

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة 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
D'INGENIEUR D'ETAT EN SCIENCES DE LA MER

OPTION : AMENAGEMENT DU LITTORAL

Thème :

**Étude des courants côtiers observés sur les petits fonds de
la plage de Sidi Fredj: application pour la protection d la
plage de Sidi Fredj**

Présenté par:

BELABDI Khalid

OUNNAS Abdelaziz Abdelhakim

Soutenu le 06/07 /2011 devant le jury suivant :

Mr	Guerfi. M	Maître de conférences (ENSSMAL)	Président
Mr	Hemdane.Y	Maître de conférences (ENSSMAL)	Promoteur
Mr	Hellel.M	Maître de conférences (ENSSMAL)	Examineur
Mr	Bouaicha.F	Maître assistant (ENSSMAL)	Examineur

Promotion : 2010-2011

Dédicaces

« Je dédie ce modeste travail :

A toute la famille,

mon père, ma mère,

et mes frères et sœurs,

à ma grande famille,

*à tous les amis et proches et à tous personne ayant
contribué à ce travail de près ou de loin. »*

BELABDI Khalid

Remerciements

Au terme de ce travail, nous remercions Dieu le tout puissant pour nous avoir donné la santé, le courage et la volonté, pour réaliser ce modeste travail.

Nous remercions Monsieur GUERFI. M, maître de conférences (ENSSMAL), qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury.

Nous remercions Monsieur HEMDANE.Y, maître de conférences pour avoir accepté d'encadrer ce travail, pour sa confiance, sa disponibilité, ses encouragements et ses précieux conseils au cours de la réalisation de ce mémoire.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à monsieur HELLEL. M, Maître de conférences (ENSSMAL), M^r. BOUAICHA. F, Maître assistant (ENSSMAL), pour leurs aides et leurs soutiens et pour avoir accepté d'examiner ce manuscrit et de participer à ce jury.

Nos profondes reconnaissances au personnel de la bibliothèque de l'ENSSMAL, à tout l'équipage du navire de « BABA ARROUDJ », ainsi qu'à toutes les personnes qui nous ont aidés du près ou de loin à la réalisation de ce mémoire de fin d'étude.

Nous somme reconnaissant à tous nos enseignants qui ont contribué à notre formation et à toute personne qui nous a appris une lettre ou une phrase, qu'ils trouvent ici notre reconnaissance et un petit fruit de leurs sueurs.

Liste des abréviations

D : diamètre moyen des grains (m).

E : Est.

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

G.P.S: Global positioning system.

Hs : Hauteur significative (m).

Hz : heurtez.

K : constante de Karman.

Kb : Hauteur de la rugosité initiale (m).

Km : kilomètre.

K.N.M.I : Institut météorologique royal Néerlandais.

L.E.M : Laboratoire d'étude maritime.

m : mètre.

mm: millimètre.

N : Nord.

NE: Nord-Est.

NW : Nord-Ouest.

O.N.M : Office National de Météorologie.

s : seconde.

S : Sud.

SE : Sud-Est.

S.H.O.M: Service hydrographique et océanographique de la Marine.

S.S.M.O: Summary of Synoptic Meteorological Observations.

SW : Sud-Ouest.

U_{*c} : vitesse de cisaillement lié au courant ($m \cdot s^{-1}$).

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

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

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

W : Ouest.

Y : paramètre de mobilité de Yalin.

z : hauteur au-dessus du fond (m).

γ_s : La masse volumique des blocs (KN.m^{-3}).

γ_w : La masse volumique de l'eau de mer (KN.m^{-3}).

θ_{cr} : paramètre adimensionnel de Shield.

ρ : densité du fluide (kg m^{-3}).

ρ_s : densité du sédiment (kg m^{-3}).

τ_{cr} : contrainte de cisaillement (KN.m^{-3}).

Liste des figures

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Figure n°I.1 :	Situation géographique du littoral de Sidi Fredj (Google earth, 2009).	3
Figure n°I.2 :	La passe d'entrée du port de Sidi Fredj 2011 (Belabdi et Ounnas, 2011).	6
Figure n°I.3 :	Sédimentologie de la baie de Bou Ismail (Grimes, 2003).	7
Figure n°I.4 :	Roses récapitulatives saisonnières et annuelles des fréquences d'apparition du vent au large. (L'US Naval Weather service, de 1963 à 1970).	8
Figure n°I.5 :	Répartition annuelle des vents en % (ONM, Dar-El-Beida, 1995-2005).	9
Figure n°I.6 :	Roses récapitulatives de direction des houles au large du secteur (275°-55°) (source : K.N.M.I in Zemenzer 2004).	11
Figure n°I.7 :	Répartition des énergies des houles en fonction de la direction et des périodes les plus courantes. (Source : K.N.M.I in Zemenzer 2004).	12
Figure n°I.8 :	Circulation de l'eau atlantique modifiée dans la Méditerranée (Millot, 1987).	14

CHAPITRE II: MATERIELS ET METHODES

Figure n°II.1 :	Le bateau « Baba Arroudj ».	16
Figure n°II.2 :	GPS de type « FURUNO » utilisé sur le « Baba Arroudj »	17
Figure n°II.3 :	Echosondeur utilisé sur le « Baba Arroudj »	17
Figure n°II.4 :	Le courantomètre 108 MKIII de l'ENSSMAL.	18
Figure n°II.5 :	Les composantes du courantomètre 108 MK III.	19
Figure n°II.6 :	Le 8008 CDU « moniteur ».	19
Figure n°II.7 :	Localisation des stations de mesures des courants en 07/04/2011 (Belabdi et Ounnas, 2011)	21
Figure n°II.8 :	Localisation des stations de mesure des courants en 16/05/2009 (Belabdi et Ounnas, 2011).	22

CHAPITRE III. DISCUSSION ET RECOMMANDATIONS

Figure n°III.1 :	La carte représente les courants mesurés dans la zone de Sidi Fredj de la date 07/04/2011 (Belabdi et Ounnas, 2011).	26
Figure n°III.2 :	La carte représente les Courants mesurés dans la zone de Sidi Fredj de la date 16/05/2009 (Belabdi et Ounnas, 2011).	27
Figure n°III.3 :	La combinaison des deux cartes pour l'ensemble des mesures (Belabdi et Ounnas, 2011).	28
Figure n°III.4 :	Exemple schématique d'une structure tubulaire ou Géotube.	32
Figure n°III.5 :	Déploiement d'un Géocontainer.	33
Figure n°III.6 :	Le système « <i>By Passing</i> » (Belabdi et Ounnas, 2011).	34
Figure n°III.7 :	Le système de <i>By Passing</i> .	35
Figure n°III.8 :	Installation des géotubes dans la zone de Sidi Fredj (Belabdi et Ounnas, 2011).	37
Figure n°III.9 :	Positionnement des géotubes dans la zone de Sidi Fredj (Bing map, 2011).	37
Figure n°III.10 :	Positionnement et dimensionnement des géotubes dans la zone de Sidi Fredj (Bing map, 2011).	38

Liste de plan

Plan n°1 : dimensionnement du port de sidi Fredj « plan de masse » (Belabdi et Ounnas, 2011). **5**

Liste des tableaux

Tableau n°1:	superficie et profondeur des bassins du port	6
Tableau n°2:	Répartition annuelle des vents sur huit directions (ONM, 1995-2005)	9
Tableau n°3:	Fréquence mensuelle de la houle au large par direction en pourcentage (SSMO, 1963-1970)	10
Tableau n°4:	Amplitudes des houles en fonction des directions et leurs périodes de retour (SSMO, 1963-1970)	12
Tableau n°5:	Répartition des états de mer par période (SSMO, 1963-1970)	13

Sommaire

Sommaire

Introduction générale

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

I. Présentation du port de Sidi Fredj	3
I.1.1.Situation géographique	3
I.1.2.Orientation du trait de côte	4
I.1.3.Erosion littorale	4
I.1.4.Ensablement de la passe d'entrée du port de Sidi Fredj	4
I.1.5.Sédimentologie de la baie de Bou Ismail	7
I.2.Cadre climatologique	8
I.2.1.L'étude des vents	8
I.2.1.1.Au large	8
I.2.1.2.Données locales	9
I.3. Cadre océanographique	9
I.3.1.Les Vagues	9
I.3.2. Les courants	13
I.3.2.1.Les courants tidaux	13
I.3.2.2.Les courants de densité et le courant général	13
I.3.2.3.Les courants de la dérive littorale	15
I.3.2.4.Observations de courants	15

CHAPITRE II: MATERIELS ET METHODES

II.1.Travaux en mer	16
II.2.Mesure des courants	18
II.2.1. Les composants du courantomètre 108 MKIII	18
II.2.1.1. Instruments	18
II.2.1.2. Déploiement de l'instrument	18
II.3.Mobilités des sédiments	23

CHAPITRE III. DISCUSSION ET RECOMMANDATIONS

III.1.1.Dynamique des courants côtiers	25
III.1.2 Mobilités des sédiments	29
III.1.3 Propositions de solutions	30
III.1.3.1. Propositions et application pour la protection (Géotube)	30
III.1.3.1.1. Le géotube	30

III.1.3.1.2.Type des ouvrages géotextiles	31
A-Structure tubulaire ou Géotube	31
B- Les poches ou Géocontainer	33
C- Sac ou géobag	33
III.1.3.1.3.Le système de pompage (By Passing)	34
III.3.2.Prédimensionnement	35
III.3.2.1.Le diamètre du Géotube	36
III.3.2.2 La stabilité des Géotube	36
Application	36
III.3.2.3 Positionnement des géotubes dans la zone de Sidi Fredj	37
Conclusion générale	
Bibliographie	
Annexes	

Introduction Générale

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale

L'aménagement et la protection du littoral c'est d'abord la compréhension des différents processus et contraintes dynamiques qui régulent aussi bien la côte que l'avant-côte tels que l'interaction des vagues, houle, marée, courants, surcotes et décotes, mouvements sédimentaires, etc. Ces contraintes interagissent dans une zone (avant-côte) où les forçages dus au vent, à la marée, à la densité de stratification, au gradient de la pression interne et à la force de Coriolis sont importants (**Hemdane, 2006**) où les effets de friction sur le fond sont plus importants qu'au large (**Swift *et al*, 1986 ; Hemdane, 2006**). Ces éléments jouent un grand rôle dans les processus des transports sédimentaires.

La presqu'île de Sidi Fredj est une zone touristique où l'intervention de l'homme est très remarquable ; ce site contient d'ouvrages côtiers (ouvrages de protection et infrastructures portuaires). En effet, la présence de ces ouvrages maritimes durs (jetées, enrochements) a au fil des années une influence négative sur l'environnement. De surcroît, ces ouvrages ne font que déplacer les problèmes d'érosion de quelques centaines de mètres.

C'est dans cette optique que s'inscrit notre travail qui consiste à comprendre l'hydrodynamique et les transports sédimentaires qui opèrent les fonds des eaux peu profondes du littoral de Sidi Fredj (Alger Ouest) qui depuis quelques années subit une inquiétante érosion marine où plusieurs habitations, entre autres le siège de l'ENSSMAL, risquent l'effondrement. En suite, nous essayerons de proposer des solutions respectueuses des fondements du développement durable et ce, en vue de conserver le littoral Est de Sidi Fredj.

Pour atteindre cet objectif, nous proposons dans ce travail d'étudier la dynamique des courants côtiers et des mouvements sédimentaires entre la côte et la limite inférieure de la zone de déferlement.

Toutefois, il est important de rappeler les limites de nos résultats qui sont exclusivement relatifs aux conditions météo-marines observées lors de la campagne de mesures. Par conséquent, nos résultats ne reflètent pas vraiment la circulation hydrosédimentaire nette qui régule notre zone d'étude, mais juste celle qui est en rapport avec le vent du NE. Et seules des campagnes de mesures effectuées lors des différents événements météo-marins peuvent nous conduire à tirer des conclusions plus fiables, pour une meilleure conservation durable du littoral de notre zone d'étude.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Dans cette étude, nous privilégions deux approches méthodologiques complémentaires :

- Une approche fondée sur l'observation et l'expérimentation (en mer) et en laboratoire ;
- Une approche basée sur le traitement des données ainsi que leur visualisation et leur cartographie à l'aide des outils informatiques.

Le travail regroupe quatre parties:

- **Partie I** : cette partie est consacrée à la reconnaissance du site d'étude d'une manière générale ;
- **Partie II** : celle-ci est réservée aux conditions météo-marines qui caractérisent la zone d'étude ;
- **Partie III** : elle comprend la méthodologie utilisée dans ce travail ;
- **Partie IV** : elle rassemble tous les résultats de ce travail.

Et enfin nous concluons notre travail par des propositions et solutions en vue de protéger le littoral Est de Sidi Fredj, lequel connaît depuis les deux dernières décennies une inquiétante érosion marine.

Chapitre I

Présentation de la zone d'étude

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

I. Présentation du port de Sidi Fredj

I.1.1. Situation géographique

Notre zone d'étude concerne la partie orientale du littoral de Sidi Fredj qui se situe sur la partie SW de la baie d'El Djamila. Cette dernière dispose d'un linéaire côtier d'environ 6 km et est délimitée par deux promontoires rocheux ; la presqu'île de Sidi Fredj à l'Ouest et Ras Acrata au NE (**Figure. n°I.1**).

Les coordonnées géographiques de la région de Sidi Fredj sont :

- Longitude EST 2°50' et 2°52'
- Latitude NORD 36°45' e 36°47'

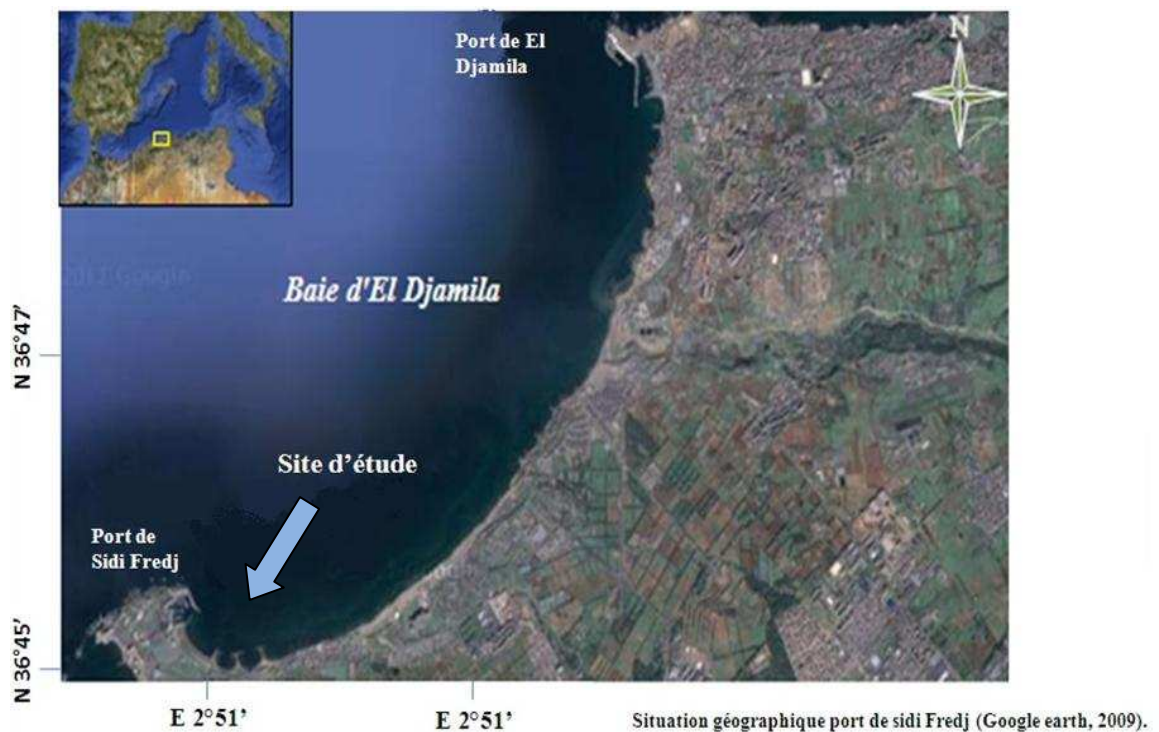


Figure n° I.1: Situation géographique du littoral de sidi Fredj (Google earth, 2009).

CHAPITRE I

PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

I.1.2. Orientation du trait de côte

L'orientation du trait de côte du littoral de Sidi Fredj est, moyennement, de Nord-Est/Ouest-Sud-Ouest. Par conséquent, les vagues du secteur NE et SW sont à l'origine de la dérive littorale et des transports sédimentaires longitudinaux qui opèrent les petits-fonds de la zone d'étude. Par ailleurs, les vagues du secteur NW sont en majeure partie responsables aussi bien des surcotes marines que des courants *onshore-offshore* qui peuvent être parmi les facteurs facilitateurs des pertes sédimentaires qui caractérisent la zone d'étude. L'importance de l'orientation du trait de côte dans la dynamique des littoraux a été observée dans plusieurs études (Swift *et al*, 1985 ; Keen *et al*, 1993 ; Jaffe *et al*, 1997).

I.1.3. Erosion littorale

Le littoral de Sidi Fredj se caractérise par des formes d'accumulations sablonneuses qui s'adosent sur un petit cordon dunaire très perturbé par d'inadéquats aménagements. Ceci étant plus visible surtout au niveau de la dune bordière de la plage Est de Sidi Fredj où une digue de promenade ainsi que des épis/brise-lames ont perturbé significativement la dynamique hydrosédimentaire de la région. Ces ouvrages mixtes sont à l'origine de l'accumulation sédimentaire que l'on peut observer sur la plage de Sidi Fredj Est. Cependant, ces « gains » sédimentaires provoqué dans la partie *downdrift* (à l'abri du courant) une érosion critique qui a conduit à l'implantation d'autres ouvrages de protection. Il convient aussi de rappeler que les ouvrages transversaux et longitudinaux installés sur les petits-fonds de la région provoquent l'arrêt certain des sédiments transportés par le courant de la dérive littorale. Par conséquent, les plages voisines sont pauvrement alimentées en sédiments.

I.1.4. Ensablement de la passe d'entrée du port de Sidi Fredj

Le port de Sidi Fredj, construit en 1969 par l'architecte français Fernand Pouillon, a été inauguré en 1971 et est destiné spécialement à la plaisance. Ce port est implanté dans une région historique témoin du débarquement des troupes françaises sur le territoire algérien en 1830.

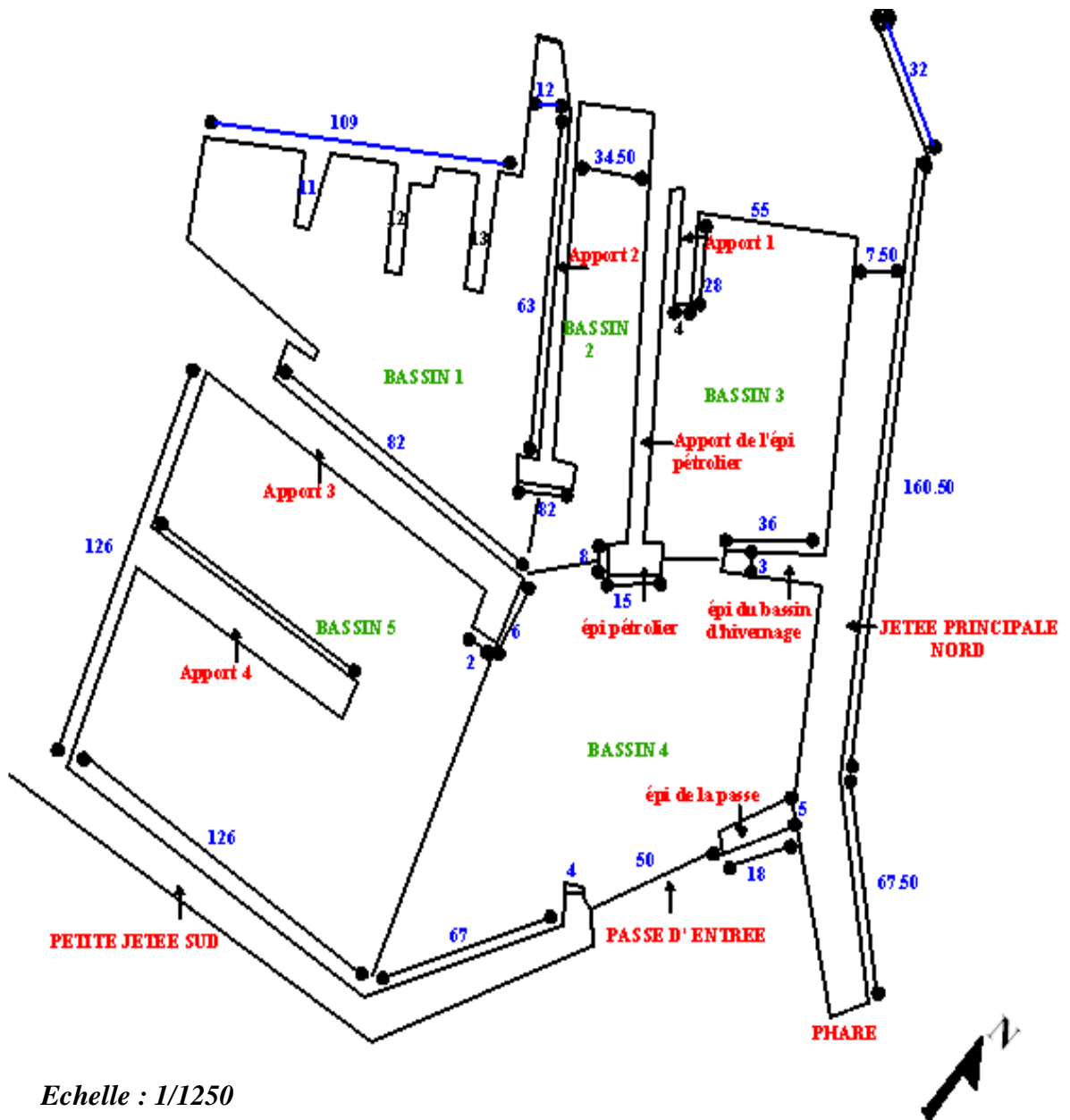
Le port est subdivisé en cinq (5) bassins aménagés pour permettre l'accostage des petits bateaux ou embarcations. (Voir plan n°1)

- **Bassin 1** : c'est le bassin le plus éloigné de l'entrée du port, et c'est lui qui accueille le déversement d'eaux usées par l'égout principal.
- **Bassin 2** : délimité par l'épi de la tour mauresque et l'épi de la station d'essence.

CHAPITRE I

PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

- **Bassin 3** : c'est le bassin de l'hivernage, délimité par la grande jetée.
- **Bassin 4** : délimité par l'appontement trois (3) à l'intérieur et la jetée sud à l'extérieur.
- **Bassin 5** : situé à la sortie du port et communique avec le large.



Plan n°1 : dimensionnement du port de sidi Fredj « plan de masse »
(Belabdi et Ounnas, 2011).

CHAPITRE I

PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

L'intérieur et l'extérieur du port sont séparés par un mur servant d'abri. Entre celui-ci et le quai, s'étend un terreplein comme voie de circulation.

Tableau n°1: superficie et profondeur des bassins du port.

Bassin portuaire	Superficie (m ²)	Profondeur (m)
1	8000	0.40 – 2.20
2	3000	1.75
3	5000	3 – 4.80
4	10000	1.40 – 2.60
5	9400	0.50 - 5

Le port de Sidi Fredj connaît depuis quelques années un ensablement très fréquent. Actuellement, plusieurs bateaux ayant un tirant d'eau supérieur à 1 m sont bloqués dans le bassin portuaire et les baigneurs traversent la passe d'entrée du port de Sidi Fredj à pieds (**Voir figure n°I.2**). Selon les témoignages des riverains, l'ensablement répété et significatif du port de Sidi Fredj aurait été significativement observé, depuis la construction des épis et des brise-lames dans la région.



Figure n°I.2 : la passe d'entrée du port de Sidi Fredj 2011
(Belabdi et Ounnas, 2011).

I.1.5. Sédimentologie de la baie de Bou Ismail

La baie de Bou-Ismaïl se caractérise par une texture sédimentologique disparate dont neuf faciès peuvent être identifiés : les sables fins, les sables fins envasés, les vases sableuses, les sables graveleux, les graviers envasés, les sables grossiers et fins graviers, les vases pures, le faciès rocheux (**figure. n°I.3**)

Les vases pures et les graviers envasés sont les faciès dominants de la baie de Bou-Ismaïl. Les vases sont très développées dans la région Ouest et forment ainsi une importance vaseuse littorale, tandis que les graviers envasés le sont dans la région Est (**Grimes, 2003**).

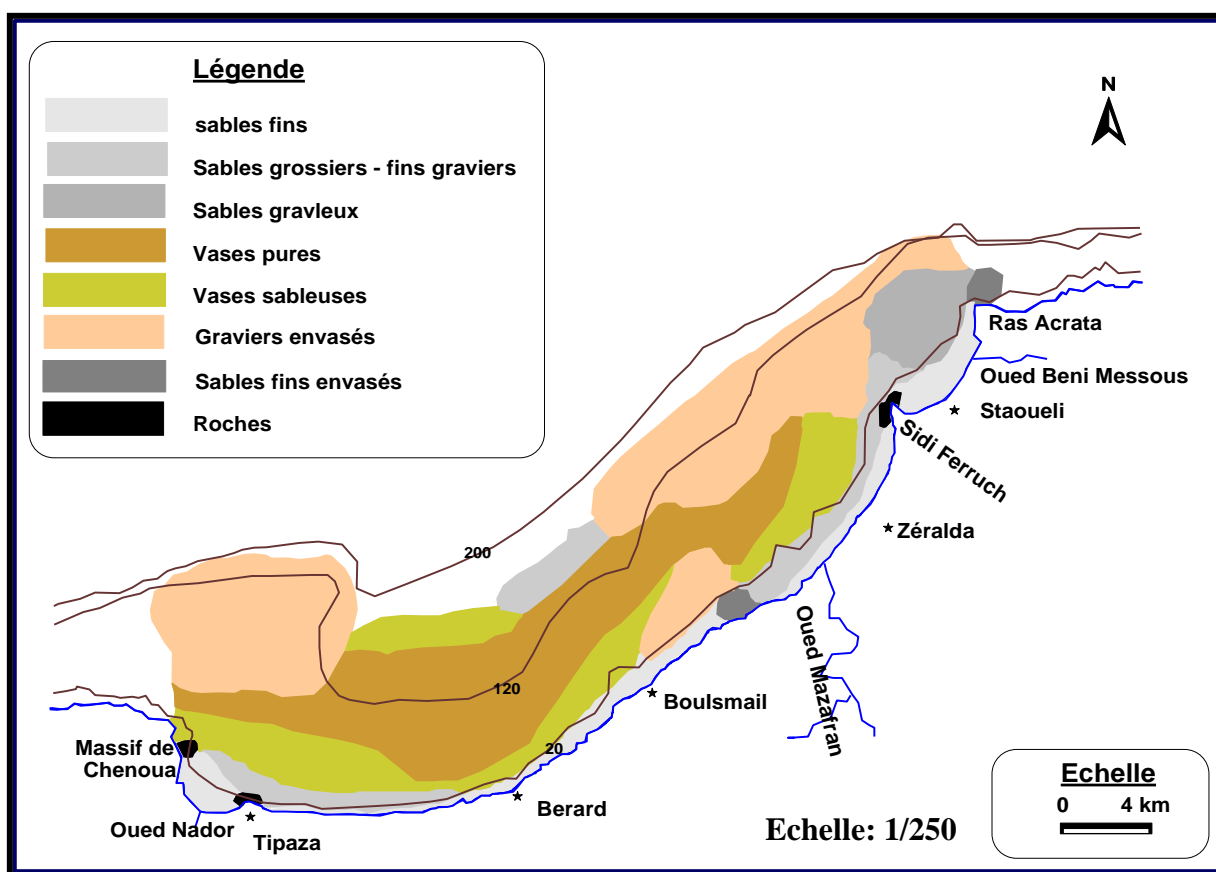


Figure n°I.3: Sédimentologie de la baie de Bou Ismaïl (**Grimes, 2003**).

CHAPITRE I

PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

I.2.Cadre climatologique

La détermination du caractère de climat est très importante pour mieux apprécier les régimes hydrodynamiques qui régulent et transforment les fonds marins et la zone côtière de notre zone d'étude.

Les données de climat local sont fournies par O.N.M : Observations allant de 1995 jusqu'à 2005 (annexe n°1).

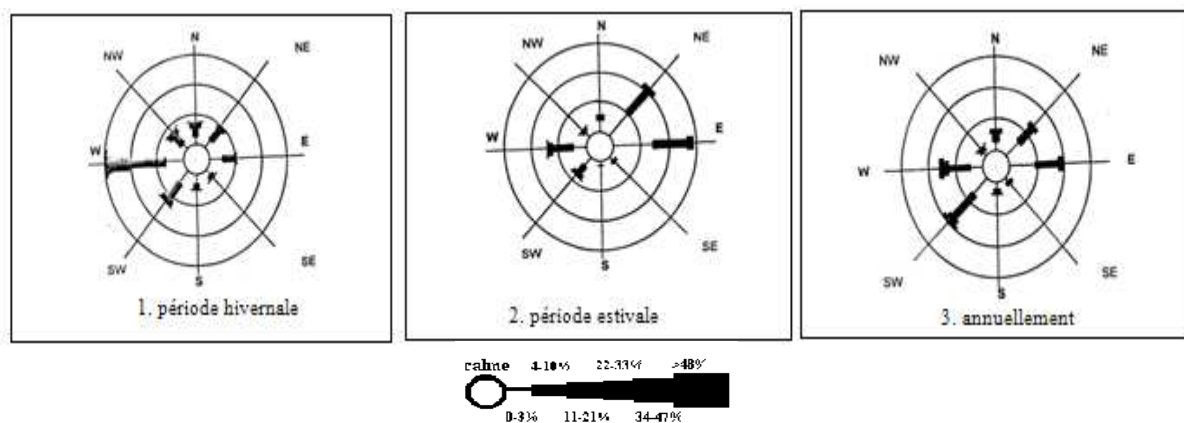
Pour les données au large, elles sont fournies par U.S Naval Weather Command pour la période de 1963 à 1970.

La baie d'El Djamila comme l'ensemble de la côte algérienne est caractérisée par un climat méditerranéen tempéré ; relativement froid et humide en hiver, chaud en été.

I.2.1.L'étude des vents

I.2.1.1.Au large

Les vents sont générateurs de vagues et de courants, leur impact augmente avec leur vitesse. Lorsque l'action des vents est continue, elle génère des vagues et une houle. Dans la baie d'El Djamila, la répartition des vents est parfaitement liée au régime annuel des houles. Les données recueillies par le S.S.M.O (Summary of Synoptic Meteorological Observations) au large d'Alger confirment l'existence de deux périodes distinctes (**Figure n°I.4**) :



Une période hivernale :(octobre-Mars) avec des vents dominants de secteur Ouest; avec une fréquence allant de 60 à 80%.

Une période estivale : (Avril-Septembre) les vents dominants sont de secteur Est et Nord Est, avec des fréquences de 45 à 75% pour le secteur Nord Est.

CHAPITRE I

PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

I.2.1.2. Données locales

Les mesures anémométriques issues de la station de Dar El Beida indiquent que les vents soufflent environ 60 % du temps dans la région. Cependant, les plus importants d'entre eux, de secteur Sud-ouest, ne soufflent que pendant 14 % du temps.

Tableau n° 2: Répartition annuelle des vents sur huit directions (ONM, 1995-2005).

Secteurs	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	Calme
Pourcentage par direction (%)	11,8	11,9	4	1,3	5,3	13,5	10,1	4,9	37,1

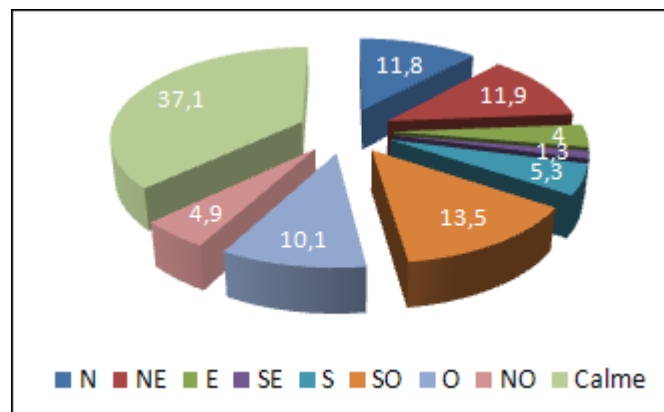


Figure n°I.5 : Répartition annuelle des vents en % (ONM, Dar-El-Beida, 1995-2005).

I.3. Cadre océanographique

I.3.1. Les vagues

Ce sont des oscillations de haute fréquence du niveau de la mer qui dépend directement des vents et qui joue un rôle important dans la dynamique côtière et sous-marine et l'équilibre côtier.

Les données de vagues de l'U.S. Naval Weather Command intitulé Summary of Synoptic Meteorological Observation (SSMO) qui concernent une période s'étalant de 1963-1970, et qui couvrent un secteur qui se situe en longitude Est de 2° à 5° en latitude Nord de 36,5° à 38° (tableau n°3), permettent d'effectuer une analyse statistique relative des vagues au large de la région d'Alger.

CHAPITRE I

PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Tableau n°3 : Fréquence mensuelle des vagues au large par direction en pourcentage (SSMO, 1963-1970).

direction	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Mois								
janvier	8,1	12,9	18,2	18,2	6,5	13,2	28,8	7,3
février	8,8	10,3	10,3	12,6	6,1	16,9	35,6	5,8
mars	11,3	12,6	12,6	15,8	4,5	12,3	30,5	9,2
avril	11,7	15,4	15,4	16	4,4	13,7	26,7	10,2
mai	8,2	26,3	26,3	31,9	3,3	7,2	13,9	5,2
juins	9,2	29,1	29,1	29,8	1,4	8,2	16,4	4,2
juillet	5,9	32,5	32,5	35,1	1	5,9	16,3	2
août	8,8	27,7	27,7	37,3	1,1	5	13,4	4,9
septembre	6,7	26,4	26,4	40,5	2,3	4,6	14,8	2,5
octobre	7,8	14,1	14,1	20,3	4,2	14,8	28,8	6,8
novembre	5,5	5,8	5,8	10	8	15,9	40,4	9,4
décembre	10,2	6,2	6,2	9,4	7,5	15	37,1	10
Moyenne	8,52	18,28	18,72	23,08	4,19	11,06	25,23	6,46

- Les vagues de direction Ouest, Sud-Est, Est et le Nord-Est sont les plus fréquemment observées, les fréquences d'apparitions sont plus faibles pour le secteur Nord, Sud et Nord-Ouest.
- La direction Nord à une répartition assez régulière au cours de l'année
- Durant l'année, les fréquences correspondant aux directions Est et Ouest sont sensiblement identiques avec toute fois une légère prédominance du secteur Ouest.
- En été, les vagues d'Est, Nord-Est et Sud-Est prédominent alors qu'en hiver le secteur d'Ouest est privilégié

CHAPITRE I
PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

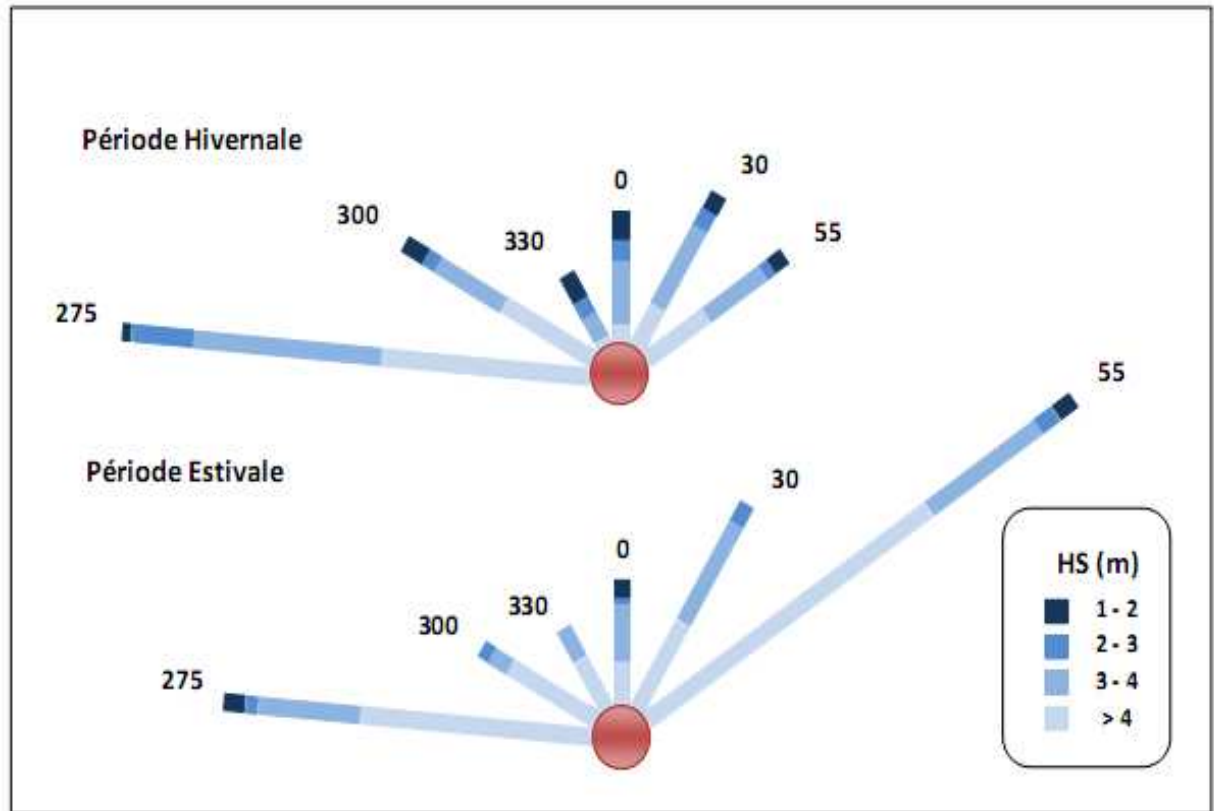


Figure n°I.6 : Roses récapitulatives de direction des houles au large du secteur (275°-55°)
(source : K.N.M.I in Zemenzer 2004).

L'examen de ces données renseigne sur la répartition des vagues et de la houle qui est globalement concordante avec le régime des vents.

En hiver : Les vagues d'Ouest dominant avec la majorité des amplitudes sont entre 1 et 3 m pouvant atteindre les 4m, elles engendrent des courants de retour qui entraînent les sédiments vers le large (**Boutiba, 1996**).

En été : Les vagues dominantes sont issues du secteur Nord-Est avec des amplitudes moins faibles, et on remarque aussi que les vagues du secteur Ouest sont assez importantes et engendrent une dérive littorale de l'Est vers le Sud-Ouest. Et l'analyse des données du S.S.M.O présentées sous forme de (tableau n°3) et celles du K.N.M.I (Institut météorologique royal Néerlandais), (**Figure n°I.7**) confirment parfaitement cette répartition :

CHAPITRE I

PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Tableau n°4: Amplitudes des vagues en fonction des directions et leurs périodes de retour (SSMO, 1963-1970).

Direction	Nord	Nord-Est	Est	Ouest	Nord-Ouest
période de retour (m)					
Biennale	4.90	4.93	4.12	7.36	4.16
Quinquennale	5.75	5.67	4.70	8.43	4.87
Décennale	6.38	6.23	5.14	9.22	5.40
Vingtennale	7.02	6.79	5.59	10.02	5.94
Cinquantennale	7.87	7.53	6.17	11.08	6.65
Centennale	8.50	8.08	6.62	11.88	7.18

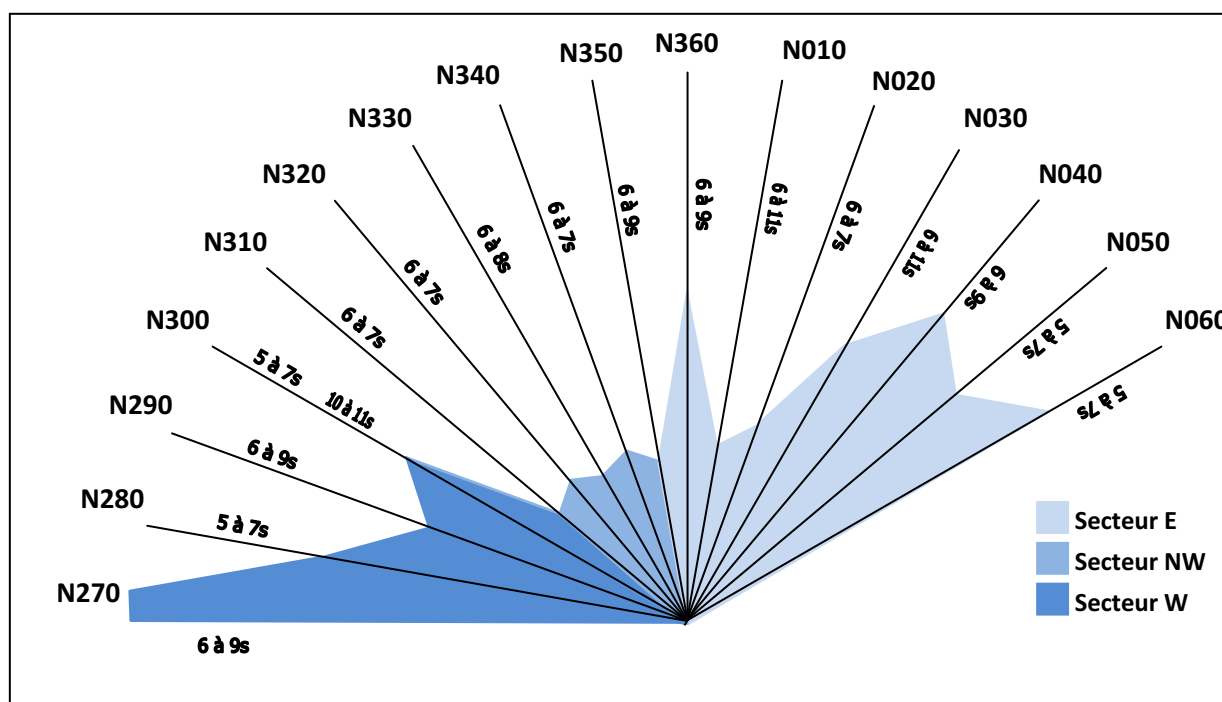


Figure n° I.7 : Répartition des énergies des houles en fonction de la direction et des périodes les plus courantes. (Source : K.N.M.I in Zemenzer 2004).

Pour une période de retour Cinquantennale, les données illustrées sur le tableau n°4 montrent que les vagues les plus énergiques relatives à ce secteur Ouest avec des hauteurs d'environ 11.88 m.

La répartition des périodes des vagues est donnée par état de la mer dans le tableau ci-dessous.

CHAPITRE I
PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Tableau n°5 : Répartition des états de mer par période (SSMO, 1963-1970).

Etat de la mer	Périodes des vagues					
	< à 6s	6-7s	8-9s	10-11s	11-12s	13s
calme	5,2	0,1	-	-	-	-
0	20,8	1,9	0,4	-	-	-
1	24,6	13,1	2,7	0,5	0,2	-
2	2,6	5,4	3,1	0,9	0,2	-
3	0,4	1,1	1,00	0,6	0,2	-
4	0,1	0,5	0,3	0,3	0,3	-
Totale (%)	53,7	22,1	7,5	2,3	0,9	-

Les vagues observées ont pour la majorité une période courte (pour 75% la période est \leq à 7s). Quand au reste des oscillations qui ne dépassent pas 3%, elles pourraient concerner la houle, puisque celles-ci se caractérisent, entre autres, par l'importance de sa période comprise dans notre cas entre 10 et 13s.

CHAPITRE I

PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

I.3.2. Les courants

Les courants jouent un rôle très important dans le transport sédimentaire et participent dans l'évolution de la morphologie côtière. Par conséquent, ils peuvent donner naissance aussi bien à des accrétions (ensablement) qu'à des déficits sédimentaires. Il existe plusieurs types de courants qui peuvent réguler la zone côtière, parmi lesquels on peut citer :

I.3.2.1. Les courantstidaux

Ce sont des courants liés à l'action de la marée. Cependant, ceux-ci restent très faibles sur les côtes Méditerranéennes.

I.3.2.2. Les courants de densité et le courant général

C'est un courant qui est lié à la densité différentielle de l'eau de mer, lequel est également influencé par la rotation de terre. Le courant général relatif à notre zone d'étude est d'origine atlantique, il se déplace d'Ouest en Est le long des côtes algériennes sous l'effet de la force de Coriolis. Ce courant général entre 1° et 2° Est devient instable pour former des tourbillons anticycloniques accompagnés de phénomènes d'*upwelling* (La remontée d'eau) (Figure n° I.8) (Millot et al 1990).

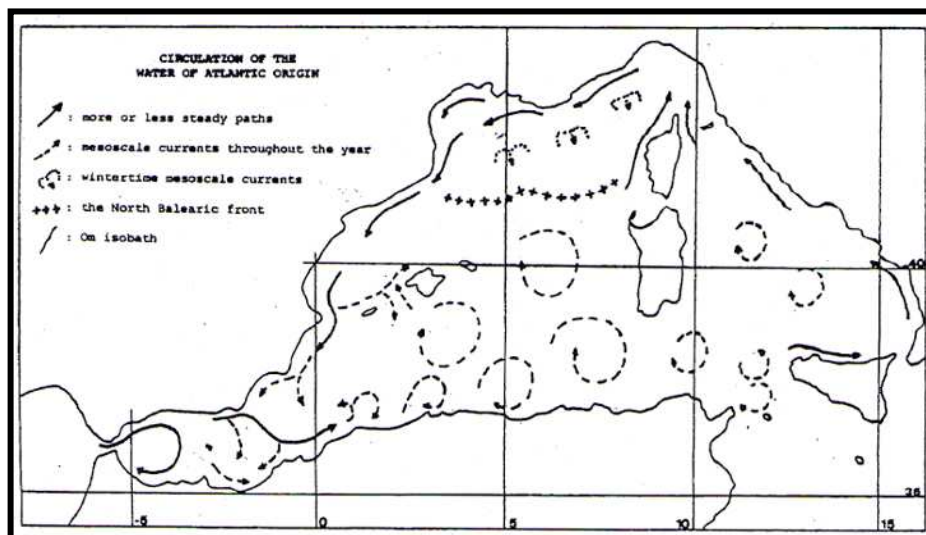


Figure n°I.8: Circulation de l'eau atlantique modifiée dans la Méditerranée (Millot, 1987).

CHAPITRE I

PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Les eaux méditerranéennes sont plus denses que les eaux atlantiques. Cette différence de densité entraîne un ajustement permanent de ces 2 masses d'eau au niveau du détroit de Gibraltar. Les eaux légères atlantiques pénètrent en surface en Méditerranée tandis que les eaux lourdes méditerranéennes sortent en profondeur vers l'Atlantique.

La rotation terrestre conduit à une inclinaison de l'interface entre les 2 masses d'eau. Cette interface est plus profonde au sud du détroit qu'au nord. Après avoir franchi le détroit et un parcours complexe en mer d'Alboran, les eaux de surface finissent par se concentrer sur la côte africaine, i.e. sur leur droite. Elles forment alors une veine bien définie, le courant algérien, qui s'écoule le long de la côte. Le courant nord résulte également en partie de ce processus.

Cette description met en évidence 2 aspects clefs de la circulation en méditerranée : l'ajustement entre 2 masses d'eau et le fait que le courant résultant, courant de densité, a une largeur finie. Cette largeur dépend, parmi d'autres facteurs de la stratification (**Belkourane et al, 2009**).

I.3.2.3. Les courants de la dérive littorale

Lorsque les vagues atteignent obliquement la côte, elle donne naissance à un courant de dérive littorale qui atteint des vitesses maximales pour un angle d'incidence de 50° à 60°.

Ce courant longitudinal se manifeste dans l'enceinte de la zone de déferlement des vagues et joue un rôle essentiel dans le déplacement des sédiments le long de la côte et dans l'alimentation des plages en sédiments.

Il existe aussi d'autres courants côtiers dont l'occurrence est très potentielle sur nos côtes comme les *Rip Current*, les courants d'*undertow*, *down welling* côtiers etc.

I.3.2.4. Observations de courants

Les appareils utilisés dans la mesure des courants sont appelés courantomètres. Ils peuvent être déployés aussi bien en mode fixe ou sur ligne de mouillage qu'en mode mobile pour permettre une couverture courantologique spatiale.

Chapitre II

Matériels & méthodes

CHAPITRE II: MATERIELS ET METHODES

II.1.Travaux en mer

Les mesures des vitesses des courante du fond (à 100 cm au-dessus du fond) ont été effectuées au cours de la campagne de mesures réalisée le 07/04/2011, à bord de l'embarcation de « Baba Aroudj » (**Figure n °II.1**) et ce, en présence d'un vent du NE.



Figure n°II.1: Le bateau « Baba Arroudj ».

CHAPITRE II

MATERIELS & METHODES

La localisation géographique des points de mesures est faite à l'aide d'un GPS de type «FURUNO » (figure n°II.2).



Figure n°II.2: GPS de type « FURUNO » utilisé sur le « Baba Arroudj »

L'utilisation de l'échosondeur sert à connaître la profondeur de chaque station mais aussi pour éviter les problèmes de perte de l'instrument.



Figure n°II.3: Echosondeur utilisé sur le « Baba Arroudj »

II.2. Mesure des courants

Les courants sont mesurés sur place à l'aide d'un courantomètre « Model 180 MK III » (Figure n°II.4).

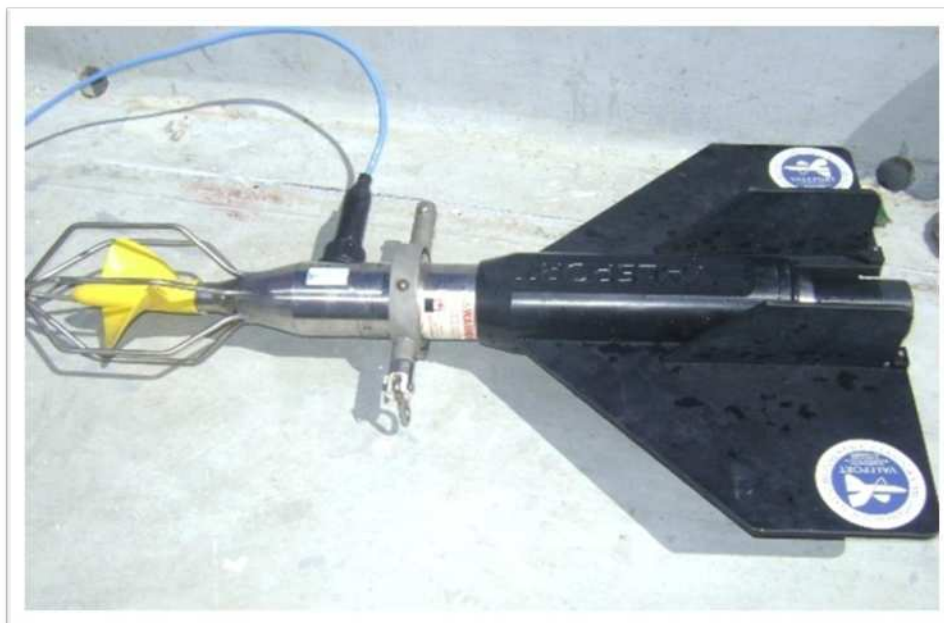


Figure n°II.4: Le courantomètre 108 MKIII de l'ENSSMAL.

II.2.1. Les composants du courantomètre 108 MKIII

II.2.1.1. Instruments

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

II.2.1.2. Déploiement de l'instrument

Le courantomètre Valeport 108 MK III est mouillé à l'aide d'un câble électro-porteur qui sert aussi bien à suspendre l'instrument que son alimentation en énergie et la communication avec l'instrument immergée.

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 du câble électro-porteur pour établir une connexion électronique entre l'appareil et le Datalog que nous verrons ci-après.

CHAPITRE II

MATERIELS & METHODES

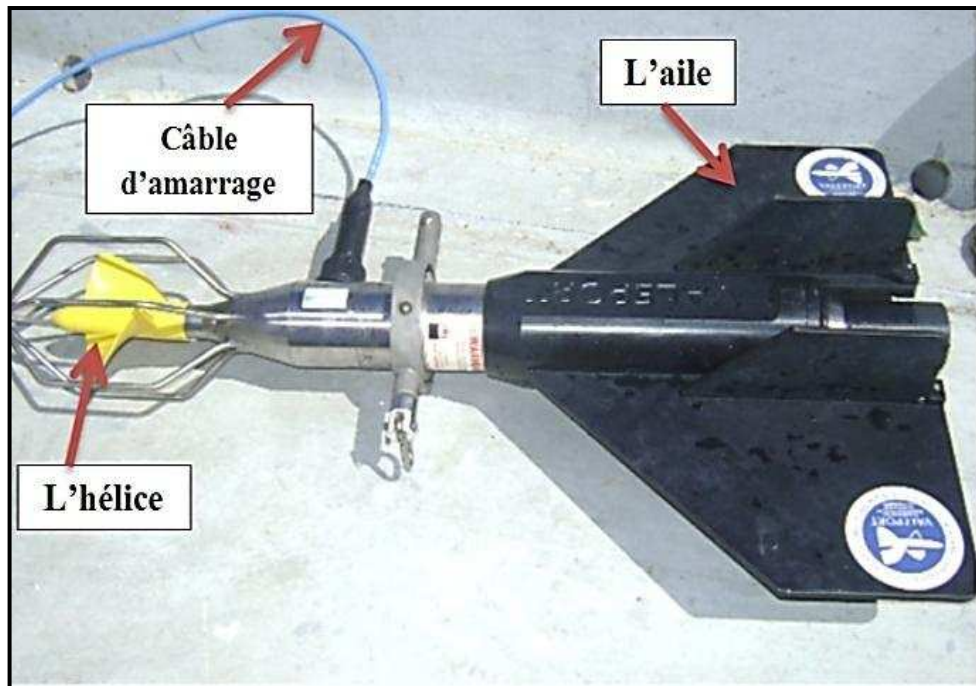


Figure n°II.5: Les composantes du courantomètre 108 MK III.

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).



Figure n°II.6: le 8008 CDU « moniteur ».

CHAPITRE II

MATERIELS & METHODES

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

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

Le tableau représenté en annexe n°2 indique les positions des points de mesure des courants degrés convertis en mètres. Et les stations étudiées dans le présent travail sont représentées dans la figure n°II.7. Quant aux mesures courantologiques effectuées par **Belkourane et Kherfella (2009)**, elles sont représentées dans la figure n°II.8.

CHAPITRE II
MATERIELS & METHODES

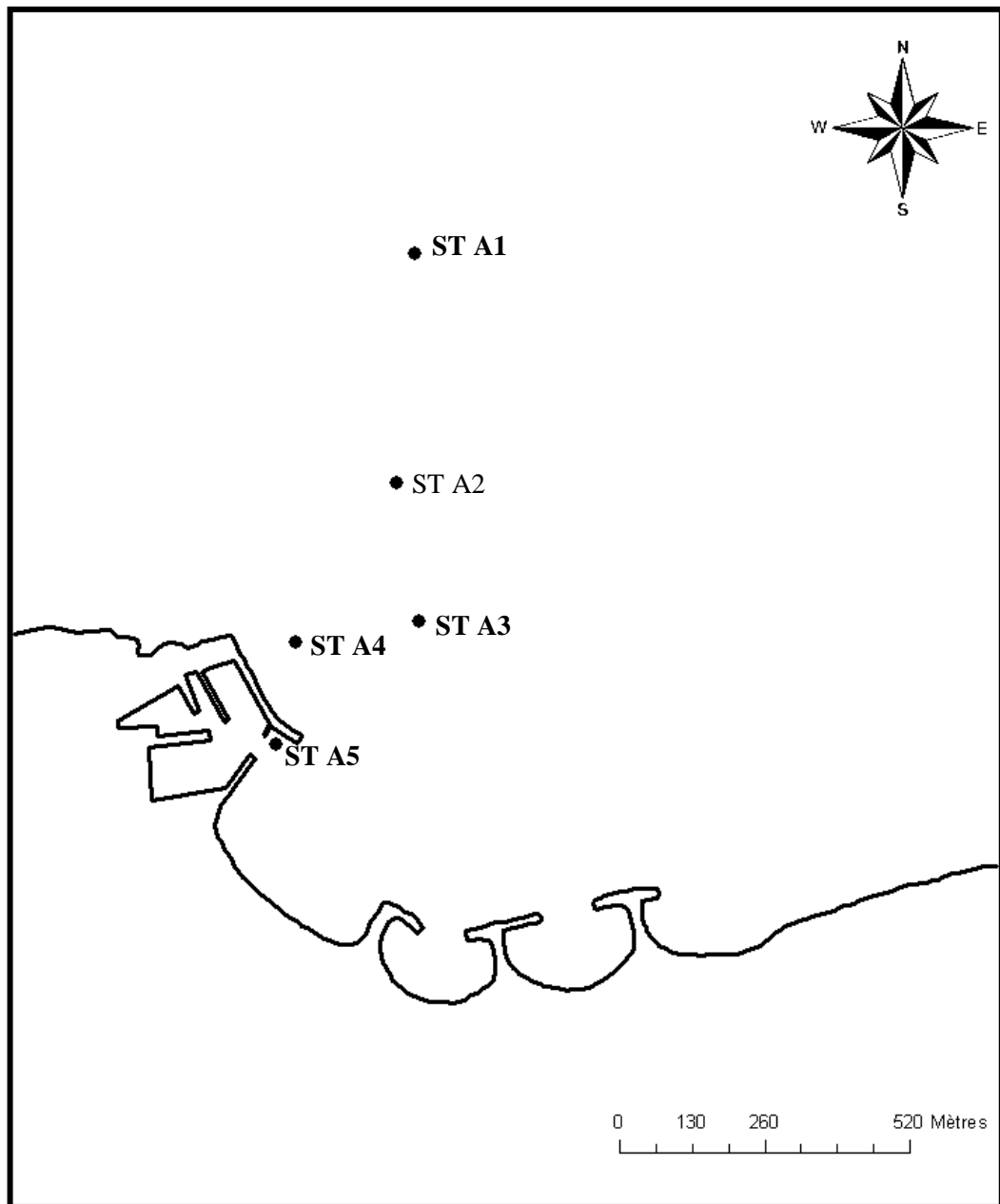


Figure n°II.7 : Localisation des stations de mesures des courants en 07/04/2011
(Belabdi et Ounnas, 2011)

CHAPITRE II
MATERIELS & METHODES

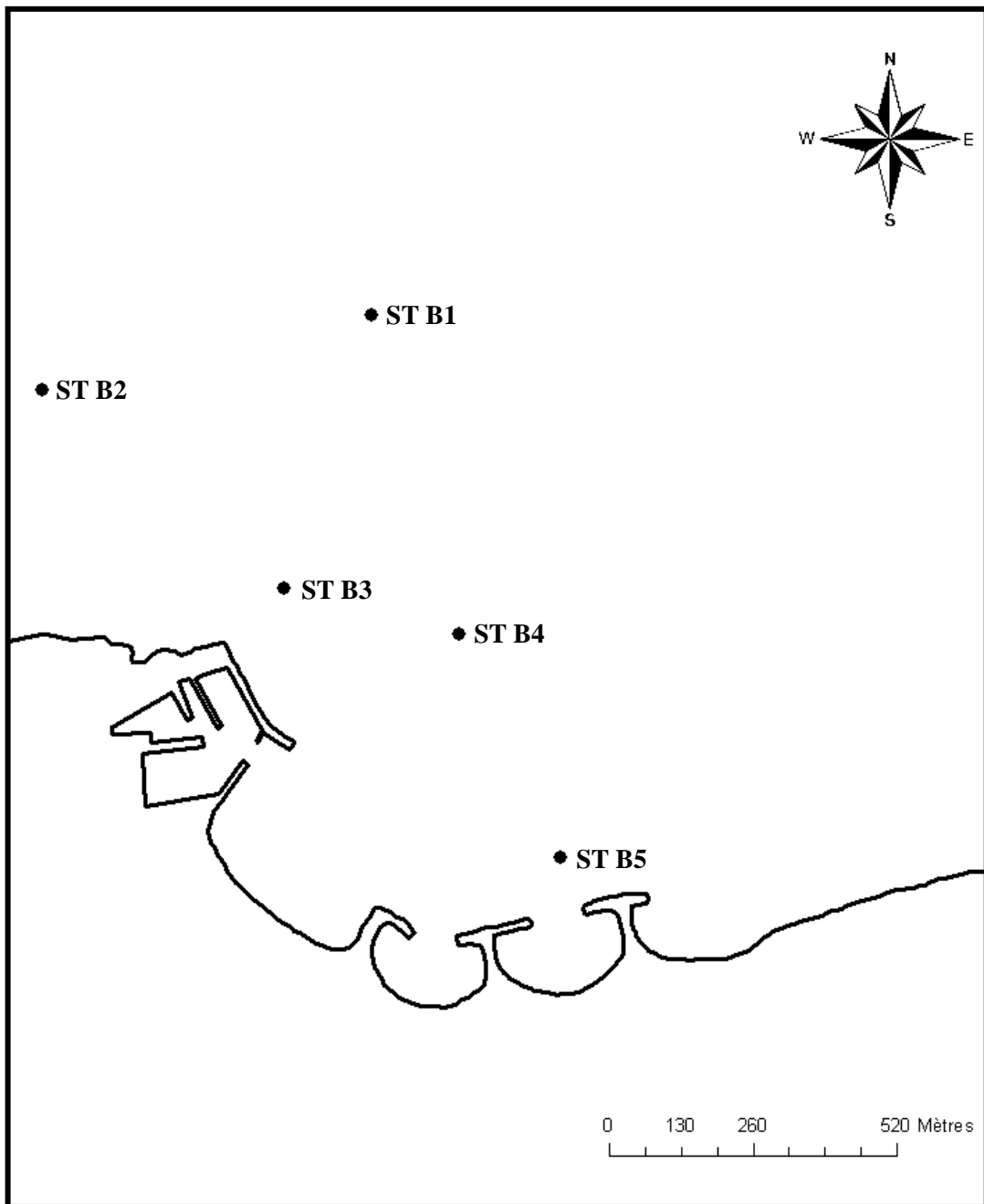


Figure n°II.8 : Localisation des stations de mesure des courants en 16/05/2009 (Belabdi et Ounnas, 2011).

II.3. Mobilités des sédiments

L'étude de la circulation hydrosédimentaire qui régule la zone côtière de notre zone d'étude est très importante pour la compréhension de l'ensablement et de l'érosion côtière. A cet effet, nous avons jugé utile d'étudier la mobilité des sédiments sur les petits-fonds de la zone d'étude et ce, sous l'influence des courants de cisaillement obtenus à partir des données des courants mesurés.

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} :

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

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

$$\log \theta_{cr} = 0.045, Y > 3000$$

Y étant le paramètre de Yalin qui est défini par :

$$Y = [(\rho_s - \rho)gD^3/\rho\nu^2]^{0.5},$$

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 θ_{cr} par l'équation suivante :

$$\tau_{cr} = \theta_{cr} (\rho_s - \rho)gD,$$

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

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

CHAPITRE II

MATERIELS & METHODES

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

$$u_* = \frac{ku_z}{\ln(30z/Kb)}$$

Avec :

K : 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 de laquelle le courant est mesuré ($z = 1$ m pour notre cas).

Chapitre III
Discussion &
Recommandations

CHAPITRE III. DISCUSSION ET RECOMMANDATIONS

III.1.1. Dynamique des courants côtiers

L'observation des courants mesurés lors des périodes de faible et de fortes agitations, renseigne sur la présence des courants côtiers agissant au niveau de la couche limitée près de fond et ayant des vitesses qui oscillent entre 0,4 m/s et 0,53 m/s.

Les mesures effectuées lors de la campagne de mesure de la date 07/04/2011 (Figure n°III.1) sont relatives à un événement lié au vent du NE. Par conséquent, nos résultats étant relatifs, ne permettent pas de tirer des conclusions définitives sur la courantologie de la région de Sidi Fredj. Cependant, nos résultats peuvent être utilisés pour comprendre la dynamique hydrosédimentaire relative au niveau de la zone d'étude et proposer quelques solutions préliminaires (qui nécessitent des mesures plus denses) pour la conservation du littoral de la région.

En résumé, nos résultats montrent la présence des courants côtiers liés au vent, qui seraient combinés aux courants de densité et ayant des vitesses qui atteignent dans certains endroits 0,5 m/s (Figure n°III.1). Les résultats illustrés sur la figure n° III.1 montre que les courants côtiers mesurés en période de forte agitation se propagent vers le Secteur W-SW ; en direction du port de Sidi Fredj.

Aussi, nous observons que ces mêmes courants pourraient aussi arracher les sédiments de la partie orientale de la région pour les transporter vers la passe d'entrée du port de Sidi Fredj. Ceci, nous laisse supposer que l'un des facteurs hydrodynamiques causant l'ensablement portuaire de la région de Sidi Fredj pourrait être ce courant combiné généré essentiellement par le forçage météorologique liée au vent NE.

Par ailleurs, les travaux de (Belkourane et Kherfella, 2009) ont également mis en évidence la présence de ces courants combinés qui se propagent vers la côte de Sidi Fredj. La combinaison de nos résultats avec ceux de (Belkourane et Kherfella, 2009) montre une concordance ; des courants combinés se dirigent vers la côte et qui sont probablement dirigés et amplifiés par le vent du NE (figure n°III.3).

Ces résultats font état d'un flux de courants côtiers qui progressent vers la côte. Par conséquent, ce forçage hydrodynamique serait un des facteurs qui pourraient provoquer

CHAPITRE III

DISCUSSION & RECOMMANDATIONS

l'érosion de la partie orientale de la région (au niveau des ouvrages mixtes - épis brise-lames - de la région) pour provoquer un ensablement vers la partie du cap de Sidi Fredj (port).

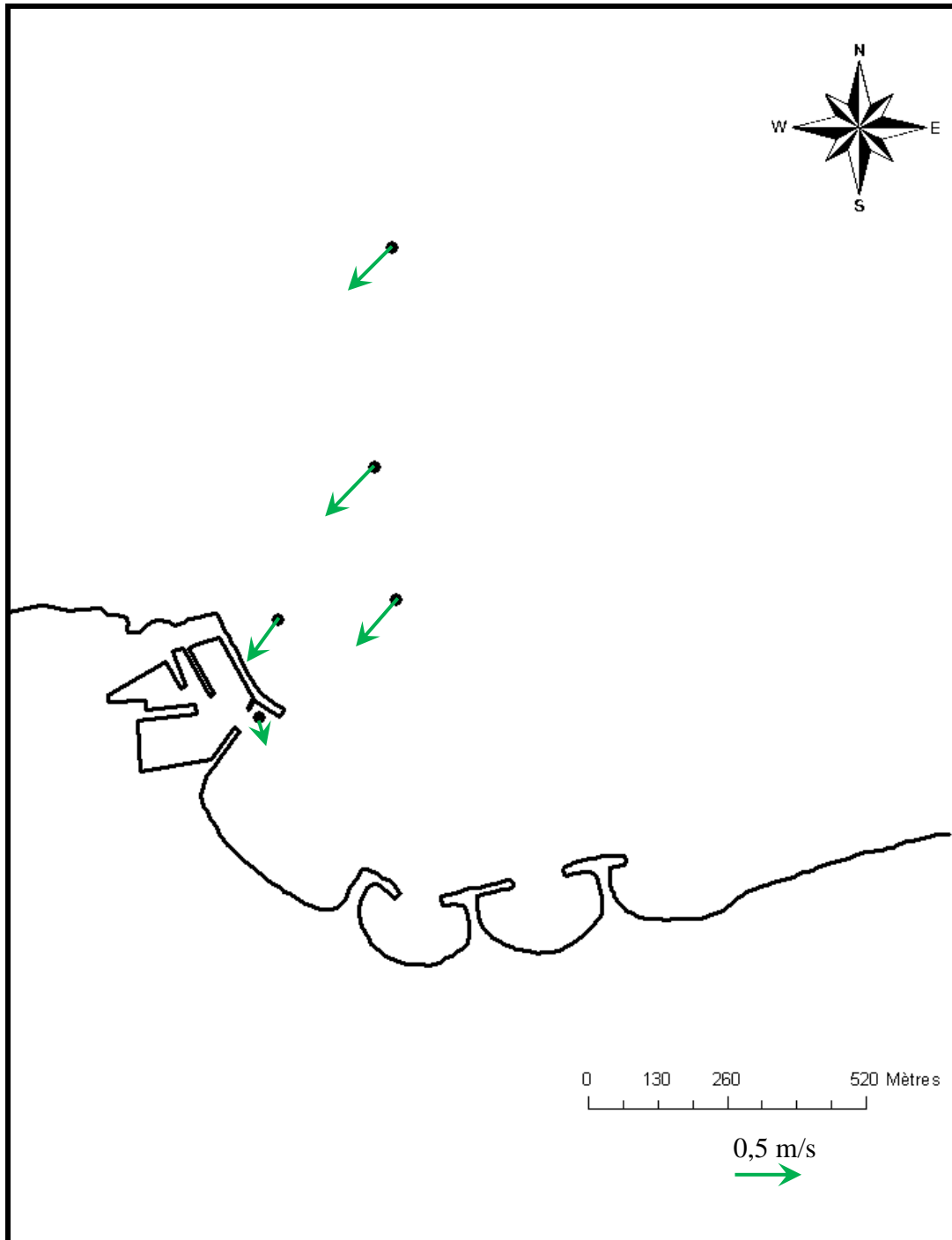


Figure n°III.1: la carte représente les courants mesurés dans la zone de Sidi Fredj de la date 07/04/2011 (Belabdi et Ounnas, 2011).

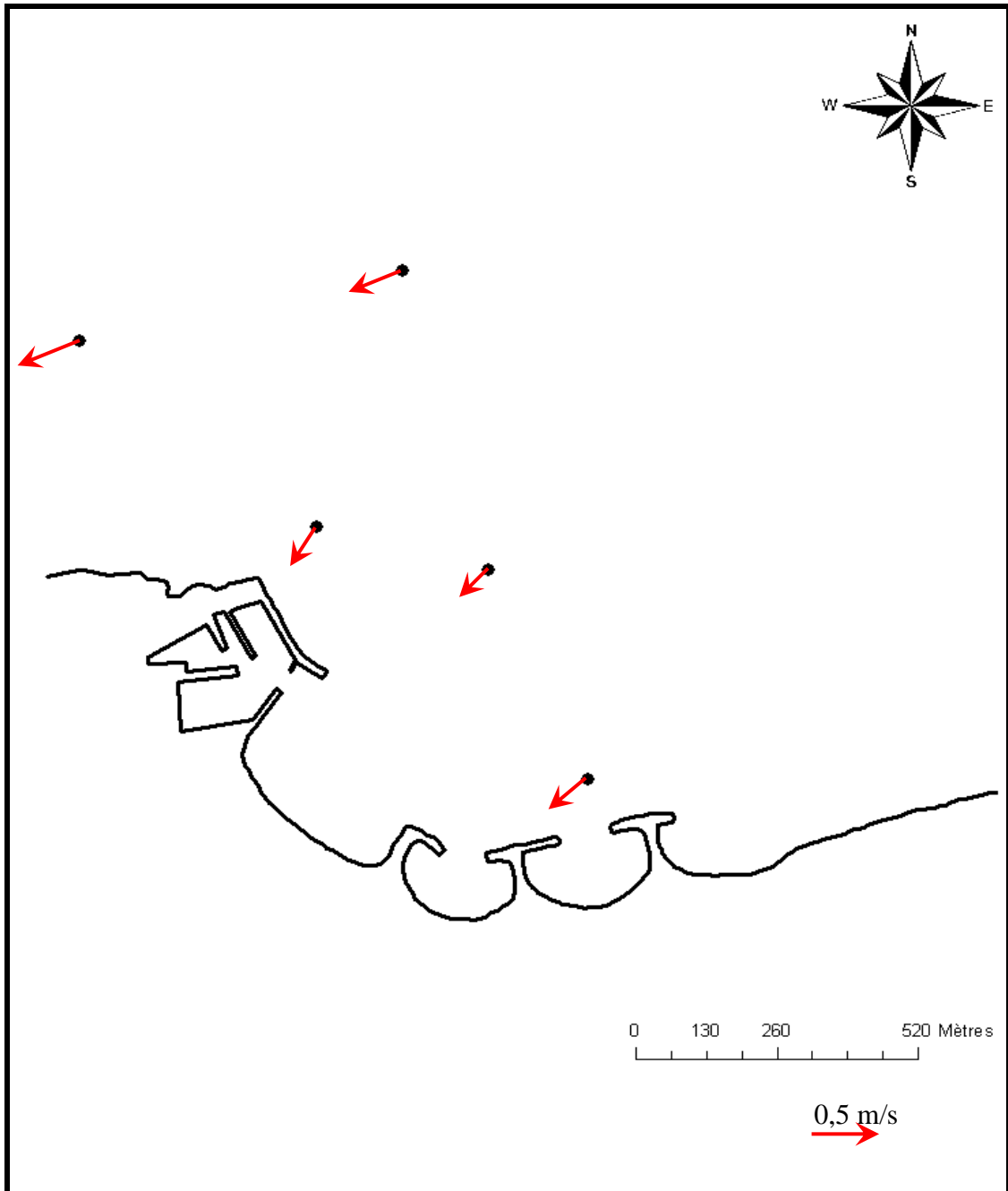


Figure n°III.2: la carte représente les Courants mesurés dans la zone de Sidi Fredj de la date 16/05/2009 (Belabdi et Ounnas, 2011).

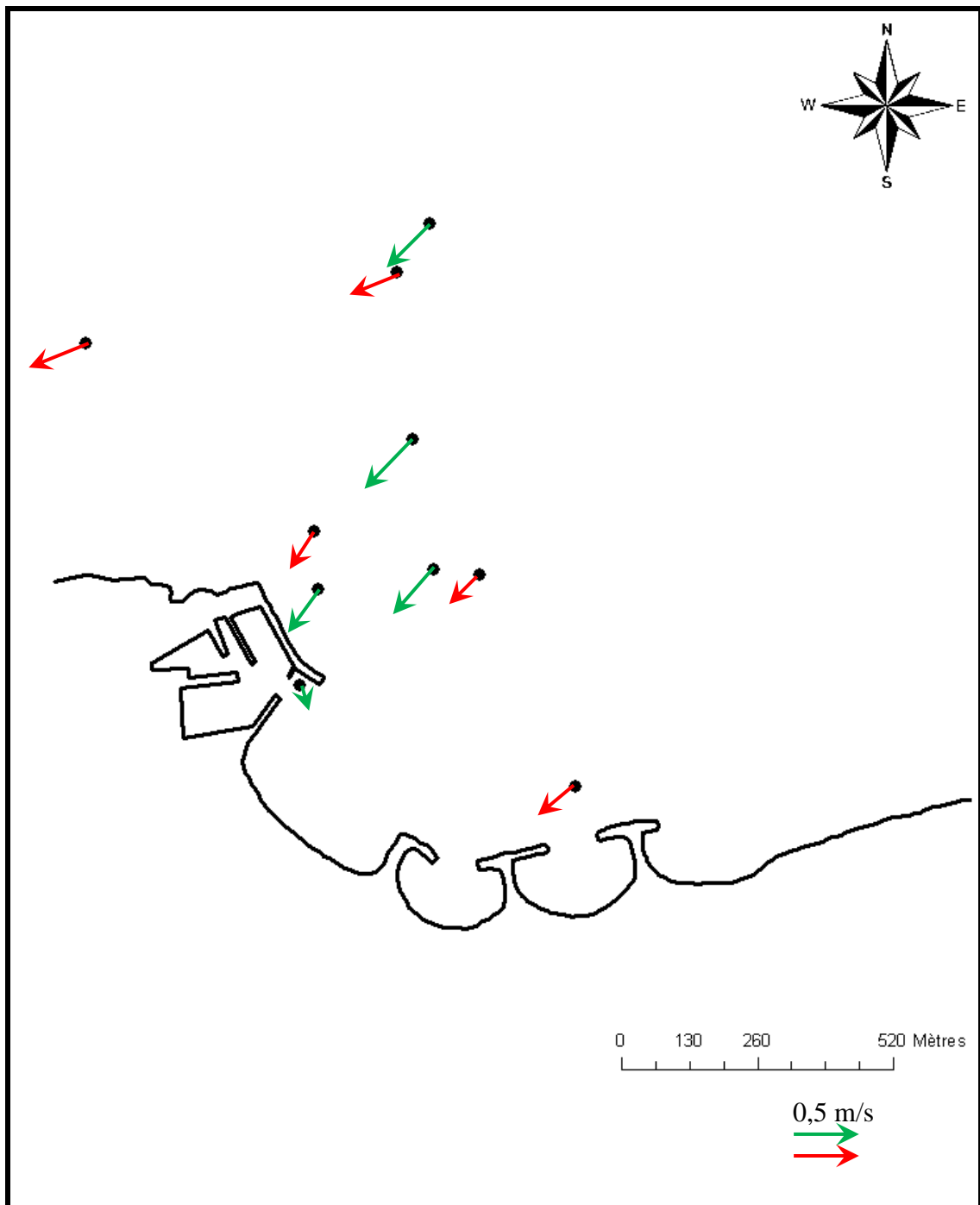


Figure n°III.3: La combinaison des deux cartes pour l'ensemble des mesures (Belabdi et Ounnas, 2011).

III.1.2 Mobilités des sédiments

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

$$u_{*cr} = (\tau_{cr}/\rho)^{0,5},$$

$$u_{*cr} = (0,15/1025)^{0,5}$$

$$u_{*cr} = 0,012m/s$$

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

$$u_* = \frac{ku_z}{\ln(30z/Kb)}$$

$$u_* = \frac{0,4 * 0,5}{\ln(30 * 1/2,5 * 0,0002)}$$

$$u_* = 0,018m/s$$

$$u_{*cr} < u_*$$

L'application de modèle de Yalin (1963) nous a permis de conclure que les courants mesurés sur les petits fonds du littoral de Sidi Fredj sont assez puissants pour générer la mobilité des sédiments vers le port de Sidi Fredj. En plus clair, les vitesses critiques de cisaillement u_{*cr} sont, pour cet événement, inférieures aux vitesses des courants de cisaillement mesurés dans la région. Et les courants observés sur les petits fonds de la région d'étude et l'ensablement du port pourraient être l'un des facteurs qui provoquent l'érosion (déficit sédimentaire) du littoral de la région.

Par ailleurs, les ouvrages mixtes (longitudinaux et transversaux) pourraient également être l'un des facteurs générateurs de ce déficit sédimentaire (érosion côtière) et pourraient obstruer les sédiments transportés par la dérive littorale.

En plus, la morphologie sédimentaire observée au voisinage de ces structures de protection (ouvrages mixtes) renseigne aussi sur l'effet potentiel des vagues de différents secteur (W, N, NE,...) qui pourraient atteindre, après leur réfraction, la côte avec une incidence frontale.

III.1.3 Propositions de solutions

III.1.3.1. Propositions et application pour la protection (Géotube)

Pour toute défense contre l'érosion marine, il est plus efficace de se tourner vers des ouvrages de défense souples qui opèrent en harmonie avec les dynamiques naturelles et lesquels ont un moindre impact sur le littoral, plutôt que d'utiliser des ouvrages de défense rigides qui tendent à perturber ou à freiner les processus hydrosédimentaires côtiers. Pour notre cas, nous proposons une méthode qui se base sur les géotubes (géotextiles).

L'application des géotextiles pour le milieu marin a commencé en 1953 lorsqu'une digue de protection des côtes hollandaises est détruite provoquant de nombreuses pertes de vies humaines. Et pour éviter que ce désastre ne se répète, les ingénieurs hollandais en hydraulique pensèrent alors à de nouvelles méthodes et des matériaux nouveaux pour construire des futures structures de défense côtière.

Parmi les méthodes nouvelles de protection des plages, une large part est faite par l'utilisation des géotextiles. Ces derniers sont projetés à conforter les mouvements des sédiments et à favoriser les phénomènes de transport et de dépôt estimés souhaitables et ce, en vue de remplacer les ouvrages durs comme les épis, les brise-lames et les enrochements.

III.1.3.1.1. Le géotube

Il s'agit de tubes ou boudins géotextiles d'une enveloppe géotextile tissé de haute résistance remplie de sable. La structure est réalisée in situ et remplie par pompage hydraulique avec des matériaux locaux, à l'intérieur de l'enveloppe (Koffler et al, 2002). Le Géotube est fabriqué sur mesure selon les besoins de l'ouvrage et il est disponible en dimensions et longueurs variables pour correspondre aux spécifications de l'ouvrage et de l'étude. Il est idéal pour une installation à sec ou à des profondeurs d'eau n'excédant pas 5 mètres.

Les conséquences de l'érosion peuvent aller d'une simple perte de surface de sol à l'affouillement et l'effondrement de structures. Pour éviter l'apparition de l'érosion, une variété de mesures préventives peut être utilisée aujourd'hui pour réduire les forces de l'eau pouvant agir sur des structures érodables. Généralement, ces mesures font parties de l'une des trois catégories suivantes :

- des mesures géométriques, où la forme de la structure est modifiée pour réduire les forces de l'eau sous un seuil minimum.
- des mesures de stabilité, où la structure exposée est protégée contre l'érosion par la stabilisation du sol érodable. Les exemples incluent l'incorporation de revêtements, et notamment l'interposition de filtre géosynthétiques.
- des mesures externes, où la structure exposée est protégée contre l'érosion par l'apport d'une structure de protection placée à un certain endroit selon l'ouvrage. Les exemples incluent les brise-lames sous-marins, les butées de pieds, des épis, des digues, la construction d'îles artificielles, etc.

III.1.3.1.2. Type des ouvrages géotextiles

A- Structure tubulaire ou Géotube

Les géotubes sont des tubes fabriqués en géotextiles tissés ou non-tissés et ayant des diamètres allant de 1 mètres à plusieurs mètres et théoriquement de longueurs infinie (**Cantré, 2002**).

Cette technologie est souvent utilisée aussi bien contre les inondations que pour la conservation des plages contre l'érosion et la protection des littoraux et de l'environnement (**Koerner and Koerner, 2006; Muthukumaran and Ilamparuthi, 2006**).

Ces tubes sont remplis hydrauliquement par une mixture sédiment/eau. La perméabilité des géotubes permet à l'eau de se drainer, après le remplissage, à travers ses mailles tout en confinant le sédiment dans le tube (**Cantré, 2002**).

Les composantes de la structure du synthétique peuvent résister à la compression, la tension, au cisaillement et à la torsion et ceci dépend de la particularité du synthétique (**Cerc, 2006**).

La structure peut également être associée à un tapis anti-affouillement. Ce tapis assure la protection de la base du tube. Ce tapis peut être posé sous le tube et prolongé des deux côtés ou d'un côté uniquement, selon le type d'ouvrage, la largeur du tapis dépendant de la taille du tube utilisé. Le tapis est mis en œuvre avant la pose de la structure en tube et les petit tubes d'ancrage de part et d'autre, servant de lest, sont également remplis hydrauliquement pour créer un lest en pieds de tapis. Le tube peut être rempli hydrauliquement à terre, soit à sec, ou toute ou partie dans l'eau.

CHAPITRE III

DISCUSSION & RECOMMANDATIONS

Le tube pré fabriquée est déroulé sur site et ancrée à sa position finale. Des points d'attache sont cousus le long du tube en usine pour permettre la fixation provisoire, lors de la mise en œuvre, avant de le remplir. Si nécessaire, le tapis anti-affouillement est placé préalablement au déroulement du tube. Le tube peut être rempli en utilisant différents types de pompes allant de la petite pompe submersible à la pompe utilisée pour le dragage. (Albert et al, 2009).

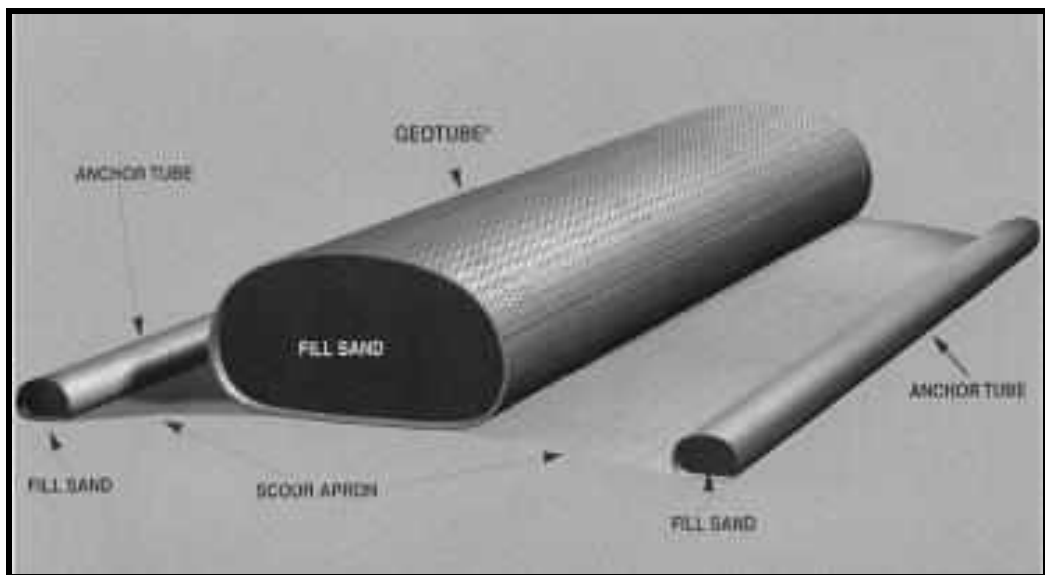


Figure n°III.4: exemple schématique d'une structure tubulaire ou Géotube.

B- Les poches ou Géocontainer

Les géocontainer sont des cellules en géotextiles contenant de grandes quantités de matériaux de dragage ou d'autres types de matériaux (Figure n° III.5). Ces tubes sont mouillés sur le fond et ce, par le biais d'une barge à clapet (Albert et al, 2009)

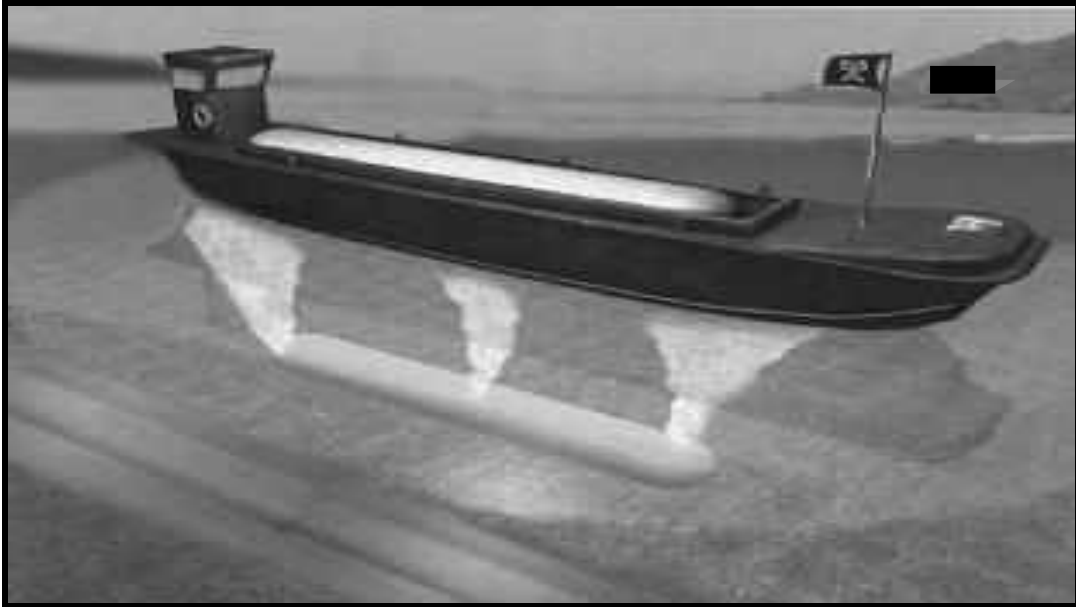


Figure n°III.5: Déploiement d'un Géocontainer.

C- Sac ou géobag

Les géobags sont des grands sacs en géotextile remplis de sable. Le volume est en général compris entre 1 et 10 m³, mais dans la plupart des cas, il est inférieur à 6 m³. Le sac est fabriquée avec un géotextile de résistance élevée pour résister aux contraintes importantes imposées pendant le remplissage, le transport et l'installation. Par ailleurs, le géotextile a été spécialement conçu pour retenir le sable de remplissage tout en permettant en même temps une perméabilité élevée. (Albert et al, 2009).

III.1.3.1.3. Le système de pompage (By Passing)

Le « *by passing* » est un système qui permet de pomper des sédiments d'une région et de le refouler dans une autre zone (les géotubes pour notre cas). La pompe hydraulique est branchée sur les points d'injection localisés le long du tube. L'eau ressort par les pores du géotextile, et le sable reste dans le tube qui se remplit progressivement. Pendant la phase de remplissage, d'autres points d'injection peuvent être utilisés pour évacuer le flot d'eau en excédent. Dès que l'élément de tube atteint la hauteur requise, les points d'injection sont fermés. (Albert et al, 2009).

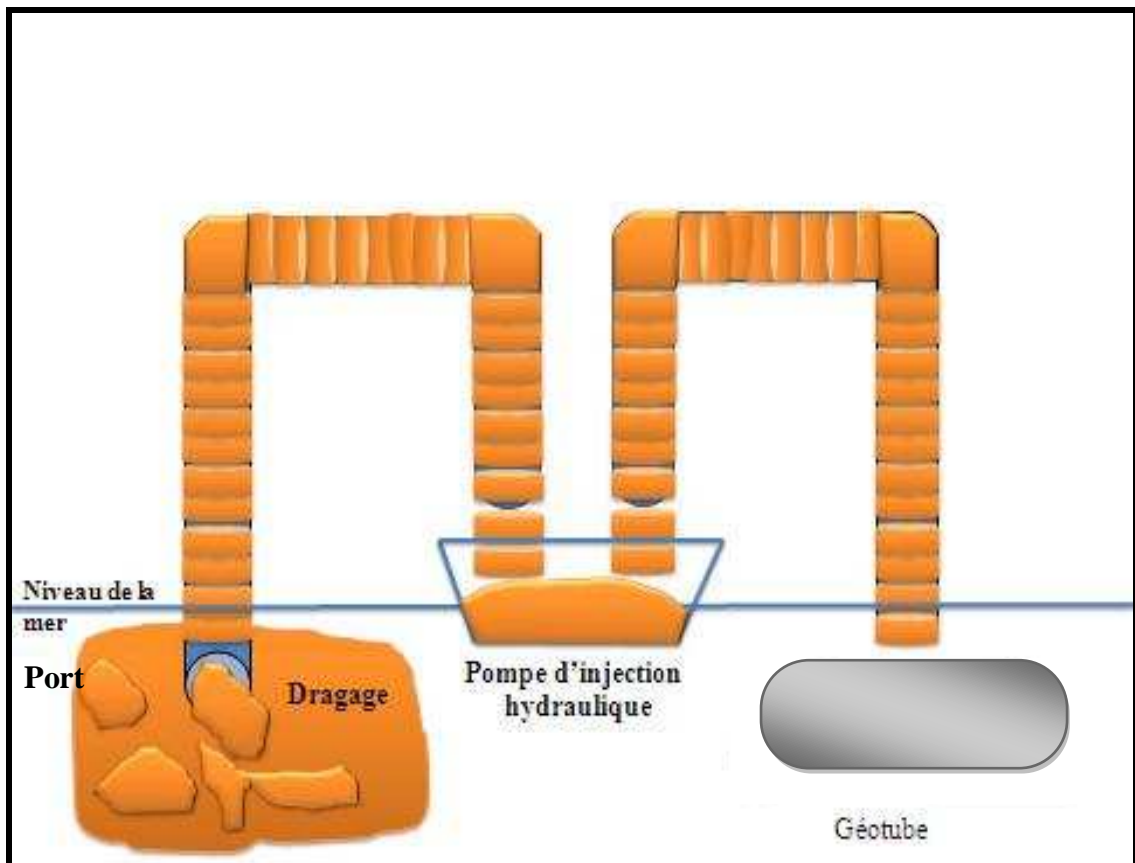


Figure n°III.6: Le système « *By Passing* » (Belabdi et Ounnas, 2011).



Figure n°III.7: le système de By Passing.

III.3.2.Prédimensionnement

Bien que nos données ne soient pas suffisantes pour tirer des propositions pour la protection du littoral Est de Sidi Fredj, mais proposer une solution alternative qui devrait être corrélée par d'autre étude hydrosédimentaire étalées dans le temps.

La solution proposée dans le cadre de ce travail concerne l'utilisation des structures synthétique qui diminuent l'ensablement vers la passe d'entrée du port de Sidi Fredj afin de planter ces structures souples en géosynthétiques (géotubes) avec l'utilisation d'un processus pour remplir ces structures (By passing) en exploitant le sable de dragage du port.

Une fois installés les géotubes sur les petits fonds, ces structures jouent le rôle d'un amortisseur des vagues nocives qui peuvent atteindre la côte frontalement, les vagues pouvaient générer des courants érosifs (On shore, Off shore). Cette solution pourrait aider à régler aussi bien le problème de l'ensablement du port de Sidi Fredj et même l'érosion côtière de littoral Est de Sidi Fredj.

CHAPITRE III
DISCUSSION & RECOMMANDATIONS

III.3.2.1. Le diamètre du Géotube

Le tube est préfabriqué selon une grande variété de diamètres et de longueurs, selon les applications spécifiques. La structure est caractérisée par son diamètre théorique, sa circonférence et sa longueur. Le diamètre théorique du tube va de 1,50 m à 5m. Pour notre cas, on prend un diamètre théorique de 5 m (Albert et al, 2009).

III.3.2.2 La stabilité des Géotube

Pour la stabilité des géotubes immergés, on va utiliser la formule suivante (Pilarczyk, 2000).

$$\frac{H_s}{\Delta D} < 1$$

$$\Delta = \left(\frac{\gamma_s - \gamma_w}{\gamma_w} \right)$$

D : épaisseur du géotube ; D = 2.5m

γ_w : la masse volumique de l'eau de mer; $\gamma_w = 1028 \text{ kg/m}^3$

γ_s : La masse volumique de sable utilisé pour remplir le géotube; $\gamma_s = 2650 \text{ kg/m}^3$

En vue d'avoir une meilleure stabilité des géotubes à immerger sur les petits-fonds de la zone d'étude, nous avons utilisé les données hydrodynamiques relatives aux vagues et ce, en se basant sur le tableau n° 4. Pour notre cas, nous avons utilisé la période de retour Vingtennale des vagues de secteur N, en raison de leur forte énergie due à leur incidence frontale.

La profondeur d'implantation a été fixée à 5 m et ce, pour des hauteurs de vagues de 7.02 m (Hs) et une épaisseur du géotube de 4.5 m, avec $\Delta = 1.58$

Application

$$\frac{H_s}{\Delta D} = \frac{7,02}{1,58 * 4,5} = 0,98$$

Résultat : Ces valeurs confirment la stabilité de géotube.

La valeur est en bon accord avec les résultats expérimentaux, Pour la largeur des géotubes on va prendre 4.5 m et Pour la longueur des géotubes on va prendre 150 m. À la fin Le nombre des géotubes installés sera 3.

On peut ajouter un tapis anti-affouillement en géotextile tissé polypropylène afin d'assurer la stabilité de l'ouvrage et d'éviter les phénomènes d'affouillement sous les tubes.

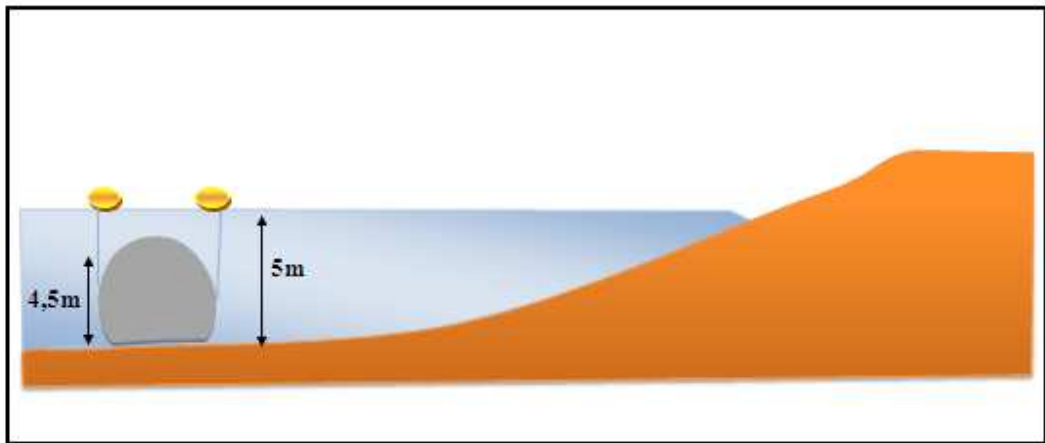


Figure n°III.8 : Installation des géotubes dans la zone de Sidi Fredj (Belabdi et Ounnas, 2011).

III.3.2.3 Positionnement des géotubes dans la zone de Sidi Fredj



Figure n°III.9: Positionnement des géotubes dans la zone de Sidi Fredj (Bing map, 2011).

CHAPITRE III
DISCUSSION & RECOMMANDATIONS



Figure n°III.10: Positionnement et dimensionnement des géotubes dans la zone de Sidi Fredj (Bing map, 2011).

Nous présentons sur la figure n°III.3 le dimensionnement des géotubes amortisseurs des vagues que pourrait être immergés a une profondeur ($Z = -4,5\text{m}$).

Pour l'étude de la stabilité de ces structures souples, nous avons pris l'événement des vagues plus fréquents observés dans notre zone d'étude avec ($H_s = 7,02\text{ m}$)

En fin, il convient de signaler que ces vagues modélisées ne reflètent pas la réalité hydrodynamique de la région. Et seul des mesures in situ et étalées dans le temps permettent aussi d'avoir les hauteurs significatives des vagues pour un meilleur dimensionnement.

Conclusion Générale

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Notre travail est une contribution pour comprendre la dynamique hydrosédimentaire du littoral Est de Sidi Fredj et ce, en vue de proposer des solutions pour une meilleure conservation de ce littoral considéré comme une zone touristique où l'intervention de l'homme est très remarquable. L'équilibre côtier du littoral de Sidi Fredj a été sensiblement perturbé, entre autres, par les ouvrages côtiers lourds qui ont perturbé voire obstrué les transports sédimentaires qui opéraient et régulaient les petits-fonds de la zone d'étude.

Par conséquent, une inquiétante érosion marine angoisse le littoral Est de Sidi Fredj où, l'hydrodynamique - potentiellement perturbée par les épis et les brise-lames, a provoqué l'érosion de cette partie du littoral de Sidi Fredj.

L'examen des courants marins mesurés sur les petits-fonds de la zone d'étude lors d'un forçage lié au vent du NE, a montré que les courants agissant sur le fond sédimentaire de la région, sont assez puissants pour enclencher le mouvement des sédiments vers la côte. Ces observations, bien que relatives, pourraient expliquer l'ensablement portuaire du port de Sidi Fredj. Quant à l'érosion marine observée au niveau du littoral Est de Sidi Fredj, celle-ci serait, entre autres, liée aussi bien à la virulence des vagues qui atteignent la côte frontalement que par la perturbation de l'équilibre hydrosédimentaire induite par les ouvrages lourds installés sur la côte.

Et avec prudence - parce que nos données ne reflètent pas la réalité hydrosédimentaire caractérisant notre zone d'étude - nous avons proposé une solution alternative pour conserver le littoral Est de Sidi Fredj. Il s'agit d'immerger des géotubes sur les petits-fonds de la zone d'étude pour jouer le rôle d'amortisseurs de vagues frontales érosives, qui seraient l'un des facteurs générateurs de l'érosion marine que connaît le littoral Est de Sidi Fredj. Pour assurer une meilleure stabilité de ces ouvrages doux (géotubes), nous avons utilisé la période de retour vingtennale des vagues de secteur N, et ce en raison de leur forte énergie due à leur incidence frontale qui, sans réfraction, atteignent la côte énergiquement.

Bibliographie

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Albert. K, Edwin. Z, Jean-Christophe. A, Jean-Michel. B ; 2009 - Un atténuateur de houles en tube géosynthétique pour limiter l'érosion de la plage de la capte à Hyères. Rencontres Géosynthétiques, p301-304.

Assassi, C et Otmani, H., 2010. Etude de protection de la zone de club des pins. Mémoire Ingénieur d'état en aménagement. E.N.S.S.M.A.L., 13 – 22p.

Belkourane, H. M et kherfellah, F., 2009. Etude d'un signal hydrodynamique à partir des mesures « in-situ ». E.N.S.S.M.A.L., 12 – 13p.

Boutiba. M ; 1996 - Etude en vraie grandeur du mode de fonctionnement des ouvrages de protection de la plage Est de Sidi Fredj (Ouest d'Alger). *Thèse de magister ISMAL, p122-123.*

Cantré S.2002. Geotextile tubes-analytical desing aspects . *Geotextiles and Geomembranes* 20 (2002) 305 – 319.

Calet, J., 1972. Les sédiments organogènes du précontinent algérien. Mémoire Muséum National Histoire Naturelle, Paris. Série C, 25, 289p.

Grimes, S., 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, 64.

Hemdane Y., 2006. Dynamique hydrosédimentaires de l'avant-côte d'un environnement macrotidal : exemple du littoral du Nord-Pas-de-Calais. Mer Du Nord. Thèse doctorat. Université du littoral. France. 207 p.

JAFFE, J.H. LIST ET. SALLENGER, A.H JR. (1997). Massive sediment bypassing on the lower shoreface offshore of a wide tidal inlet—Cat Island Pass, Louisiana, Mar. Geol.**136** (1997), p. 131–149

BIBLIOGRAPHIE

KEEN, T.R ; GLENN, S.M., ET SLINGERLAND, R.D. (1993). Coastal circulation and sedimentation during severe storms. Proceedings of the 3rd International Conference “Estuarine and Coastal Modeling III”, American Society OF Civil Engineering, Oak Brook, Illinois, pp.279-293.

Koerner, G.R., Koerner, R.M., 2006. Geotextile tube assessment using a hanging bag test. Geotextiles and Geomembranes 24 (2), 129 – 137.

Koffler, Bendriss, Zengerink ; 2002. Les géosynthétiques en protection contre l'érosion des berges et en construction d'ouvrages hydrauliques et maritimes. Paris.

Millot, C., Taupier - Letage, I., et Benzohra, M., 1990. The Algerian eddies. Earth Science Reviews, 27,203-219p.

Muthukumar, A.E., Ilamparuthi, K., 2006. Laboratory studies on geotextile filters as used in geotextile tube dewatering. Geotextiles and Geomembranes 24 (4), 210-219.

Pilarczyk K.W. (2000). Geosynthetics and Geosystems in Hydraulic and Coastal Engineering, A.A. Balkema, Rotterdam.

Shin E.C, Y.I. Oh. 2007. Coastal erosion prevention by geotextile tube technology. Geotextiles and Geomembranes 25 (2007) 264–277.

SHOM. (Service hydrographique et océanographique de la Marine).

Skolka H., 1974. Cours d'océanographie 1^{ère} partie: physique. Faculté des sciences. 186 p.

SWIFT, D.J.P., NIEDORODA, A.W., VINCENT, C.E. ET HOPKINS, T.S. (1985). Barrier island evolution, middle Atlantic shelf, USA, part I: shoreface dynamics. Marine Geology 63: 331-361.

BIBLIOGRAPHIE

- Thual O., 1988/1999.** Hydrodynamique Marine. Option "Sciences De L'eau Et Environnement" Et Mastère "Hydraulique". Département hydraulique et mécanique de fluide. 18p.
- Yalin, M.S. (1963).** An expression for bedload transportation, Journal of Hydraulics Division, Proceedings ASCE 89 (1963) (HY3), pp. 221–250.
- Zemenzer. S ; 2004.** Ensablement du port par transport sédimentaire simulation et application du modèle de Gao et Collins (1994) au port de Sidi Fredj. *Mémoire d'ingéniorat, ISMAL, p6-7, 31-41.*

Annexes

Annexe 1

Données météorologiques

DONNEES METOROLOGIQUES

Station : ALGER DAR-EL-BEIDA

Altitude : 25 m - **Latitude :** 36°41 N - **Longitude :** 03°13 E

Vents : Vitesse des vents, moyenne mensuelles et annuelles en (m/s).

	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	An
1995	23	17	21	20	22	28	24	23	22	12	24	29	22
1996	29	36	28	28	24	24	22	20	22	13	24	20	24
1997	26	12	15	21	21	21	27	23	20	18	29	19	21
1998	22	12	14	26	21	21	21	21	25	17	18	13	19
1999	20	22	20	16	28	28	28	32	28	26	24	33	25
2000	12	19	21	43	25	25	32	32	28	28	33	32	28
2001	33	24	31	30	33	33	31	25	30	19	20	14	27
2002	15	20	28	27	31	31	31	24	29	24	30	28	27
2003	40	34	20	27	25	28	27	25	24	20	25	33	27
2004	24	20	23	32	31	24	24	24	20	16	16	32	24
2005	20	26	21	30	27	28	35	31	24	20	21	23	26

Annexe 2

Les données converties de degrés en mètre

Stations	x (Latitude) nord		y (Longitude) est		Direction (°N)	vitesse (m/s)	Profondeur (m)	Heure
	en degré	en m (UTM)	en degré	en m (UTM)				
ST A1	36,77138	486786,863	2,85194	4069521,5196	45	0,47	12	11:12
ST A2	36,76767	486755,8827	2,85160	4069110,0199	44	0,53	9,4	11:19
ST A3	36,76543	486795,6594	2,85205	4068861,4768	41	0,47	8,3	11:27
ST A4	36,76507	486574,2598	2,84957	4068821,8873	36	0,41	9	11:36
ST A5	36,76342	486538,2718	2,84917	4068638,9107	344	0,20	1,5	11:49

Annexe 3

Les données de la sortie 16/05/2009 (Belkourane et al, 2009)

Station	Latitude Nord (DMS)	Longitude Est (DMS)	Vitesse (m/s)	Direction (°Nord)	Profondeur (m)
ST B1	36°46'13,98"	2°51'4,5"	0,417	68,7	12
ST B2	36°46'9,54"	2°50'40,5"	0,495	68,1	12,1
ST B3	36°45'57,84"	2°50'58,14"	0,34	33,4	4,9
ST B4	36°45'55,2"	2°51'10,92"	0,3	45	7,8
ST B5	36°45'42,06"	2°51'18,3"	0,36	50	3,6