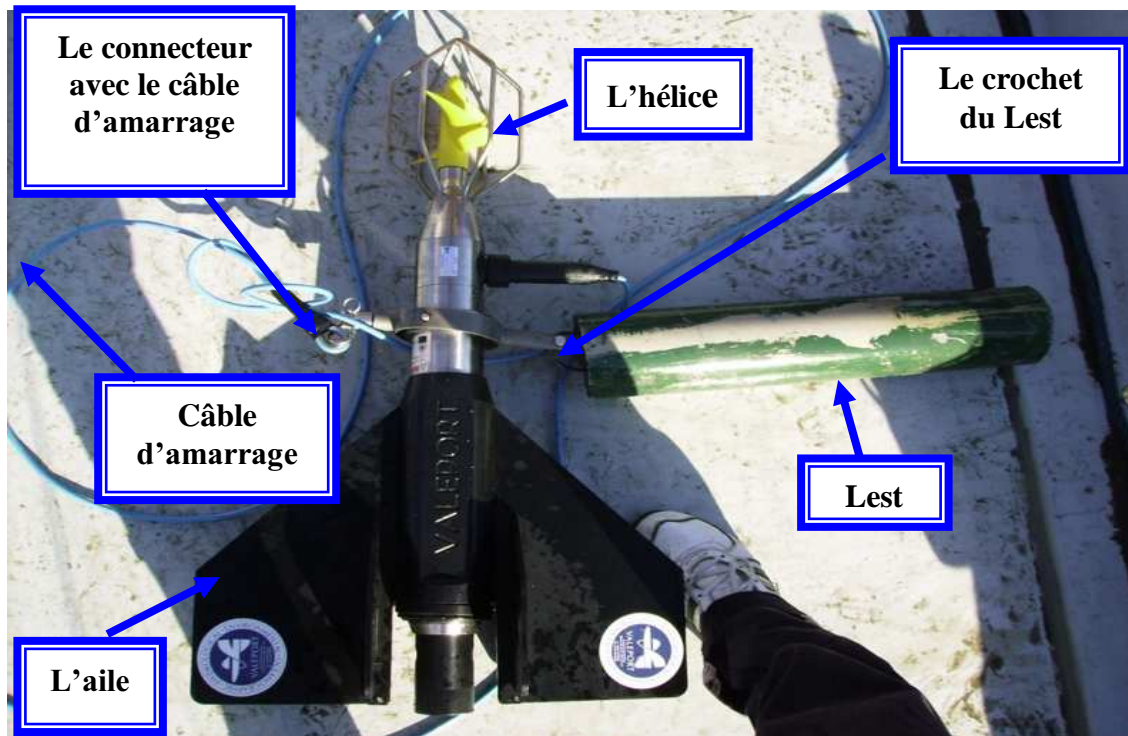


Figure n° 9: Les composants d'un courantomètre 108 MK III

Control Display Unit :

Le Control Display Unit est un auxiliaire qui permet d'effectuer une lecture directe des mesures effectuées par le poisson du courantomètre immergé. Il permet aussi de télécharger des données du courantomètre vers un PC, si ce dernier dispose d'un PORT COM. (fig.10).

D'autres fonctions (caractéristiques) du Control Display Unit sont :

- L'enregistrement des données en temps réel pour PC ;
- Impression des données (tableaux et graphes) ;
- Réglage de la date et de l'heure ;
- Modulation de la fréquence de mesures.

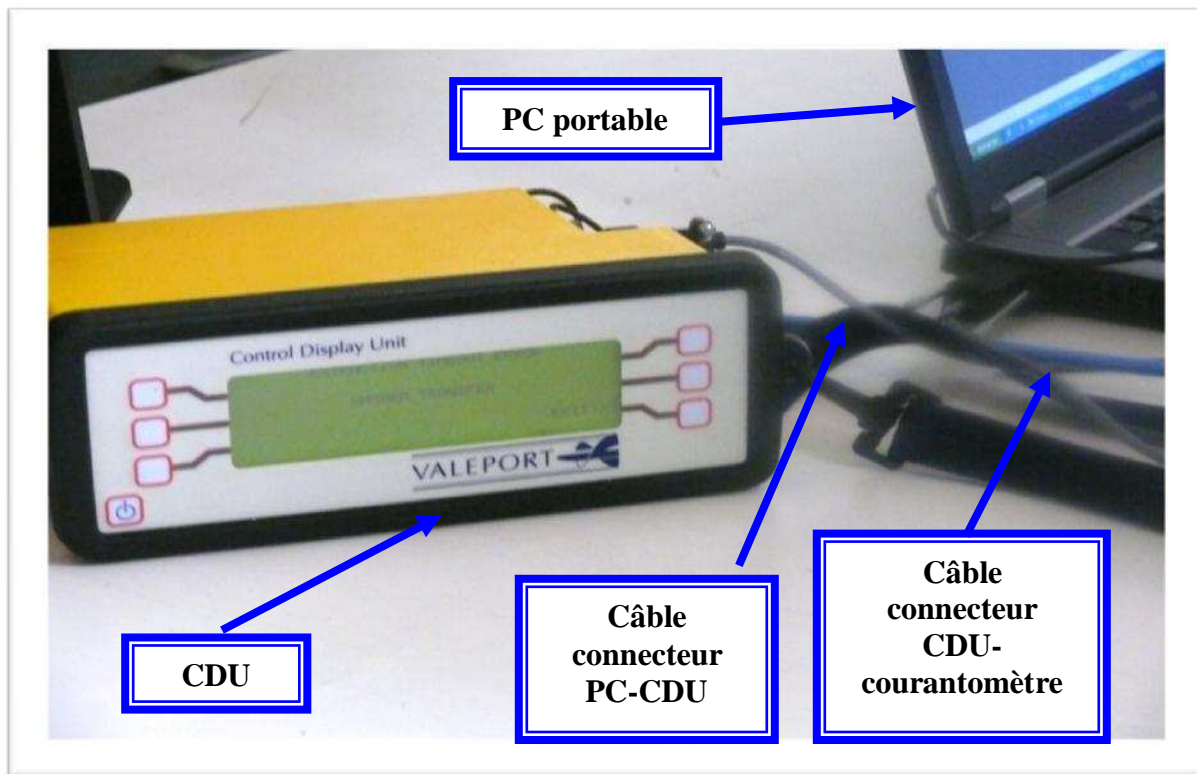


Figure n°10: Control Display Unit

II.2.Travaux en laboratoire :

II.2.1.Analyse granulométrique :

L'analyse granulométrique est l'étude statistique du calibre des grains. Elle permet d'obtenir des mesures dimensionnelles et adimensionnelles relatives à la texture du sédiment et ce, afin d'étudier les mouvements sédimentaires potentiels.

II.2.1.1.Principe de la méthode :

Ce procédé consiste à passer l'échantillon par une série de tamis de mailles décroissantes et de récolter ensuite le poids partiel de chaque quantité dans le tamis.

Cependant, il existe de nombreuses normes de tamisage, dans lesquelles les mailles varient selon une progression géométrique décroissante permettant un espacement régulier des abscisses, ainsi qu'une représentation étendue sur un graphique.

Cette analyse granulométrique permet de définir, suivant leurs calibres, diverses classes de sédiments indépendamment de leur nature chimique.

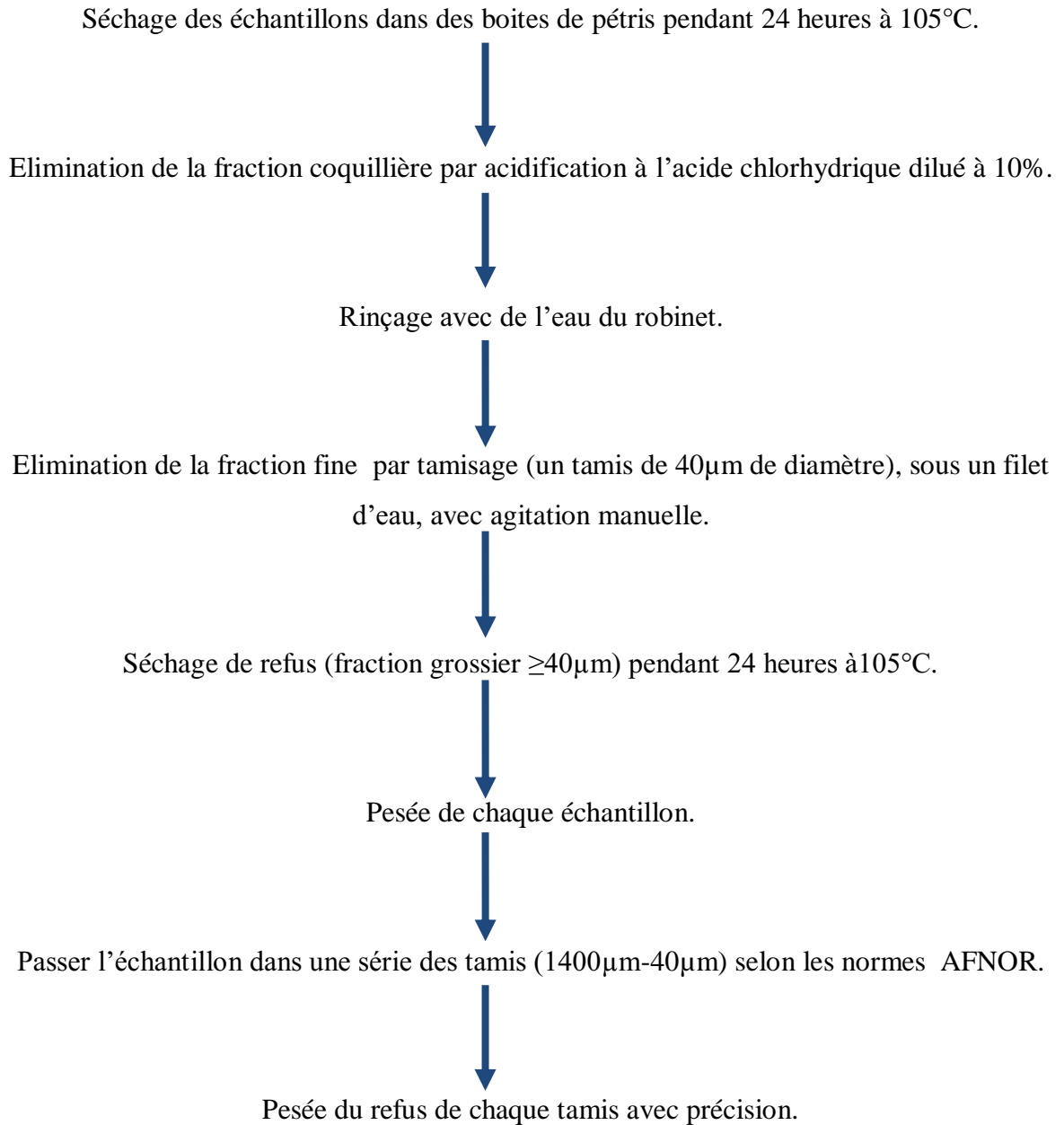
Le tableau n° 3 ci-dessous correspond à la norme française.

Tableau n°3 : diamètres des grains et appellations correspondants à la norme française.

Diamètre Maximum	Appellation	Diamètre Minimum
200 mm	Cailloux	20 mm
20 mm	Graviers	2 mm
2 mm	Gros sables	0.2 mm
0.2 mm	Sables fins	20 µm
20 µm	Limons	2 µm
2 µm	Argiles	< 2µm

(Source **Benghachem, 2006**)

II.2.1.2. Mode opératoire de l'analyse granulométrique :



Cette procédure est appliquée pour les 14 échantillons.

II.2.2. Traitement des données :

A partir des masses cumulées, sont calculés les pourcentages cumulés. Des courbes cumulatives (diagrammes intégraux) ont été établies pour chaque échantillon.

- En abscisse les diamètres des particules du sédiment en Φ (x) étant le diamètre en échelle Phi correspondant au pourcentage cumulé de x exprimé en millimètre ($\Phi = -\log_2 x$).
- En ordonnée le pourcentage pondéral des refus cumulés inférieur à une taille donnée.

Cela nous permettra de comparer les échantillons et de déterminer graphiquement les différents paramètres qui vont nous aider à calculer les indices granulométriques.

II.2.2.1. Les paramètres granulométriques : (in Hemdane, 2006)

Les paramètres granulométriques suivants ont été obtenus à l'aide de la méthode de Folk et Ward (1957) :

Le diamètre moyen M_z :

C'est le paramètre absolu, correspond au diamètre du grain moyen. Il est calculé à partir de l'équation suivante :

$$M_z = \frac{\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84}}{3} \quad (1)$$

Classification de la taille des sédiments ASTM (American Society for Testing Materials):

Entre -2.25 phi et -1 phi : sable grossier.

Entre -1 phi et 1.25 phi : sable moyen.

Entre 1.25 phi et 3.75 phi : sable fin.

L'indice de tri (Si):

Il nous permet d'étudier le classement des sédiments. Le tri nous renseigne sur la dispersion des tailles par rapport à la moyenne de l'échantillon. Il est calculé par l'équation suivante :

$$Si = \frac{\Phi 84 - \Phi 16}{4} + \frac{\Phi 95 + \Phi 05}{6.6} \quad (2)$$

Classification du tri des grains du sédiment:

- <0.35 phi : très bon tri.
- Entre 0.35 phi et 0.5 phi : bon tri.
- Entre 0.5 phi et 0.71 phi : tri assez bon.
- Entre 0.71 phi et 1 phi : tri modéré.
- Entre 1 phi et 2 phi : mauvais tri.
- Entre 2 phi et 4 phi : très mauvais tri.
- >4 : Tri extrêmement mauvais.

L'indice d'asymétrie (Skewness) Sk:

Il permet d'évaluer la tendance des sédiments vers les particules grossières, ou vers les fines. Il est déduit à partir de l'équation suivante :

$$Sk = \frac{\Phi 16 + \Phi 84 - 2 \Phi 50}{2(\Phi 84 - \Phi 16)} + \frac{\Phi 5 + \Phi 95 - 2 \Phi 50}{2(\Phi 95 - \Phi 5)} \quad (3)$$

Classification de l'asymétrie des grains du sédiment :

- 1 phi à 0.3 phi : très forte asymétrie vers les particules fines.
- 0.3 phi à 0.1 phi : asymétrie vers les particules fines.
- 0.1 phi à -0.1 phi : quasi-symétrie.
- 0.1 phi à -0.3 phi : asymétrie vers les grosses particules.
- 0.3 phi à -1 phi : très forte asymétrie vers les grosses particules.

II.2.2.2. Le profil logarithmique des vitesses et contraintes de cisaillement :

Rappel (In Hemdane, 2006)

Appliquons une vitesse au niveau de la surface d'un plan d'eau dont le fond est sédimentaire. Le courant généré va arriver au niveau du fond sédimentaire et le frottement qui s'ensuit ralentira et altérera le courant, générant un gradient de vitesse. La partie de ce gradient de vitesse (profil du courant) qui est significativement influencée par le fond est appelée « couche limite près du fond » **Nielsen (1992)**.

$$\frac{\partial u}{\partial z} = \frac{\tau}{\nu \rho}, \quad (4)$$

La composante tangentielle de ce frottement avec le fond est la contrainte de cisaillement τ (tau). Elle génère un mouvement des sédiments sur le fond qui est appelé également le transport sédimentaire.

En mettant en rapport la contrainte de cisaillement avec le poids immergé des particules sédimentaires $(\rho_s - \rho) g D$, Shields (1936) a élaboré un paramètre de mobilité qui est très important dans l'étude du transport sédimentaire.

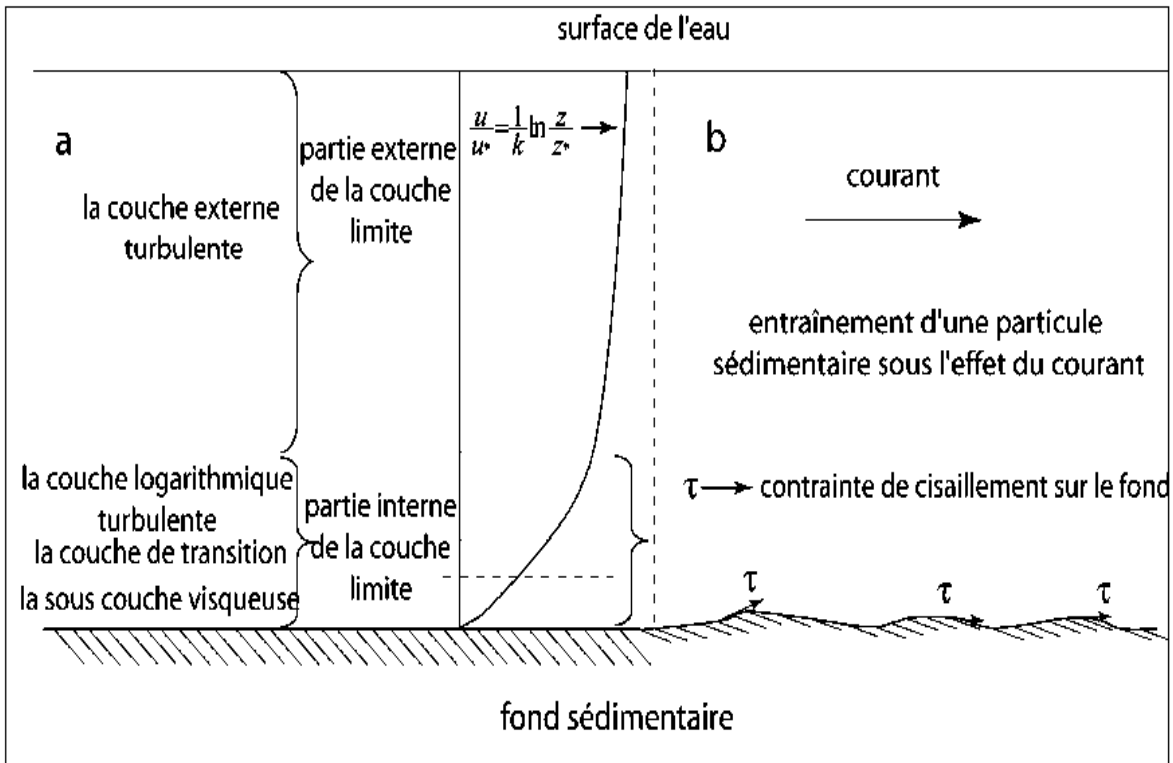


Figure n°11 : (a)Schéma d'une couche limite près du fond ; d'après **Van Rijn (1993)**, (b) contrainte de cisaillement et mise en mouvement des particules sédimentaires
(Hemdane, 2006).

II.2.2.2.1.La vitesse critique de cisaillement :

Le seuil de mise en mouvement pour chaque classe granulométrique de chaque sédiment est estimé par le calcul de la vitesse de cisaillement pour un transport par charriage (u_{*cr}).

La méthode de Yalin (1963), a été utilisée pour obtenir le paramètre adimensionnel de Shield (θ_{cr}):

$$\log \theta_{cr} = 0.041 (\log Y)^2 - 0.356 \log Y - 0.977, Y < 100 \quad (5)$$

$$\log \theta_{cr} = 0.132 \log Y - 1.804, 100 < Y < 3000 \quad (6)$$

$$\log \theta_{cr} = 0.045, Y > 3000 \quad (7)$$

(Y) étant le paramètre de Yalin ou le paramètre de mobilité qui est défini par l'équation suivante :

$$Y = [(\rho_s - \rho) g D^3 / \rho \nu^2]^{0.5} \quad (8)$$

(ρ_s) et (ρ) sont respectivement la densité du sédiment et du fluide, (g) l'accélération de la pesanteur, (D) le diamètre des grains et (ν) la viscosité cinématique du fluide.

La valeur de (θ_{cr}) est ensuite utilisée pour l'évaluation de la contrainte critique de cisaillement (τ_{cr}) par l'équation suivante (**Hemdane, 2006**):

$$\tau_{cr} = \theta_{cr} (\rho_s - \rho) g D \quad (9)$$

La vitesse critique de cisaillement (u_{*cr}) est obtenue par la loi quadratique :

$$u_{*cr} = (\tau_{cr} / \rho)^{0.5} \quad (10)$$

II.2.2.2.2. La vitesse de cisaillement : (**Hemdane, 2006**)

On calcule la vitesse de cisaillement (u_*) à partir de la vitesse enregistré par le courantomètre et le diamètre moyen par l'équation suivante :

$$u_* = \frac{K u_z}{\ln(30z / Kb)} \quad (11)$$

Avec :

κ : Constante de Karman (0,4) ;

u_z : vitesse du courant mesurée sur une hauteur de z au-dessus du fond (m/s) ;

Kb : Hauteur de la rugosité initiale (m), estimée par : $Kb = 2,5D$;

D : diamètre moyen des grains ;

u_z : vitesse moyenne à une hauteur (z) au-dessus du fond ;

z : hauteur au-dessus du fond ($z=1\text{m}$ pour notre cas).

CHAPITRE III

RÉSULTATS ET DISCUSSION

III.1. Résultats de l'analyse granulométrique :

Les résultats de l'analyse granulométrique des 14 échantillons des sédiments récoltés sur 24 stations sont représentés sur le tableau n°4 :

Tableau n°4 : les valeurs des indices granulométriques (Le diamètre moyen Mz, L'indice de tri Si, représentés en unité de phi (Φ), et L'indice d'asymétrie Sk).

Les indices granulométriques			
échantillons	Mz (phi)	Si (phi)	Sk
a1	2,556	0,931	0,230
a2	2,764	1,013	0,337
a3	2,833	1,050	0,402
a4	2,917	1,108	0,327
a5	2,323	0,839	-0,211
b5	2,234	1,049	-0,359
b4	2,811	1,044	0,237
b3	2,896	1,073	0,258
b2	2,771	1,005	0,420
b1	2,594	0,921	0,393
d5	2,759	1,011	0,326
e2	2,302	0,910	-0,427
e3	2,885	1,098	0,319
e4	2,927	1,103	0,257

III.1.2. discussion des indices granulométriques:

III.1.2.1. Le diamètre moyen :

Sommairement, les sédiments sont relativement homogènes et la taille moyenne des grains varie entre $2,2\Phi$; 0,21 mm (station b5) et $2,9\Phi$; 0,14 mm (station e4). Par conséquent, d'après la classification de la taille des sédiments ASTM, les sédiments de nos stations sont de texture fine.

III.1.2.2. L'indice de tri (Si) :

D'après la classification du tri des grains du sédiment et les valeurs du (Si) des échantillons, nous constatons deux classes :

- Des valeurs du (Si) qui varient entre $0,8 \Phi$ (station a5) et $0,9 \Phi$ (station a1) où le tri des grains du sédiment est classé comme un tri modéré ;
- Des valeurs du (Si) qui varient entre $1,0 \Phi$ (station b2) et $1,1\Phi$ (station a4) où le sédiment est mal trié.

III.1.2.3. L'indice d'asymétrie (Sk) :

D'après la classification de l'asymétrie des grains du sédiment, nous en constatons plusieurs classes :

- Des valeurs du (sk) varient entre -0,4 (station e2) et -0,2 (station a5) où l'asymétrie des grains du sédiment tend vers les grosses particules.
- Des valeurs du (Sk) varient entre 0,2 (station a1) et 0,4 (station b2) ; une asymétrie tendant vers les particules fines.

III.1.3. résultat des indices granulométriques (entre les isobathes -20m et – 35m) :

Les résultats sont représentés sur les cartes (fig.12,13,14), qui indique la taille moyenne, l'indice de tri et l'indice d'asymétrie en millimètre

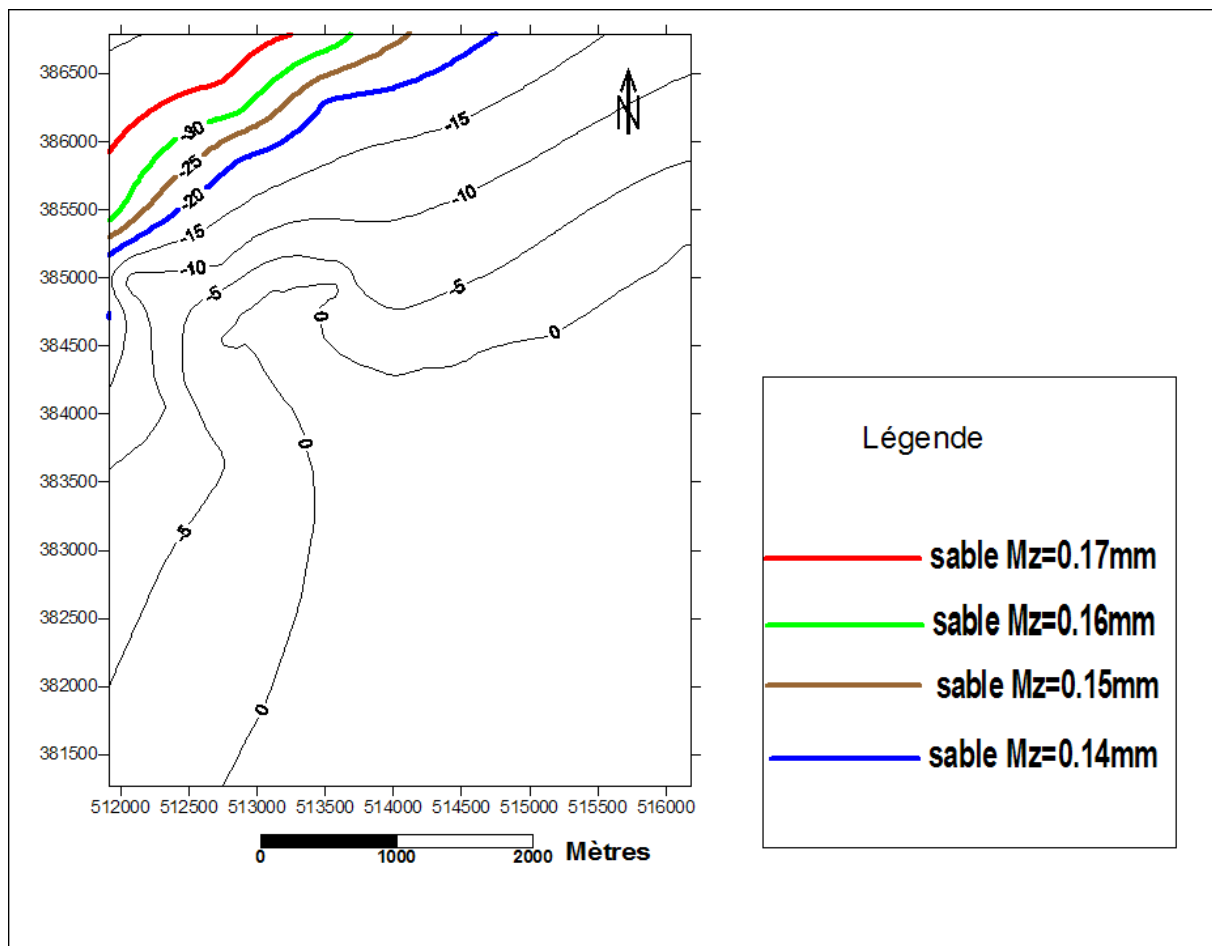


Figure n°12 : Carte du diamètre moyen des grains (entre -20 et -35)

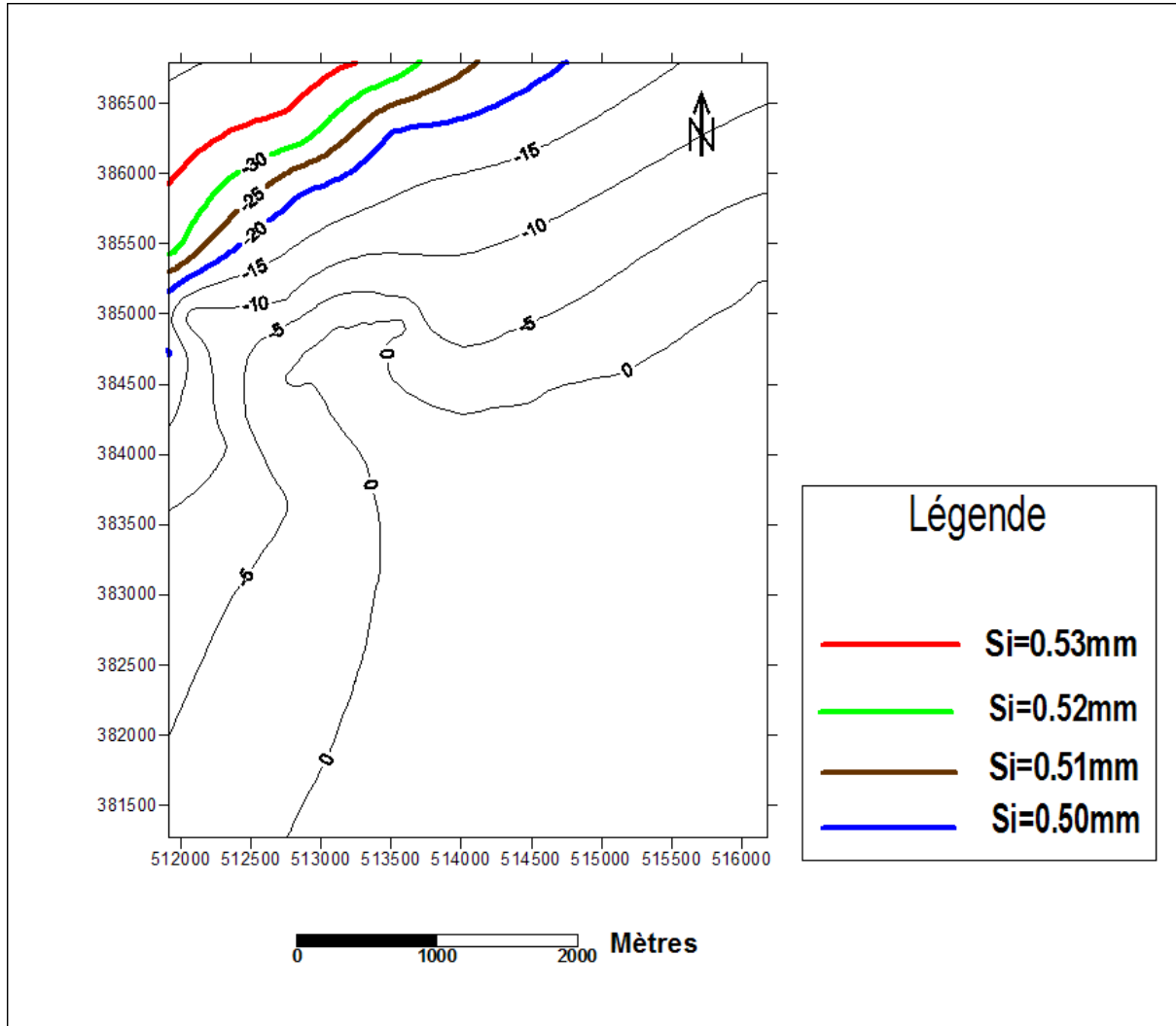


Figure n°13 : Carte de l'indice de tri (entre -20 et -35)

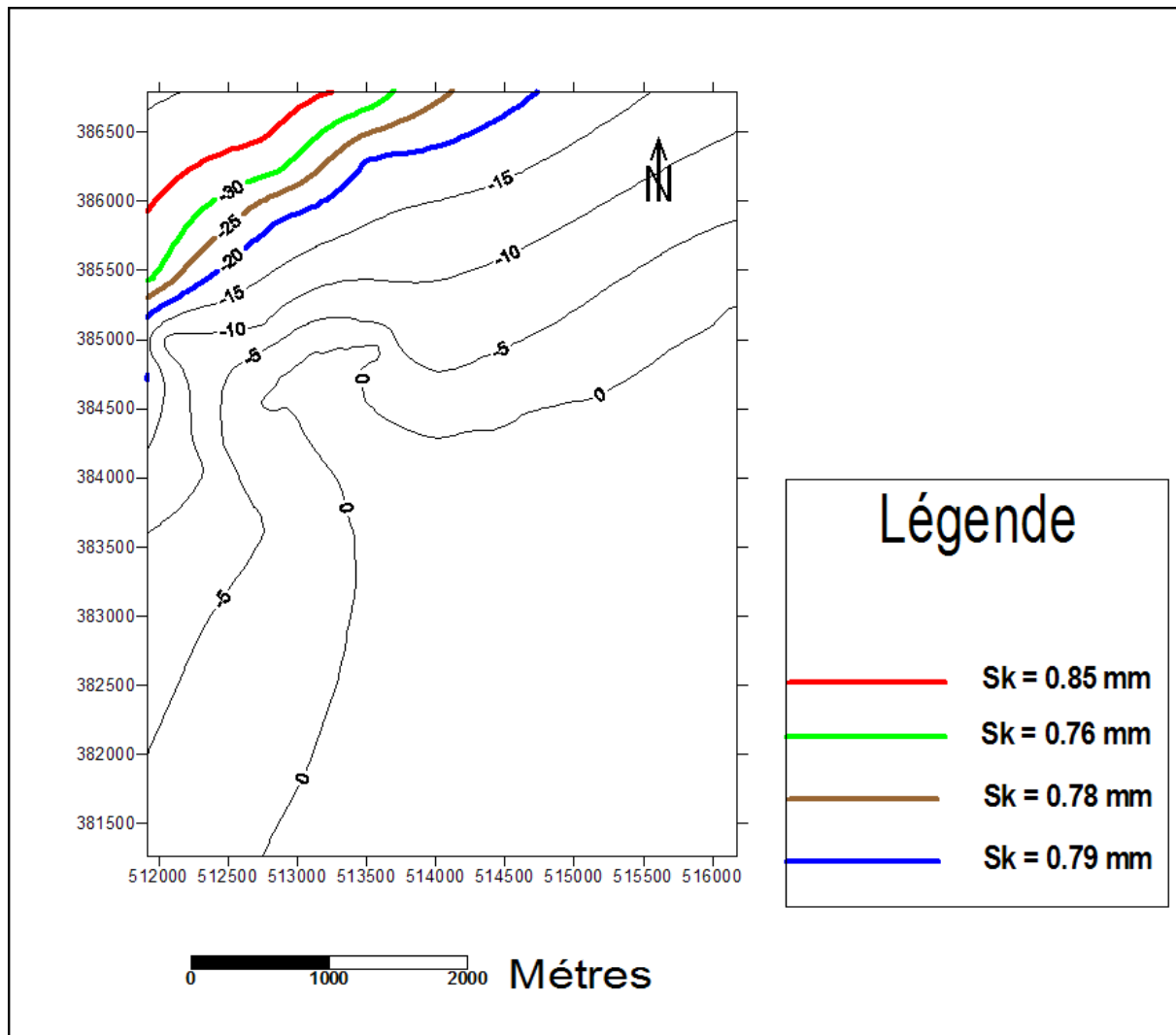


Figure n°14: Carte de l'indice d'asymétrie (entre -20 et -35)

III.2.1. Résultats la vitesse de cisaillement (u_*) et la vitesse critique de cisaillement (u_{*cr}):

Les résultats sont représentés sur le tableau n° 5 :

Tableau n°5 : Les valeurs de la vitesse de cisaillement (u_*) et la vitesse critique de cisaillement (u_{*cr}) :

Stations	Profondeur (mètre)	u_* (m/s)	u_{*cr} (m/s)
a1	-35,20	0,009	0,012
a2	-18,50	0,014	0,012
a3	-12,90	0,011	0,011
a4	-8,30	0,015	0,011
a5	-3,00	0,007	0,013
b5	-3,60	0,013	0,013
b4	-7,80	0,011	0,011
b3	-12,00	0,015	0,011
b2	-20,50	0,015	0,011
b1	-32,50	0,012	0,012
d5	-10,50	0,017	0,012
e2	-4,40	0,011	0,013
e3	-2,90	0,010	0,011
e4	-2,40	0,006	0,011

On remarque, que la vitesse de cisaillement (u_*) qui sont transformer a partir des mesures du courant enregistré durant notre sortie dans la plupart des stations de profondeur différente sont supérieures ou égales à la vitesse critique de cisaillement (u_{*cr}) qu'il faut pour que le sédiment se mobilise.

III.2.2. Résultat des directions et des vitesses du courant (entre -20 m et -35) :

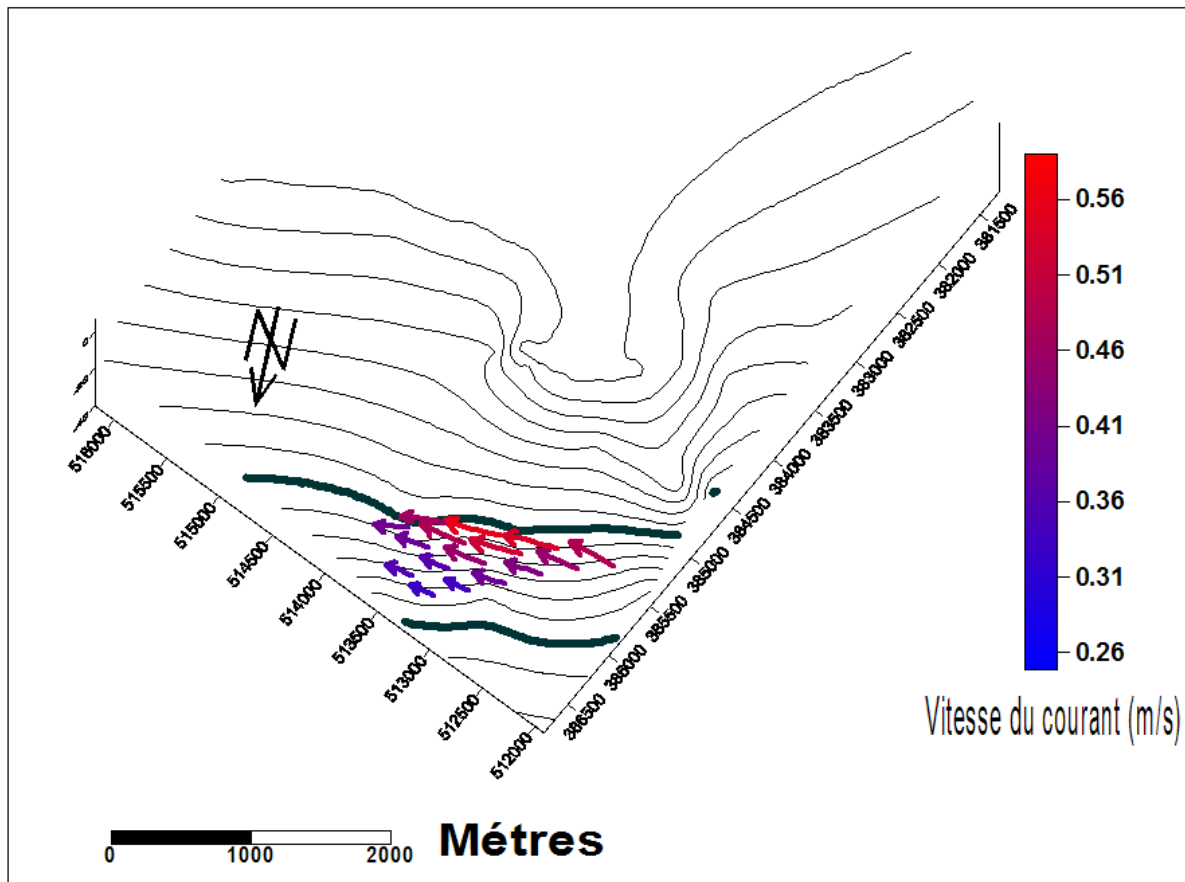


Figure n° 15 : carte des directions et des vitesses du courant (entre -20m et -35 m

Discussion et conclusion :

L'objectif de notre travail étant d'étudier les seuils de mise en mouvement des sédiments sur des fonds marins profonds de -20 à -35m. A ce titre, la méthodologie adoptée nous a permis, à partir des données hydrodynamiques et sédimentologiques mesurées, d'arriver à voir si les sédiments sont mobilisés sur ces profondeurs, en période de faible énergie (vent inférieur à 6.5 m.s^{-1}).

L'observation de la texture des sédiments montre que les tailles moyennes des grains tendent vers la gamme des sables fins (fig. 12). Par conséquent, la finesse de la texture des sédiments sera en faveur de leur entrainement ; plus le sédiment est fin, plus les contraintes critiques de cisaillement sont rapidement atteintes.

En ce qui concerne le tri des sédiments. Celui-ci est mauvais et ce en raison de la force des courants à cet endroit qui ne permettraient pas aux grains des sédiments de se déposer « calmement » et de mieux se trier (fig. 13).

Les résultats montrent que même sur des profondeurs comprises entre -20 et -35 m et en l'absence de vent significatif, les courants observés ont assez de force pour mobiliser les sédiments vers la direction de la progression du flux hydrodynamique. Cette mobilité des sédiments est aussi bien influencée par la puissance du courant que par la texture fine du sédiment qui ne nécessite pas un fort cisaillement sur le fond sédimentaire pour un début de mouvement sur le fond.

Par conséquent, même en période de faible énergie et à des profondeurs relativement importantes (entre -20 et -35 m), les sédiments peuvent être remobilisés et alimenter, potentiellement, les plages et dunes situées au NE de la zone d'étude (sens de progression des courants mesurés) (fig.15).

Pour arriver à tirer des conclusions fiables sur la dynamique hydrosédimentaire, il faut que des campagnes de mesures soient effectuées lors de tous les événements météo-marins régulant annuellement, voire même plus, la zone littorale en question.

Bibliographies

Belkessa, (2008) Etat de la plage Est de Sidi Fredj diagnostic morphosédimentologique et microbiologique. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention de diplôme d'étude universitaire appliquée (D.E.U.A) ISMAL.54p.

Benghachem et Al, (2006) Morphologie et sédimentologie de la zone Est de Sidi Fredj. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention de diplôme d'étude universitaire appliquée (D.E.U.A) ISMAL.57p.

Folk, R.L. et Ward, W.C, (1957). Brazos River bar, a study of the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27, p. 3-27.

Ghehiouche et Zemat, (1996) Cartographie biosédimentologique de la plage de Thalassothirapie. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention de diplôme d'ingénieur ISMAL.63p.

Grimes, (2003) Plan d'action national pour protection des sites sensibles naturels marins du secteur Cap Djinet au Mont Chenoua. Contrat PNUE/ PAM/ CASP/ MATE Alger 64p.

Hemdane. Y, 2006. Dynamique hydrosédimentaire de l'avant-côte d'un environnement macrotidal : Exemple du littoral du Nord-Pas-de-Calais. Mer Du Nord. Thèse Doctorat. Université du Littoral. 207 p.

Kezzouli et Taibi, (2005) Sidi Fredj, situation du littoral diagnostic causes d'érosion et solution d'aménagement. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention de diplôme d'ingénieur ISMAL.50p.

Leclaire, (1972) La sédimentologie holocène sur le versant méridional du bassin Algéro-Balear (précontinent Algérien). Mémoire du muséum national d'histoire naturelle, nouvelle série. Tome XXIV. Ed. du muséum 319 p.

Niedoroda, DA AW, Swift, DJP., et Hopkins, TS. (1985). The Shoreface. In: DAVIS JR, RA, (ed). Coastal Sedimentary Environments, Springer-Verlag, New York, p. 533-624.

Shields, A. (1936). Application of similarity principles and turbulence research to bed-load movement. *Mitteilungen der Preussischen Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau* 26: 5–24.

Yalin, M.S. (1963). An expression for bedload transportation, *Journal of Hydraulics Division, Proceedings ASCE* 89 (1963) (HY3), pp. 221–250.