

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



Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en sciences  
de la mer et de l'aménagement du littoral

**OPTION : AMENAGEMENT DU LITTORAL**

**Thème :**

**Modélisation de l'hydrodynamique sédimentaire soumise  
à l'action de la houle et des courants  
Application à la côte de Sidi-Fredj**

Présenté par:

**KHALDI Nazim**

Soutenu le 21/09/2015 devant le jury suivant :

<b>Mr GUERFI M.</b>	Maître de conférences A (ENSSMAL)	<b>Président</b>
<b>Mr MEZOUAR K.</b>	Maître de conférences B (ENSSMAL)	<b>Promoteur</b>
<b>Mr HEMDANE Y.</b>	Maître de conférences A (ENSSMAL)	<b>Examineur</b>
<b>Mme MEHDID S.</b>	Maître assistante A (ENSSMAL)	<b>Examinatrice</b>

**Promotion : 2014-2015**

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



Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en sciences  
de la mer et de l'aménagement du littoral

**OPTION : AMENAGEMENT DU LITTORAL**

**Thème :**

**Modélisation de l'hydrodynamique sédimentaire soumise  
à l'action de la houle et des courants  
Application à la côte de Sidi-Fredj**

Présenté par:

**KHALDI Nazim**

Soutenu le 21/09/2015 devant le jury suivant :

<b>Mr GUERFI M.</b>	Maître de conférences A (ENSSMAL)	<b>Président</b>
<b>Mr MEZOUAR K.</b>	Maître de conférences B (ENSSMAL)	<b>Promoteur</b>
<b>Mr HEMDANE Y.</b>	Maître de conférences A (ENSSMAL)	<b>Examineur</b>
<b>Mme MEHDID S.</b>	Maître assistante A (ENSSMAL)	<b>Examinatrice</b>

**Promotion : 2014-2015**

# Remerciement

Au terme de ce travail, je remercie Dieu le Tout Puissant pour m'avoir donné la force dans les moments difficiles et m'a permis de rédiger ce mémoire.

Mes remerciements s'adressent à tous les membres de ce jury, pour l'honneur qu'ils me font en acceptant de juger ce travail.

Je remercie monsieur **Khoudir MEZOUAR** d'avoir accepté d'encadrer et de diriger ce mémoire et qui par ses conseils et sa disponibilité, m'a fait bénéficier de son expérience et de ses connaissances et cela en suivant constamment la progression de ce travail.

Je tiens à remercier monsieur **GUERFI M.** qui me fait l'honneur de présider le jury de cette soutenance.

Je tiens à remercier monsieur **HEMDANE Y.** d'avoir pris le temps d'examiner ce travail.

Je remercie également madame **MEHDID S.** pour avoir acceptée d'examiner ce travail.

Je souhaite adresser mes remerciements les plus sincères au personnel de l'ENSSMAL.

Je tiens à remercier tous les membres de ma promotion pour leur soutien.

Je tiens à exprimer ma gratitude et ma reconnaissance à toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin, pour la réalisation de ce modeste travail.

# Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

A mes parents, qui m'ont soutenu et m'ont encouragé tout au long de mon cursus universitaire.


A ma petite sœur.

A mon grand-père, mon mentor « HADJ Hanafi MADJOUJ » pour ses conseils avisés.

A toute ma famille.

A mes amis (es).

Aucune dédicace ne pourrait exprimer ma gratitude et mon respect.



# Table des matières

Introduction.....	19
-------------------	----

## CHAPITRE 1

### Généralités

1	Le littoral .....	23
1.1	Système littoral .....	23
1.2	Equilibre littoral.....	25
2	Processus hydrosédimentaire .....	26
2.1	Hydrodynamique.....	27
2.1.1	Les vagues .....	27
2.1.2	Les ondes infragravitaires .....	28
2.1.3	Les courants moyens.....	29
2.2	Transport sédimentaire.....	31
2.2.1	Les différents modes de transport.....	31
2.2.2	Le rôle des courants moyens dans le transport sédimentaire.....	32
2.2.3	Le rôle de l'asymétrie des vagues dans le transport sédimentaire.....	33
3	Erosion côtière .....	33

## CHAPITRE 2

### Zone d'étude

1	Situation géographique .....	36
1.1	Baie d'El Djamila.....	36
1.2	Site d'étude .....	36
2	Caractéristique géologique et géomorphologique .....	37
2.1	Géologie régional .....	37
2.2	Géologie local.....	38
2.3	Répartition sédimentologique .....	40
3	Caractéristique climatologique .....	42
3.1	L'étude des vents .....	42

3.1.1	Au large .....	42
3.1.2	Données locales.....	43
4	Caractéristique hydrologique.....	43
5	Caractéristique océanographique .....	44
5.1	Les Houles.....	44
5.2	Les Courants .....	46
5.3	La marée .....	47

## CHAPITRE 3

### Matériel et méthode

1	Prélèvement et échantillonnage .....	49
1.1	Prélèvement sur la plage de Sidi-Fredj « terre ferme » .....	49
1.2	Prélèvement en mer « benne preneuse ».....	50
1.3	Prélèvement a la cote « piège à sédiment » .....	51
2	Etude au laboratoire.....	52
2.1	Etude granulométrique .....	52
2.1.1	Analyse au laboratoire .....	53
2.1.2	Interprétation des résultats .....	54
2.2	Etude calcimétrique .....	56
2.2.1	Principe.....	56
2.2.2	Mode opératoire .....	57
2.3	Etude de l'équivalent de sable .....	57
2.3.1	Principe.....	57
2.3.2	Mode opératoire .....	57
3	Etude bathymétrique .....	58
4	Etude de l'évolution du trait de cote .....	60
4.1	Théodolite .....	60
4.1.1	Principe.....	60
4.1.2	Mode opératoire .....	61
4.2	Logiciel « ARCGIS » .....	61
5	Modélisation de la réfraction de la houle .....	62
5.1	SWAN (Simulating Waves Nearshore).....	62
5.1.1	Formulation.....	62

5.1.2	Calcul de la réfraction de la houle.....	62
5.1.3	Données nécessaire.....	63
5.1.4	Etape suivie lors de l'exécution du SWAN.....	64
6	Modélisation du transport sédimentaire .....	64
6.1	Le Modèle McLaren/Gao et Collins .....	65
6.1.1	Principe du model .....	65
6.1.2	Calcul des tendances du transport sédimentaires .....	66
6.2	GSTA (Grain Size Trend Analysis).....	67

## CHAPITRE 4

### Résultats et discussions

1	Etude au laboratoire.....	70
1.1	Etude granulométrique .....	70
1.1.1	Prélèvement sur la plage de Sidi-Fredj « terre ferme » .....	70
1.1.2	Prélèvement en mer « benne preneuse ».....	71
1.1.3	Prélèvement a la cote « piège à sédiment » .....	82
1.2	Etude calcimétrique .....	82
1.3	Etude de l'équivalent de sable .....	83
2	Etude bathymétrique .....	84
3	Etude de l'évolution du trait de côte .....	85
3.1	Utilisation du théodolite .....	85
3.2	Analyse de la variation de la ligne de rivage .....	87
3.2.1	Evolution du trait de côte de la plage Est de Sidi Fredj.....	87
3.3	Analyse du bilan sédimentaire .....	94
3.3.1	Analyse du bilan sédimentaire de Sidi-Fredj entre 1978 et 2008 .....	95
3.3.2	Analyse du bilan sédimentaire de Sidi-Fredj entre 2002 et 2015 .....	97
4	Modélisation de la réfraction de la houle .....	97
4.1	Les houles au large de direction Ouest .....	98
4.2	Les houles au large de direction Nord-Est.....	99
4.3	Les houles au large de direction Nord.....	100
4.4	Les houles au large de direction Nord-Ouest.....	101
5	Modélisation du transport sédimentaire .....	101

## CHAPITRE 5

## Impact des infrastructures sur le littoral de Sidi-Fredj

1	Problématique et enjeux de la zone.....	104
2	Erosion de la plage de Sidi-Fredj .....	104
3	Implantation du port de Sidi-Fredj .....	105
4	Implantation d'ouvrages .....	105
5	Recommandation et solution .....	106
	Conclusion .....	108
	Bibliographie .....	111
	Annexes .....	114



Liste des  
abréviations

## LISTE DES ABREVIATIONS

---

°C : Degré Celsius  
Cm : Centimètre  
CTH : Organisme national de Contrôle Technique de la construction  
D<sub>CR</sub> : Distance critique  
Dir : Direction  
G.P.S : Global Positioning System.  
GSTA : Grain Size Trend Analysis  
Hs : Hauteur significative  
ISMAL : Institut des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral.  
J/an : Jour par an  
Km : Kilomètre  
Kr : Coefficient de réfraction  
Lat : Latitude  
LCHF : Laboratoire Central de l'Hydraulique de France  
LEM : Laboratoire des Études Maritimes  
m : Mètre  
m/an : Mètre par an  
m/s : Mètre par seconde  
m/s<sup>2</sup> : Mètre par seconde carrée  
m<sup>2</sup> : Mètre carrée  
m<sup>3</sup> : Mètre cube  
m<sup>3</sup>/s : Mètre cube par seconde  
N : Nord  
NW : Nord-Ouest  
ONM : Office National de la Météorologie  
ONM : Office National de Météorologie  
P : Profil  
PAC : Programme d'Aménagement Côtier  
s : Seconde  
SE : Sud-Est  
SHOM : Service Hydrographique et Océanographique de la Marine  
SIG : Système d'Information Géographique  
Sk : Skewness de Trask  
So : Sorting de trask.  
SSMO : Summary of Synoptic Meteorological Observation  
SWAN : Simulating WAVes Nearshore  
T : Période



Liste des  
figures

## LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Composition d'un système. ....	24
Figure 1.2 : Schéma d'un système littoral de plage sableuse. Les lignes noires représentent les frontières et les interfaces du système. Les flèches correspondent aux échanges d'énergie et de matière. (Desmazes, 2005).....	25
Figure 1.3 : Composants d'un système morphodynamique côtier. ....	26
Figure 1.4 : Représentation des paramètres caractéristique des vagues. ....	27
Figure 1.5 : Formation d'une dépression et vent associe à partir d'un conflit entre masses d'air chaud et froid générant des trains de houle.....	28
Figure 1.6 : Origine des ondes et fréquences caractéristiques. ....	29
Figure 1.7 : Les principaux courants moyens induits par la houle. ....	29
Figure 1.8 : Schématisation du courant de retour et de sa structure verticale sur une plage homogène dans la direction parallèle à la cote (Castelle, 2004).....	30
Figure 1.9 : Schématisation de la structure du courant de dérive induit par une houle oblique au-dessus d'une plage plane et homogène dans la direction parallèle à la cote.....	30
Figure 1.10 : Schématisation des courants moyens induits par la houle au-dessus d'une plage a barre, en présence d'une houle d'incidence faiblement oblique.....	31
Figure 1.11 : Modes de transports sédimentaires selon la granulométrie (Jaud, 2011). ....	32
Figure 1.12 : Les trois modes de transport sédimentaire (Camenen, 2002) d'après (Fredsoe & Deigaard , 1994) : transport par charriage, transport par suspension, transport par « sheet flow » .	32
Figure 1.13 : Le système littoral, un équilibre menacé en permanence, d'après (Guigo, 1991). ....	34
Figure 1.14 : Schéma représentant les différents facteurs d'érosion. ....	34
Figure 2.1 : Situation géographique de la zone d'étude (Google earth, 2014). ....	36
Figure 2.2 : Situation géographique du site d'étude (tirée de la carte topographique de CHERAGA 1/25000e, 1960). ....	37
Figure 2.3 : Carte géologique régionale d'après Bennie 1983 in (Amghar & Sahraoui, 2005).....	39
Figure 2.4 : Carte géologique de la région de Club des Pins; tirée de la carte géologique. Alger-Chéraga, 1/50000e. ....	40
Figure 2.5 : Représentation de la sédimentologie de la baie de Bou Ismail (Grimes, 2003). ....	41
Figure 2.6 : Roses récapitulatives saisonnières et annuelles des fréquences d'apparition du vent au large. (L'US Naval Weather service, de 1963 à 1970). ....	42
Figure 2.7 : Répartition annuelle des vents en % (ONM, Dar-El-Beida, 1995-2005).....	43
Figure 2.8 : Roses récapitulatives de direction des houles au large du secteur (275°-55°). Source : K.N.M.I in (Zemenzer, 2004). ....	45
Figure 2.9 : Répartition des énergies des houles en fonction de la direction et des périodes les plus courantes. Source : K.N.M.I in (Zemenzer, 2004). ....	46
Figure 3.1 : Positionnement des points de prélèvement « terre ferme ». ....	50
Figure 3.2 : Positionnement des stations de prélèvement des échantillons en mer.....	50
Figure 3.3 : Positionnement des profils et des pièges a sédiments. ....	52
Figure 3.4 : Schéma des différents volets de l'analyse granulométrique. ....	53
Figure 3.5 : Schéma simplifié de la partie interprétation des résultats de l'étude granulométrique...	54
Figure 3.6 : Schéma explicatif de l'étude de l'équivalent de sable. ....	58
Figure 3.7 : Carte levée bathymétrique de la baie de Sidi Fredj, Aout 2009 (Source : CTH, Alger). ....	59
Figure 3.8 : Portail EMODnet utilisé pour la bathymétrie.....	59
Figure 3.9 : Position des points du théodolite. ....	60

Figure 3.10 : Schéma des différentes étapes de SWAN. ....	64
Figure 3.11 : Grille d'entrée du modèle GSTA. ....	68
Figure 4.1 : Schéma simplifié de l'étude au laboratoire. ....	70
Figure 4.2 : Répartition des pélites dans la zone d'étude. ....	71
Figure 4.3 : Répartition des D10 dans la zone d'étude. ....	72
Figure 4.4 : Répartition des Q1 dans la zone d'étude. ....	73
Figure 4.5 : Répartition des D50 dans la zone d'étude. ....	73
Figure 4.6 : Répartition des Q3 dans la zone d'étude. ....	74
Figure 4.7 : Répartition des D90 dans la zone d'étude. ....	75
Figure 4.8 : Courbe unimodale. ....	75
Figure 4.9 : Histogramme unimodale. ....	75
Figure 4.10 : Courbe bimodale. ....	76
Figure 4.11 : Histogramme bimodale. ....	76
Figure 4.12 : Courbe plurimodale. ....	76
Figure 4.13 : Histogramme plurimodale. ....	76
Figure 4.14 : Répartition du diamètre moyen dans la zone d'étude. ....	79
Figure 4.15 : Relation entre l'indice de classement et la médiane D50. ....	80
Figure 4.16 : Relation entre l'indice d'asymétrie et la médiane D50. ....	80
Figure 4.17 : Histogramme d'apparition des modes les plus représentatifs des échantillons. ....	81
Figure 4.18 : Répartition du mode dans la zone d'étude. ....	81
Figure 4.19 : Pourcentage des carbonates dans les sédiments de Sidi Fredj. ....	83
Figure 4.20 : Carte bathymétrique de Sidi-Fredj. ....	84
Figure 4.21 : Carte bathymétrique et les différents profils de Sidi-Fredj. ....	85
Figure 4.22 : Dessin de la carte représentant le trait de côte mesuré. ....	86
Figure 4.23 : Trait de côte de la zone de Sidi-Fredj. ....	86
Figure 4.24 : Evolution de la ligne de cote de Sidi-Fredj entre 1972 et 2008 et position des profils (Mezouar, 2009). ....	88
Figure 4.25 : Evolution du trait de côte entre 1984 -1995 (Boutiba, 1996). ....	89
Figure 4.26 : Evolution du trait de côte selon différentes périodes 2002, 2004, 2008, 2010, 2012, 2014 et 2015. ....	90
Figure 4.27 : Evolution du trait de côte selon différentes périodes et profils. ....	91
Figure 4.28 : Variation de la ligne de côte de la zone d'étude entre 2002 et 2015. ....	94
Figure 4.29 : Bilan sédimentaire de Sidi-Fredj de 2002 à 2015. ....	97
Figure 4.30 : Réfraction de la houle pour une direction 270°N et une période de 10s. ....	98
Figure 4.31 : Réfraction de la houle pour une direction 45°N et une période de 10s. ....	99
Figure 4.32 : Réfraction de la houle pour une direction 360°N et une période de 10s. ....	100
Figure 4.33 : Réfraction de la houle pour une direction 315°N et une période de 10s. ....	101
Figure 4.34 : Modélisation du transport sédimentaire dans la zone de Sidi-Fredj. ....	102
Figure 5.1 : Dimensionnement des ouvrages de protection (1985) du littoral Est de Sidi-Fredj (Mezouar, 2009). ....	106



Liste des  
tableaux

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1 : Répartition des différents types de sédiments. ....	41
Tableau 2.2 : Répartition annuelle des vents sur huit directions (ONM, 1995-2005). ....	43
Tableau 2.3 : Fréquence mensuelle des houles au large par direction en pourcentage (SSMO, 1963-1970).....	44
Tableau 2.4 : Amplitudes des houles en fonctions des directions et leurs périodes de retour (SSMO, 1963-1970). ....	45
Tableau 2.5 : Répartition des états de mer par période (SSMO, 1963-1970).....	46
Tableau 3.1 : Les valeurs de la houle au large (SSMO).....	63
Tableau 3.2 : Relations entre les paramètres granulométriques (en unité $\phi$ ) de deux stations A et B, pour un transport sédimentaire de A vers B, de type FB- et CB+. ....	65
Tableau 4.1 : Coordonnées géographique des stations de prélèvement « terre ferme ». ....	70
Tableau 4.2 : Classification de l'indice central par FOLK 1954. ....	77
Tableau 4.3 : Classification de l'indice de dispersion par FOLK 1954.....	77
Tableau 4.4 : Classification de l'indice d'asymétrie par FOLK 1954. ....	77
Tableau 4.5 : Positionnement des stations et calcul des indices granulométrique. ....	78
Tableau 4.6 : Calcule des indices granulométrique et interprétation des résultats. ....	78
Tableau 4.7 : Poids des échantillons prélevé à la cote « piège à sédiment ». ....	82
Tableau 4.8 : Classification de l'équivalent de sable.....	83
Tableau 4.9 : Interprétation des résultats de l'équivalent de sable. ....	83
Tableau 4.10 : Taux de recul et avance du trait de côte du littoral Sidi-Fredj (m/an) (Mezouar, 2009). ....	88
Tableau 4.11 : Taux d'évolution du trait de côte du littoral Sidi-Fredj de 2002 à 2015.....	92
Tableau 4.12 : Bilans sédimentaires du littoral de Sidi-Fredj pour la période (1972-2008). ....	95



Liste des  
photos

## LISTE DES PHOTOS

---

Photo 3.1 : Zone de prélèvement des échantillons.....	49
Photo 3.2 : Benne preneuse de type « Van-Veen ».....	51
Photo 3.3 : Etat de la mer lors du prélèvement.....	52
Photo 3.4 : Calcimètre utilise lors de l'étude.....	56
Photo 3.5 : Mire utilisée.....	61
Photo 3.6 : Théodolite fixé.....	61



# Introduction

## INTRODUCTION

---

Le littoral est un système complexe qui demande non seulement de prendre en considération plusieurs variables mais de ne pas oublier les interactions entre ces derniers. Vue la forte urbanisation qu'a connue le littoral ces dernières années, des aménagements sans répit dus généralement à des nouvelles constructions portuaires et le développement des stations balnéaires. Tout cela nous mène à se poser des questions sur l'influence de ce développement sur la frange côtière.

Notre zone d'étude étant le littoral de la presqu'île de Sidi-Fredj, elle est localisée à l'ouest d'Alger, à environ 25Km. La zone a connu la construction d'un port dans les années 70 et l'implantation de plusieurs stations balnéaires directement érigées sur le cordon dunaire (hôtel El Riad, hôtel El Minzah...etc.). Ces dernières ont provoqué un déséquilibre naturel, qui se traduit par un recul de la ligne de rivage. Par exemple, la plage de l'hôtel El Riad, présente des signes avant-coureurs d'érosion.

Selon (Mezouar, 2009), le littoral est l'espace de rencontre entre la terre, la mer et l'atmosphère. Ce lieu de convergence et de compétition entre de nombreuses activités humaines, quelquefois concurrentes (industrie, agriculture, transport, tourisme), constitue aussi un patrimoine biologique et paysager de première importance où les équilibres écologiques sont sans cesse fragilisés par les aléas naturels mais également par l'homme.

Le mémoire ci-dessous se divise en 5 chapitres qui sont les suivants :

Le premier chapitre porte sur les généralités tout ce qui concerne le littoral ou qui a une influence sur le littoral comme l'érosion côtière, le transport sédimentaire, hydrodynamisme et la morphologie des plages tout cela nous permet d'acquérir les connaissances nécessaires pour traiter ce sujet.

Le deuxième chapitre nous renseigne sur la zone d'étude et ces différentes caractéristiques géologiques, climatologiques....etc.

Le troisième chapitre est plus un descriptif, comme son nom l'indique « matériel et méthode » ce chapitre énumère les différentes méthodes et techniques d'analyse utilisées lors de cette étude.

Le chapitre qui suit nous informe sur les différents résultats obtenus de l'application des méthodes du chapitre précédent. Ces résultats peuvent être sous forme de représentation graphique ou sous forme de tableau et nous permette de connaître l'état de la zone d'étude et la pression qu'elle subit

Le dernier chapitre porte sur l'impact des infrastructures sur le littoral de Sidi-Fredj, cela nous permet d'avoir un bref aperçu sur les différents aménagements qui ont été réalisés dans la région et leur impact.

Pour arriver à un rendu pertinent, ce travail a été divisé en trois grandes parties :

- La première partie concerne la collecte des données. Cette partie est primordial et s'effectue généralement par des sorties sur le terrain pour l'échantillonnage et les prélèvements.
- La deuxième partie est plus une étude analytique dans laquelle les prélèvements vont être analysés pour nous fournir des résultats. Ces derniers sont représentés sous formes de graphes ou de tableaux pour une meilleure compréhension.
- La troisième partie nous permet d'avoir un constat sur l'état des lieux et d'essayer de quantifier l'influence de chaque facteur sur la zone, par la suite suggère une solution en prenant en considération l'état de la zone et l'influences qu'elle subit.

# Généralités



# 1 LE LITTORAL

---

## 1.1 SYSTEME LITTORAL

D'après (Mezouar, 2009) (Desmazes, 2005). Un système est un ensemble d'éléments en interaction. Pour décrire ce type d'objet complexe, il est utile de combiner des études analytiques classiques à une approche systémique.

- L'analyse traditionnelle vise à étudier et détailler chaque constituant de façon séparée.
- L'approche systémique considère la globalité de l'environnement et les relations entre les éléments de l'ensemble, étudie l'élément dans son environnement.

La complexité des objets est due à :

- Tout d'abord, les systèmes sont composés d'une grande variété d'éléments possédant leurs caractéristiques propres.
- Ces éléments sont organisés en niveaux hiérarchiques et peuvent être emboîtés.
- Les interactions entre les éléments sont de nature très variées.
- Ces interactions sont généralement non-linéaires car elles ne peuvent pas être expliquées par une simple relation de proportionnalité.

Afin de décrire la composition d'un système complexe, il faut maintenant distinguer des caractéristiques spatiales et temporelles.

La structure du système s'organise dans l'espace, elle est caractérisée par :

- Une limite ou frontière ;
- Des éléments ou composants, pouvant être dénombrés et assemblés en catégories ou familles
- Des réservoirs, dans lesquelles les éléments peuvent être rassemblés et stockés ;
- Un réseau de communication, qui prend des formes variées et permet des échanges d'éléments et d'énergie.

Le fonctionnement du système est dirigé par des phénomènes dépendant du temps, on distingue :

- Les flux d'énergie ou d'éléments qui circulent entre les réservoirs par les réseaux de communication.  
Ils représentent une quantité par unité de temps, parfois des « vannes » peuvent contrôler les flux.
- Les « délais » résultent des vitesses de circulation entre les réservoirs.  
Leur importance n'est pas négligeable dans certains systèmes complexes car ils peuvent induire des phénomènes d'inhibition ou d'amplification.
- Les boucles de rétroaction jouent un rôle déterminant dans le fonctionnement des systèmes en combinant les effets des réservoirs, des flux, des vannes et des délais.  
Elles permettent une dynamique de croissance et d'évolution, ou bien au contraire un effet de stabilité et de régulation.

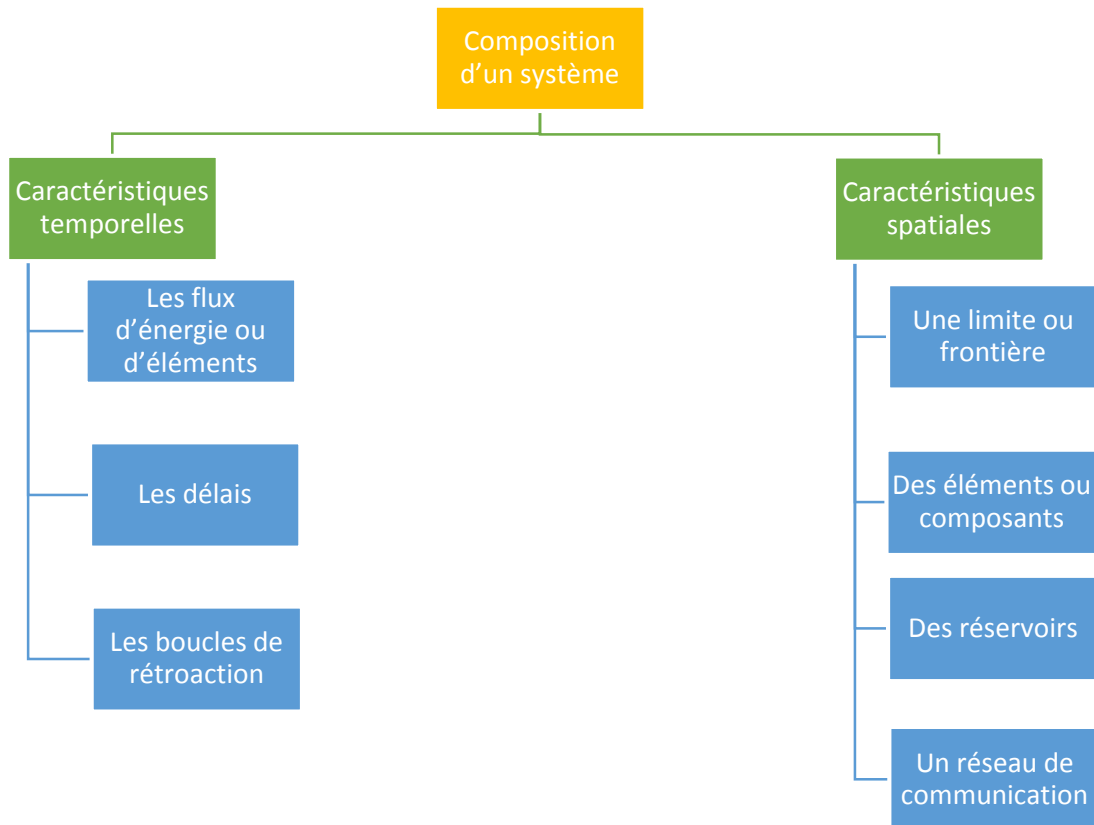


Figure 1.1 : Composition d'un système.

Les environnements littoraux sont des systèmes. Ils forment une zone géographique complexe, à la limite du continent, de l'océan et de l'atmosphère. À l'intérieur de ce vaste ensemble, des systèmes de rangs inférieurs et d'extension plus limitée peuvent être distingués. Les frontières de tous ces domaines sont bien souvent difficiles à déterminer. Dans les faits, le problème de positionnement des limites géographiques est un souci d'importance. À l'intérieur de ses limites plus ou moins nettes, le système côtier est composé d'eau, d'air, de sédiments, de roches et d'organismes vivants. Ces éléments sont stockés dans l'océan, l'atmosphère, le prisme sédimentaire, le substratum géologique et la biosphère. Ils sont étudiés par des disciplines spécifiques : géotechnique, océanographie, météorologie, sédimentologie, géologie et biologie.

De plus, en fonction de l'influence plus ou moins grande de chaque constituant, on distingue plusieurs catégories de milieux côtiers :

- Les mangroves et les récifs coralliens sont dominés par les organismes vivants ;
- Les embouchures (estuaire, lagune, ria) sont caractérisées par la présence d'eau continentale.
- Les plateaux rocheux et les falaises montrent l'affleurement du substrat géologique.
- Les platiers vaseux sont formés par un prisme littoral où prédominent les sédiments fins, tandis que les plages, objets de cette étude, sont constituées d'accumulation de sables.

Dans chacun de ces systèmes, les échanges s'effectuent généralement au niveau des interfaces, à la transition entre les réservoirs ou les systèmes d'ordres inférieurs. Ainsi, la transition entre la mer et l'atmosphère est le lieu de déplacement des vagues qui véhiculent une grande quantité d'énergie. L'interface entre le prisme sédimentaire et l'océan ou l'atmosphère est pour sa part un domaine de transport d'éléments très important pour le fonctionnement de l'environnement.

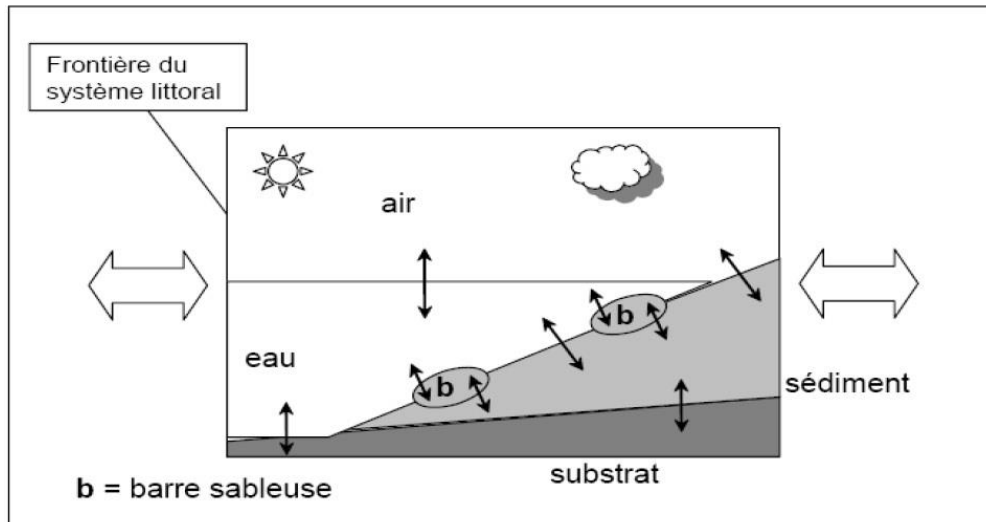


Figure 1.2 : Schéma d'un système littoral de plage sableuse. Les lignes noires représentent les frontières et les interfaces du système. Les flèches correspondent aux échanges d'énergie et de matière. (Desmazes, 2005).

## 1.2 EQUILIBRE LITTORAL

Le littoral peut être considéré en état d'équilibre, si aucune variable ne vient affecter l'engrenage du mécanisme de fonctionnement du système.

Selon (Mezouar, 2009), l'équilibre dynamique est atteint si entrées et sorties sont équivalentes. De leur côté, les délais du milieu sont susceptibles de perturber la mise en place d'un équilibre. Ils peuvent correspondre à des frottements entre éléments, ou à des seuils énergétiques qui déclenchent, par exemple, la modification sensible d'une barre sableuse ou le transport d'une taille de sédiment. Enfin, les boucles de rétroaction permettent la stabilité du système ou bien des changements irréversibles. L'exemple le plus connu dans l'étude du domaine littoral est nommé boucle morphodynamique. Elle relie l'énergie des vagues, le transport des sédiments et la forme du fond. Ainsi, sous l'action des houles, les sédiments peuvent être déplacés, ce qui provoque un changement de la morphologie. En réponse, la nouvelle morphologie va influencer l'action des vagues, et par conséquent le transport sédimentaire. La boucle de rétroaction morphodynamique doit donc être prise en compte pour toute étude des systèmes littoraux qui s'intéressent aux forçages, au transport sédimentaire ou à la morphologie de l'environnement.

Donc le système morphodynamique est constitué d'un objet géomorphologique qui réagit aux variations d'une composante dynamique par un ajustement morphologique. Cette réponse est une tentative de mise à l'équilibre de la morphologie par rapport aux nouvelles conditions de forçages. Dans le cas des systèmes littoraux, la topographie des fonds côtiers est en constant ajustement avec la dynamique du milieu fluide. Cet ajustement morphologique est le résultat d'un gradient de transport sédimentaire (Figure 1.3).

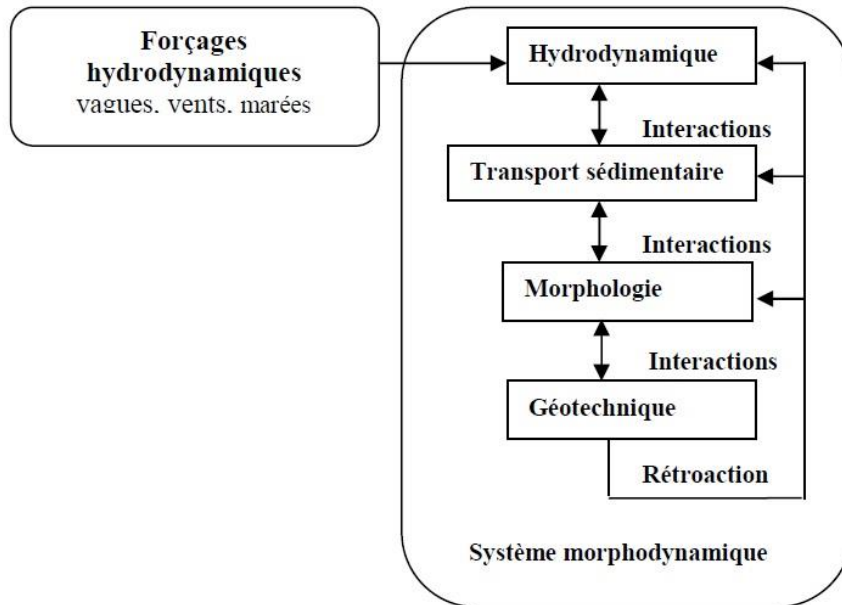


Figure 1.3 : Composants d'un système morphodynamique côtier.

Une modification des forçages génère une modification de la dynamique des fluides, du transport sédimentaire et l'interaction de ces processus avec la morphologie initiale est à l'origine de la construction d'une nouvelle morphologie. Des phénomènes de rétroactions sur la dynamique des fluides et le transport sédimentaire peuvent être soit positifs, ou négatifs (Cowell & Thom, 1994). L'équilibre morphodynamique est défini comme un état dans lequel le système reste inchangé au cours du temps (Kraus, 2001). Ce concept est largement utilisé en morphodynamique côtière notamment avec un objectif de modélisation quantitative (De Vriend, et al., 1993) (Cowell & Thom, 1994). En raison du caractère stochastique des forçages hydrométéorologiques, les états d'équilibre décrits sont des équilibres dynamiques instables : le corps géomorphologique réagit en permanence aux variations de forçages et oscille autour d'un état dont la forme peut être appréhendée à l'aide de longues séries des données (Larson & Kraus, 1995).

Le temps entre la modification de l'hydrodynamique et la construction morphologique est divisé :

- Temps de réaction : temps entre le changement hydrodynamique et le début de la modification morphologique ; celui-ci est négligeable dans les systèmes côtiers (Kroon, 1994).
- Temps d'ajustement : temps de mise à l'équilibre de la morphologie. Le temps d'ajustement est une mesure de l'inertie morphologique du système, fonction de l'hydrodynamique et du volume sédimentaire concerné par la réponse morphologique.

## 2 PROCESSUS HYDROSEDIMENTAIRE

Le zone étudiée est une zone exposée aux houles et où les courants de marée sont faibles (caractéristique de la côte algérienne), l'action des vagues est la source des mouvements des masses d'eau et du transport sédimentaire. La vague est une onde progressive qui, en arrivant près

des côtes, va subir l'influence du fond. Lorsque la profondeur d'eau diminue, la vitesse de propagation diminue. Dans le cas des fonds rapidement variables, les vagues peuvent être réfléchies ou diffractées.

Étant donné que notre zone d'étude est constituée de plage sableuse présentant des pentes faibles, pour lesquelles les processus de diffraction et de réflexion sont souvent négligeables. Par contre, au-dessus de fonds lentement variables, les vagues vont être réfractées. Lorsque le rapport de la hauteur des vagues sur la profondeur d'eau atteint une valeur critique, les vagues deviennent instables et le déferlement bathymétrique est observé.

En arrivant en eau peu profonde l'onde primaire va également transférer une partie de son énergie vers les harmoniques. Ces harmoniques peuvent ensuite être libérées si le champ de vagues rencontre des eaux plus profondes, par exemple après le passage au-dessus d'une barre.

Les processus observés en zone côtière couvrent une gamme d'échelles spatio-temporelles très large. Lorsque l'on observe de la plage le mouvement des masses d'eau, notre attention se porte instantanément sur les mouvements quasi-périodiques des vagues, ou, si l'on est un peu plus patient, au mouvement du niveau de marée. Pourtant des oscillations basses fréquence des vitesses et de la surface libre existent aussi et sont liées à la présence d'ondes longues (ondes infra gravitaires ou instabilités de courants). Dans le cas de nos zones d'études, les marées et les courants de marée sont faibles, mais la modulation tidale des processus hydrodynamiques liés aux vagues joue un rôle très important.

## 2.1 HYDRODYNAMIQUE

### 2.1.1 Les vagues

Les vagues sont des ondes de gravité qui se propagent généralement au niveau de la surface de la terre, la Figure 1.4 permet de représenter les différents paramètres d'une vague.

Les principaux paramètres des vagues sont :

- La hauteur  $H$
- La période  $T$
- Longueur d'onde  $\lambda$
- Nombre d'onde  $k$

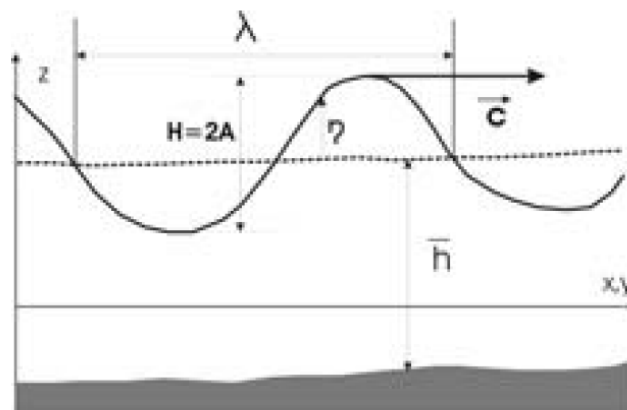


Figure 1.4 : Représentation des paramètres caractéristiques des vagues.

Et se propage dans une profondeur d'eau moyenne  $h$  à une vitesse  $C$ . On note  $\eta(x, t)$  la cote de la surface libre.

La formation de vague au large peut être expliquée de la manière suivante :

Le transfert de quantité de mouvement et d'énergie de l'air vers l'eau est à l'origine de la formation des vagues. Les tensions de cisaillement et les gradients de pression locale vont contraindre la surface libre et conduire à la formation d'une superposition d'ondes propagatrices qui vont s'amplifier ou se dissiper selon les conditions atmosphériques.

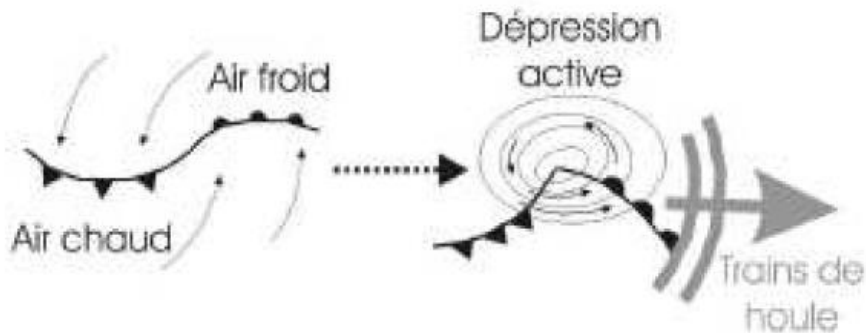


Figure 1.5 : Formation d'une dépression et vent associée à partir d'un conflit entre masses d'air chaud et froid générant des trains de houle.

La présence du vent est généralement due à la présence d'une dépression induite par les conflits de masses d'air polaire (froid) et subtropical (chaud), la Figure 1.5 nous explique la formation d'une vague en présence d'une dépression.

### 2.1.2 Les ondes infragravitaires

Les ondes infragravitaires ont été pour la première fois mise en évidence par (Munk, 1949) puis (Tucker, 1950) qui observaient des oscillations basse fréquence du jet de rive, appelée "surf beat". La génération des ondes longues provient de la présence de groupes d'ondes qui induisent une variation de la surface libre moyenne. Là où les vagues sont grosses, le niveau d'eau moyen est le plus bas.

L'origine des ondes longues est due à l'interaction entre les vagues incidentes, la topographie des fonds, les courants générés par les vagues et les différents courants côtiers (Van Rijn, 1998).

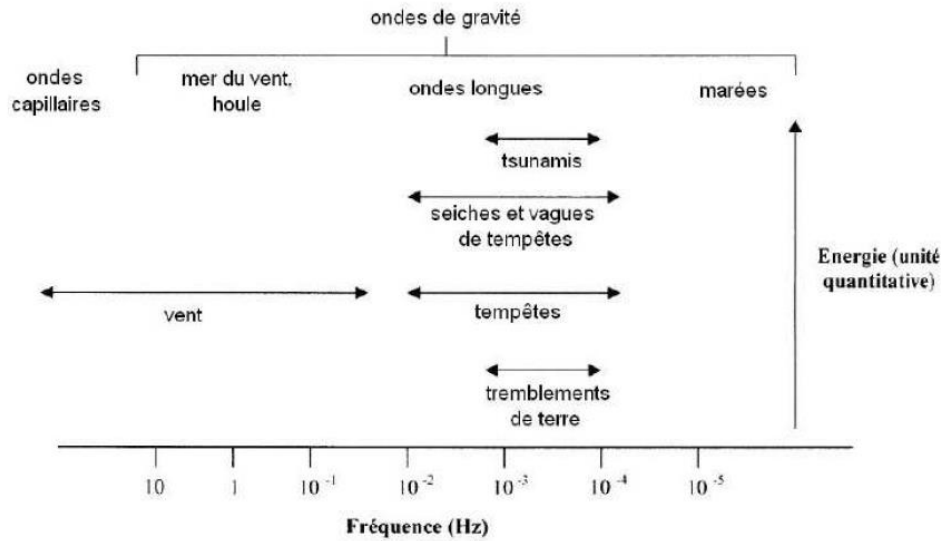


Figure 1.6 : Origine des ondes et fréquences caractéristiques.

### 2.1.3 Les courants moyens

Selon (Castelle, 2004), les courants moyens sont les mouvements des masses dont les variations sont plus lentes que ceux associés aux ondes infragravitaires et aux instabilités de courants.

Les principaux courants moyens induits par la houle peuvent être divisée de la manière suivante :

- Le courant de retour
- Le courant de dérive ou courant « longshore »
- Le courant sagittal ou « rip current »
- Courants moyens sur un fond complexe

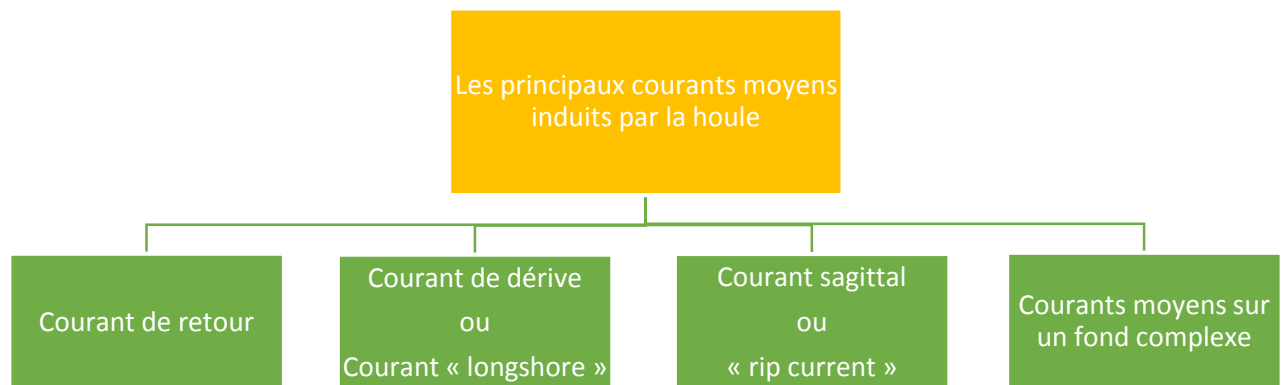


Figure 1.7 : Les principaux courants moyens induits par la houle.

#### 2.1.3.1 Le courant de retour

Le courant de retour, aussi appelé courant de compensation, est présent sur toutes les cotes exposées aux houles. En milieu côtier la houle transporte de l'eau dans sa direction de propagation. Cela est particulièrement vrai dans la zone de déferlement. Le courant de retour

permet donc de compenser cet apport de masse en transportant les masses d'eau vers le large. La Figure 1.8 montre une schématisation du courant de retour sur une plage homogène plane.

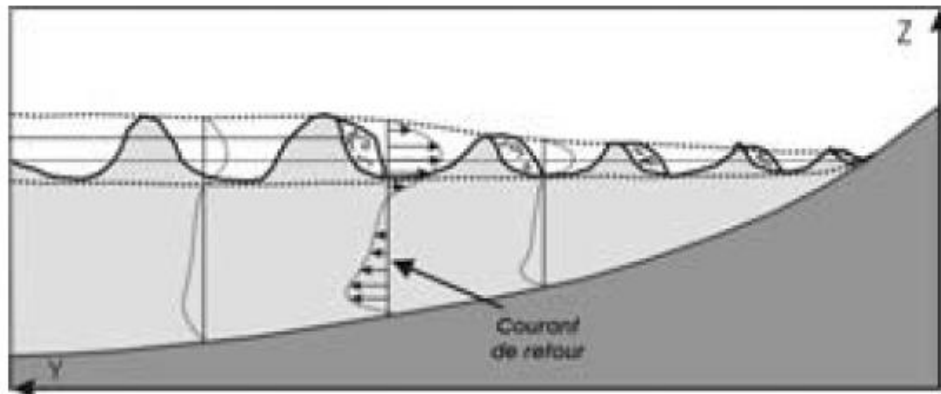


Figure 1.8 : Schématisation du courant de retour et de sa structure verticale sur une plage homogène dans la direction parallèle à la cote (Castelle, 2004).

### 2.1.3.2 Le courant de dérive ou courant « longshore »

Dans le cas d'une plage plane et homogène dans la direction longshore, les houles obliques vont générer un courant parallèle à la plage en déferlant. Ce courant est appelé courant de dérive, et son intensité est maximale derrière le point de déferlement. La Figure 1.9 montre une schématisation de ce courant.

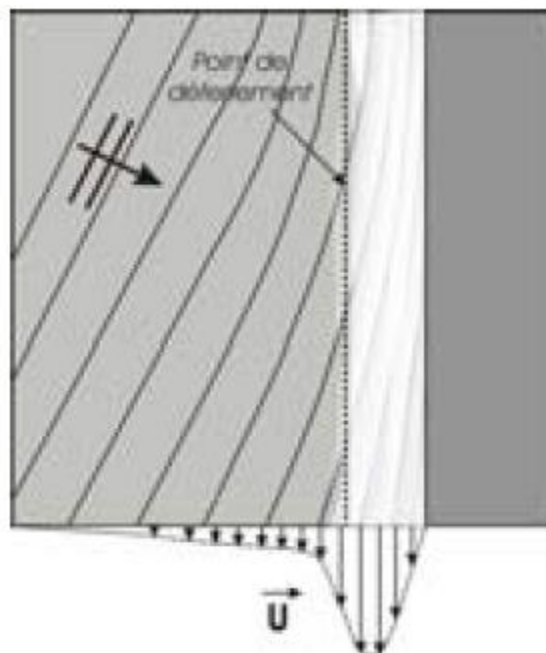


Figure 1.9 : Schématisation de la structure du courant de dérive induit par une houle oblique au-dessus d'une plage plane et homogène dans la direction parallèle à la cote.

### 2.1.3.3 Courants moyens sur un fond complexe

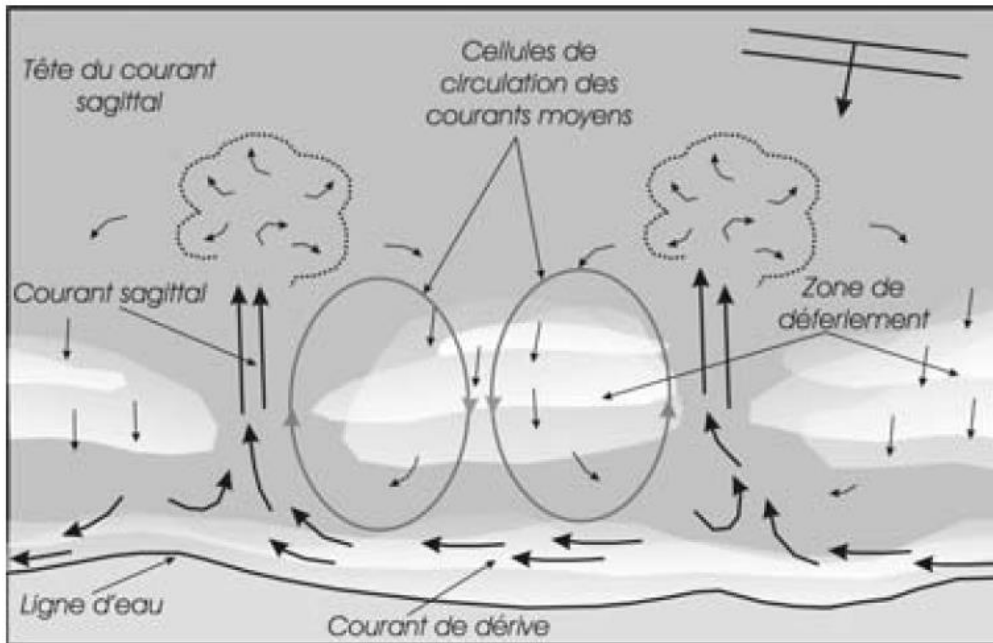


Figure 1.10 : Schématisation des courants moyens induits par la houle au-dessus d'une plage à barres, en présence d'une houle d'incidence faiblement oblique.

### 2.1.3.4 Le courant sagittal ou « rip current »

Le courant sagittal est un courant violent, intense et étroit dirigé vers le large, qui est observé sur de nombreuses plages. Il a fait l'objet de nombreuses études, particulièrement parce qu'il transporte de grandes quantités de sédiments (Cook, 1970) (Inman, Tait, & Nordstrom, 1971). Plusieurs mécanismes ont vu le jour pour expliquer les courants sagittaux, mais ils restent principalement contrôlés par la bathymétrie locale.

A partir de la Figure 1.10, on observe une relation complexe entre la morphologie de la plage et l'hydrodynamisme.

Les cellules de circulation des courants moyens sont dues à un déferlement sur les barres, ces cellules vont s'associer avec des courants sagittaux intenses dirigés vers le large au niveau de chaque chenal, les vagues déferlent sur la plage induisant un courant de dérive littoral.

## 2.2 TRANSPORT SEDIMENTAIRE

De nombreux processus contrôlent le transport sédimentaire. Parmi ces processus on peut citer l'intensité et la structure des courants dans la colonne d'eau. Or les variations des vitesses couvrent une gamme d'échelle temporelle très large en zone côtière. Ainsi, les sédiments vont être transportés au gré du mouvement orbital des vagues, des courants moyens (courant de retour sagittal ou de dérive), ou encore des ondes longues. A cela s'ajoute la turbulence induite par le déferlement qui peut favoriser la remise en suspension des sédiments.

Etant donnée la nature de la zone d'étude qui possède plutôt des plages sableuses, on va donc se concentrer sur le transport sédimentaire au niveau des plages sableuses.

### 2.2.1 Les différents modes de transport

Le taux de transport total est calculé de la manière suivante :

$$Q_t = Q_c + Q_s$$

$Q_t$  = Le taux de transport total

$Q_c$  = Le transport par charriage

$Q_s$  = Le transport en suspension

Le taux de transport représente le volume de matériaux transportés par unité de temps et par unité de longueur. Il s'exprime en  $m^2/s$  et peut être interprété comme le flux des concentrations, intégré sur la hauteur d'eau.

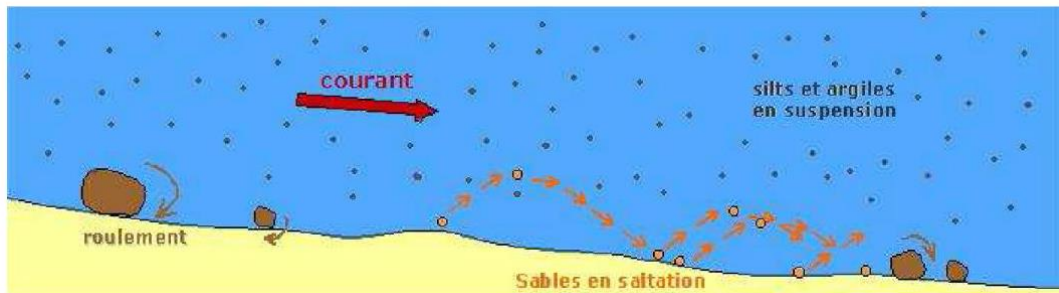


Figure 1.11 : Modes de transports sédimentaires selon la granulométrie (Jaud, 2011).

### 2.2.1.1 Transport par charriage

Les grains de sable peuvent être transportés par le courant en glissant sur le fond, en roulant ou encore en faisant des petits « sauts ». Dans ce mode de transport, les sédiments sont en contact avec le fond (sauf pour de très courtes durées pendant le « saut »). Sur les plages sableuses, ce mode sera favorisé par la présence de conditions peu énergétiques et/ou de sédiments grossiers.

### 2.2.1.2 Transport par suspension

Les sédiments peuvent être arrachés du fond (par turbulence ou par la présence d'un courant suffisamment intense), les grains de sable sont advectés par l'écoulement et sont transportés dans la colonne d'eau. Lors de ce transport, le sédiment ne touche plus le fond pendant de longues périodes. Ce mode est favorisé par la présence de conditions énergétiques et de sédiments fins.

### 2.2.1.3 Transport par « sheet flow ».

On observe ce mode de transport en présence de courants intenses et de sédiments relativement grossiers. Les sédiments au fond sont soumis à de très fortes contraintes et se déplacent à l'intérieur d'une couche très fine (de l'ordre de quelques diamètres de sable) de manière désorganisée.

Ces modes de transport sédimentaire sont représentés par la Figure 1.12

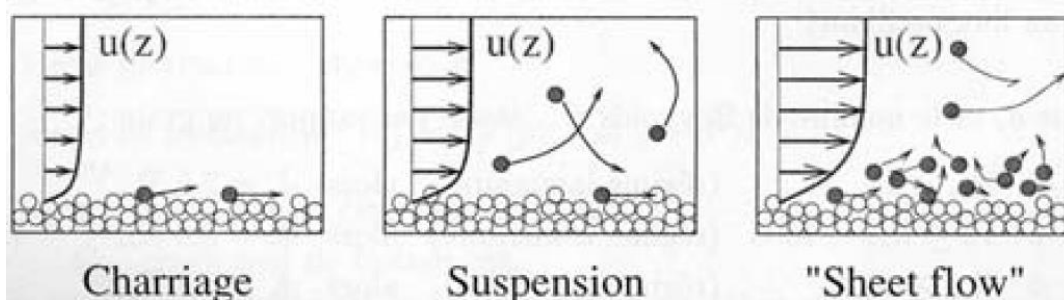


Figure 1.12 : Les trois modes de transport sédimentaire (Camenen, 2002) d'après (Fredsoe & Deigaard, 1994) : transport par charriage, transport par suspension, transport par « sheet flow ».

## 2.2.2 Le rôle des courants moyens dans le transport sédimentaire

Les courants moyens décrits précédemment contrôlent une grande partie du transport sédimentaire. Lorsque l'incidence de la houle est oblique, les vagues induisent un courant de dérive. Ce courant contribue donc au transit sédimentaire en déplaçant des volumes importants de sédiments d'un endroit à un autre le long de la cote, que l'on appelle « dérive littorale ». Cette dérive littorale contrôle ainsi les apports sédimentaires le long de la cote.

Le courant de retour peut également induire un intense transport sédimentaire vers le large en particulier pendant les épisodes de tempête. Il peut ainsi exposer la plage à l'érosion et provoquer des mouvements importants des barres sédimentaires perpendiculairement à la cote. Les courants sagittaux peuvent transporter une grande quantité de sédiments loin au large. La zone où ce courant agit étant étroite, le courant sagittal contribue à couper les barres sédimentaires et donc aux instabilités des bancs de sable le long de la cote. De plus, ce courant sagittal est associé à des cellules de circulation des courants moyens. Ce système de courants va alors contribuer à des échanges sédimentaires importants entre la zone de déferlement et la plage sous-marine.

### 2.2.3 Le rôle de l'asymétrie des vagues dans le transport sédimentaire

Les vitesses orbitales associées aux vagues peuvent aussi intervenir dans le transport sédimentaire, par les deux mécanismes suivants. Tout d'abord, la vitesse orbitale des vagues favorise la mise en suspension des sédiments dans la colonne d'eau. Ces sédiments sont ensuite transportés par les courants moyens. Les contraintes de cisaillement au fond sont bien plus importantes en présence d'un courant moyen et de mouvements orbitaux qu'en présence d'un courant moyen seul. La principale conséquence de la présence de ces vitesses orbitales est la formation d'un transport sédimentaire net vers le rivage. En effet, en arrivant en eau peu profonde la houle devient asymétrique. Ainsi hors de la zone de déferlement, il se forme une vitesse nette au fond dans la direction de la cote qui peut induire un transport sédimentaire important vers la plage. C'est ce mode de transport qui est responsable de l'état d'accrétion des plages pendant les épisodes des vagues peu énergétiques. Par contre, dans la zone de déferlement, le courant de retour induit souvent un transport sédimentaire vers le large plus intense que celui induit par l'asymétrie des vagues.

## 3 EROSION COTIERE

---

L'état naturel n'est pas figé, il est évolutif. Les changements que l'on observe peuvent y être orientés (le recul destructif des falaises, l'accumulation sédimentaire constructive des schorres et des slikkes). Ils sont le plus souvent rythmés par des épisodes de construction et de destruction. Cette alternance, ainsi que leur fréquence dans le temps et leur amplitude dans l'espace, conduisent à accorder une attention particulière aux plages sableuses, objets de grande importance économique, et milieux vulnérables puisque l'ampleur des changements qui les frappent inopinément nuit à leur exploitation durable.

La mobilité est l'une des caractéristiques physiques majeures du système littoral : les transformations naturelles et anthropiques modifient sans cesse sa morphologie. C'est ainsi que tout aménagement est amené à perturber de manière plus ou moins forte le système en place, ceci sur un espace plus ou moins proche : l'implantation d'un équipement dans le milieu littoral va par exemple créer des impacts au sein d'un sous-système qui, selon leur intensité, remettront en cause un état de stabilité général lui-même plus ou moins vulnérable (Figure 1.13). L'équilibre est maintenu si l'aménagement ne porte pas préjudice au milieu (création de sentier piéton...), un nouvel équilibre peut être regagné à la suite d'une transformation radicale (marais salants, polders...), enfin, une situation de crise peut être générée par des impacts forts, altérant tant les paysages que les écosystèmes (industrie portuaire, marinas...) (Mezouar, 2009).

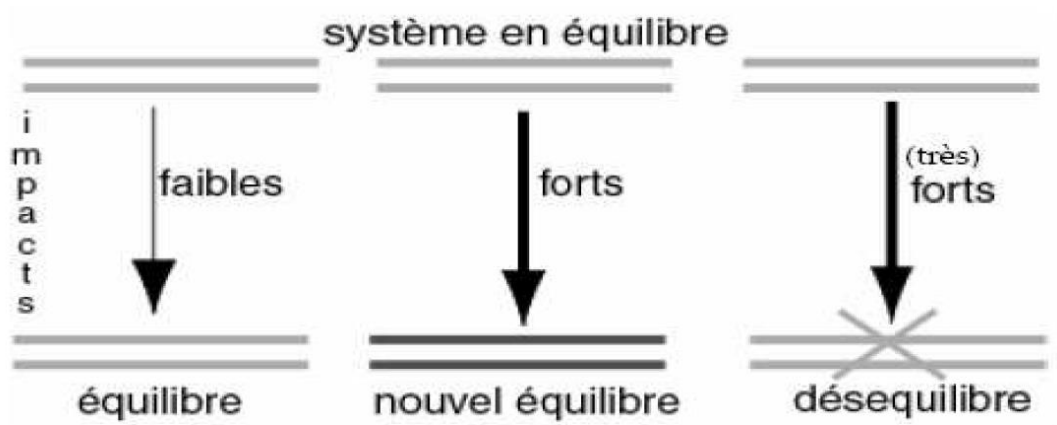


Figure 1.13 : Le système littoral, un équilibre menacé en permanence, d'après (Guigo, 1991).

De manière générale, l'évolution de l'espace littoral reste soumise à deux grands facteurs interdépendants : la nature et l'homme. Ceci a conduit B. Bousquet (1990) à considérer un littoral « de nature » (soumis aux dynamiques physiques), un littoral « d'oekoumène » (où coexiste l'ensemble des activités et usages anthropiques), mais également un littoral « d'institution », tant régi par le Droit que dépendant des niveaux de décision et des politiques d'aménagement. Ce dernier se confronte d'ailleurs à la complexité des deux premiers, comme le souligne la Loi Littoral « Le littoral est une entité géographique qui appelle une politique spécifique d'aménagement, de protection et de mise en valeur » et différents rapports ministériels : « l'affectation et la valorisation des espaces littoraux ne peuvent pas résulter d'un simple zonage d'usage ou de protection, mais relèvent plus généralement d'une approche systémique de l'équilibre souhaité entre les ressources disponibles, leurs divers usages et le choix des règles de compatibilité ».

Toute cette complexité, rend la protection du littoral une mission difficile qui demande de prendre en considération plusieurs facteurs. Prenant par exemple l'érosion, c'est le résultat d'un déséquilibre du système, la Figure 1.14 illustre une partie des facteurs qui sont à l'origine de l'érosion.

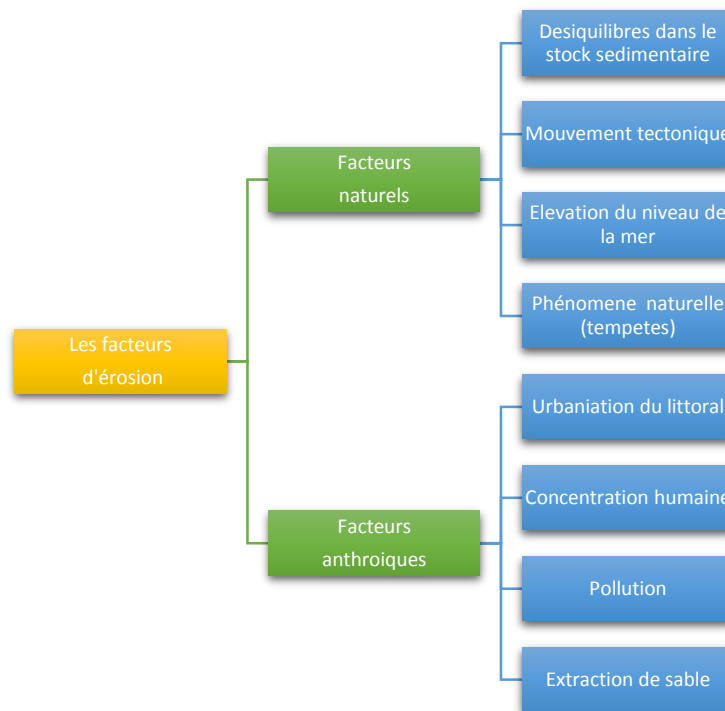


Figure 1.14 : Schéma représentant les différents facteurs d'érosion.

Zone d'étude

## 1 SITUATION GEOGRAPHIQUE

### 1.1 BAIE D'EL DJAMILA

La baie d'El Djamila est une baie se situent a environ une vingtaine de kilomètre à l'ouest de la wilaya d'Alger, elle représente le quart oriental de la baie de Bou-Ismaïl, c'est une baie relativement fermée limite à l'est par Ras Acrata et à l'ouest par la presqu'île de Sidi Fredj.

Ses coordonnées sont les suivants :

- Port de Sidi Fredj  $36^{\circ}45'51.12''N$  et  $2^{\circ}50'48.86''E$
- Ras Acrata  $36^{\circ}48'15.02''N$  et  $2^{\circ}53'43.09''E$

La cote de la baie d'El Djamila est une cote sableuse avec un linéaire de 6Km.

### 1.2 SITE D'ETUDE

Sidi Fredj est considère comme une presqu'île se situent à l'ouest de la baie d'El Djamila à environ 25Km d'Alger, notre étude va porter sur la partie Est de Sidi Fredj :

- Port de Sidi Fredj
- Plage Est de Sidi Fredj
- Plage hôtel Riad



Figure 2.1 : Situation géographique de la zone d'étude (Google earth, 2014).



Figure 2.2 : Situation géographique du site d'étude (tirée de la carte topographique de CHERAGA 1/25000e, 1960).

## 2 CARACTERISTIQUE GEOLOGIQUE ET GEOMORPHOLOGIQUE

### 2.1 GEOLOGIE REGIONAL

La géologie de la région algéroise connue sous le nom de massif d'Alger est constituée d'un socle métamorphique primaire, bordé de part et d'autre de dépôts sédimentaires du Sahel et de la Mitidja.

La figure 2.3 permet de nous renseigner sur la géologie de la région d'Alger

- **Le Primaire**  
Les terrasses primaires forment les massifs d'Ain Benian, de Bouzareah (massif d'Alger) et ces prolongements vers Sidi Fredj à l'ouest et Bordj El Bahri à l'est. Ces massifs sont constitués de roches cristallophylliennes de nature pelitique et carbonatées (gneiss, schiste, calcaire) recoupées par des épisodes éruptifs d'âge tertiaire (Glangeaud, 1932).
- **Le Secondaire**  
Plus connu dans la région blidéenne (atlas bidéen) II ne touche pas la région d'Alger.
- **Le Tertiaire**  
Marqué par le Miocène et le Pliocène qui recouvrent en discordance les faciès métamorphiques par des grès grossiers sableux et des marnes à lentilles de calcaires (Benallal & Ourabia, 1989).
- **Le Quaternaire**  
Il comporte plusieurs faciès lithologiques d'origine marine et continentale (Glangeaud, Ayme, Caire, Mataeur, & Murao, 1952).

- Formation d'El Harrach (Villafranchien) représentée par des argiles marneuses jaunâtres et quelques lentilles de graviers
- Formation de la Mitidja (Tensiftien-Soltanien) représentée par des alluvions grossières provenant de l'érosion de l'atlas blidéen.
- Formation de Mazafran et Halloula (Flandrien-rharbien) représentée par des limons. argiles limoneuses et des galets provenant de l'atlas blidéen.
- Les dépôts récents (Rharbien-Actuel) englobent les dépôts marins (lumachelles à pétoncles et des grés coquilliers) et les dépôts dunaires occupant la majeure partie du littoral algérois sous forme de dunes friables à consolidées.

## 2.2 GEOLOGIE LOCAL

Le littoral de la baie d'El Djamilia est caractérisé par une importante accumulation sableuse. Un cordon dunaire de l'ordre de 650 m de largeur maximale est constitué par les dunes littorales de la baie d'El Djamilia, de nombreux bancs rocheux affleurent au niveau de l'estran et se poursuivent sous l'eau.

Au niveau de la plage El Djamilia, un platier rocheux parallèle au trait de côte se rencontre à une distance de 150 à 200 m de la ligne du niveau moyen des mers (Boutiba, 1996).

Le substratum métamorphique de la presqu'île de Sidi Fredj est constitué de granites et de gneiss largement fissurés et diaclases.

Le promontoire rocheux est constitué de quatre types gneiss œillets identifiés par l'étude pétrographique :

- Type 1 : « vieux gneiss » caractérisé par la foliation et linéation bien marquées de teintes grises assez claires.
- Type 2 : gneiss œillet massif peu orienté de teinte claire.
- Type 3 : gneiss œillet à grains fins bien lités de teinte claire, riche en quartz.
- Type 4 : gneiss œillet avec un aspect de granite orienté avec une foliation moulante de phénocristaux.

La position de Sidi Fredj dans l'édifice structural reste difficile à préciser vu l'isolement de la formation gneissique de Sidi Fredj des autres unités techniques du massif d'Alger (Bellahsene & Messaoudi, 2005).

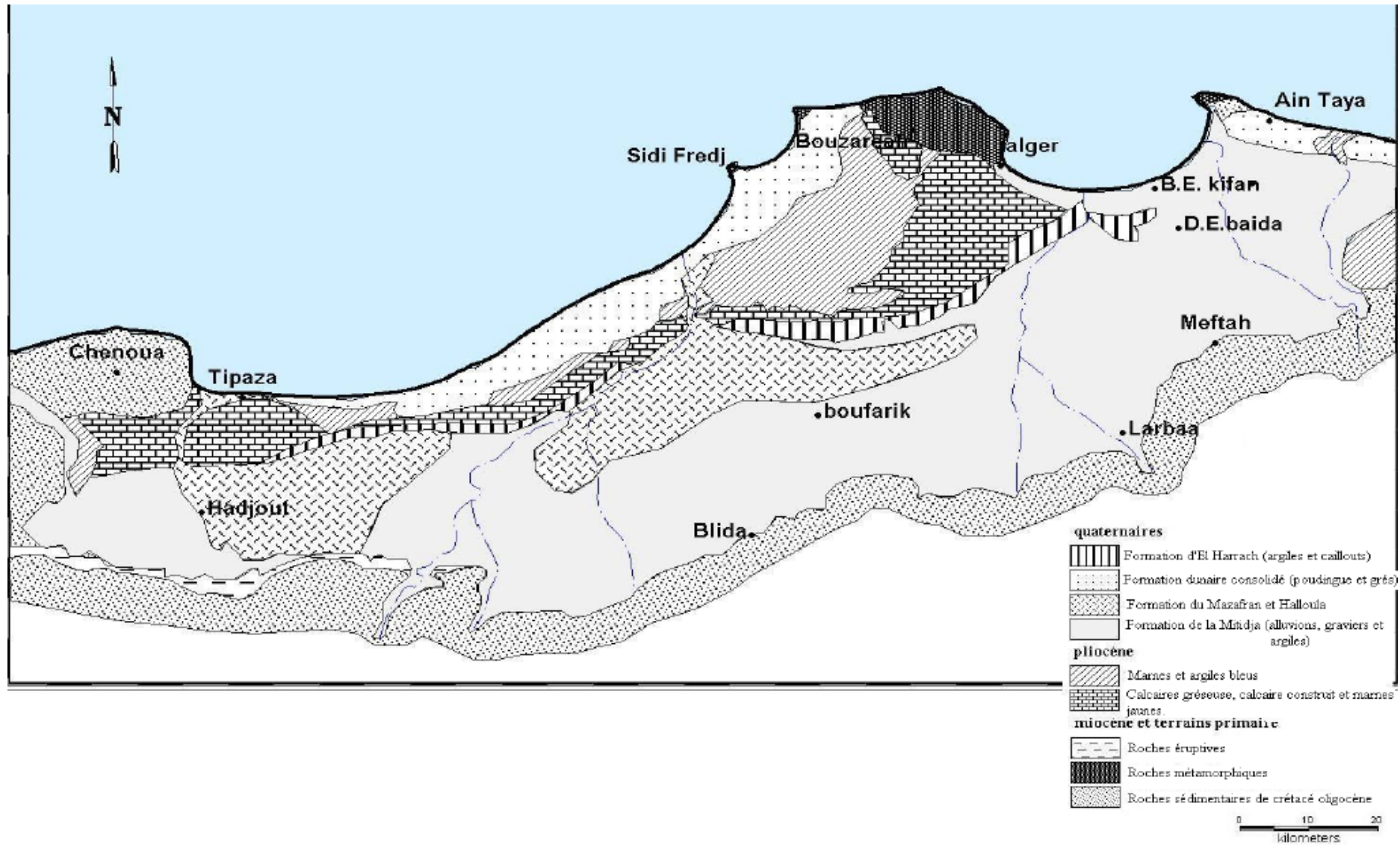


Figure 2.3 : Carte géologique régionale d'après Bennie 1983 in (Amghar & Sahraoui, 2005).

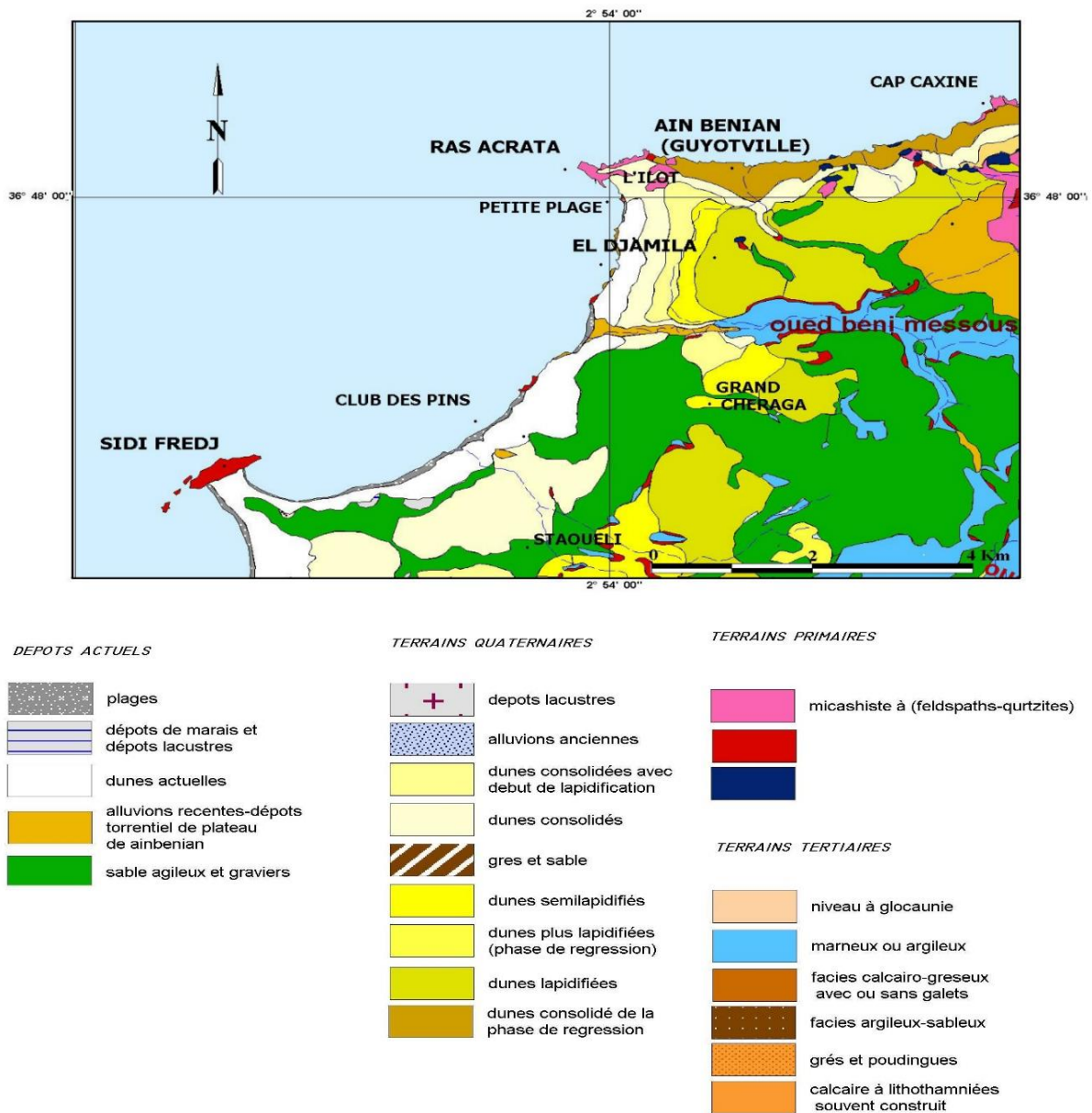


Figure 2.4 : Carte géologique de la région de Club des Pins; tirée de la carte géologique. Alger-Chéraga, 1/50000e.

### 2.3 REPARTITION SEDIMENTOLOGIQUE

La figure ci-dessous représente la sédimentologie de la baie de Bou Ismail, étant donné que la zone d'étude se situe au niveau de la baie de Bou Ismail la carte va nous permettre de nous renseigner sur la sédimentologie de la zone.

La figure 2.5 nous informe de la présence de différent type de sédiment, a partie de cette figure on peut déduire le tableau suivant :

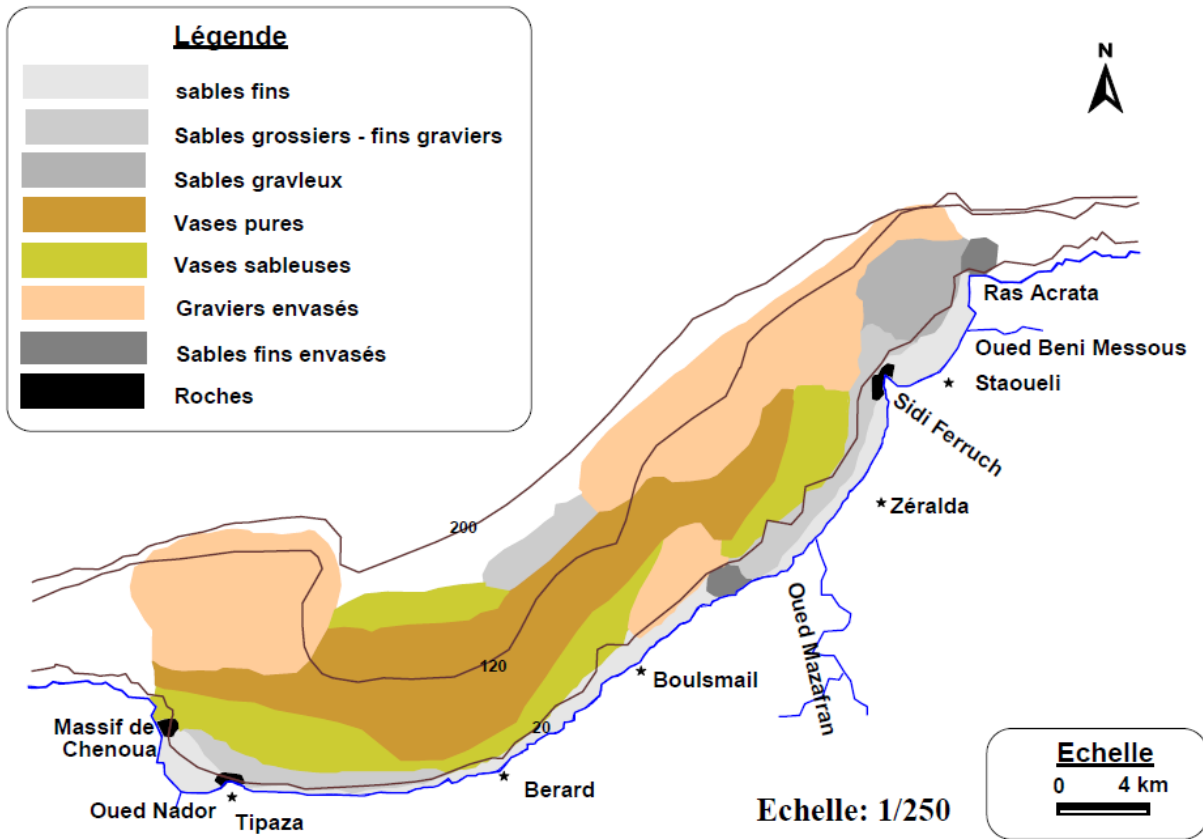


Figure 2.5 : Représentation de la sédimentologie de la baie de Bou Ismail (Grimes, 2003).

Tableau 2.1 : Répartition des différents types de sédiments.

Types	Profondeurs	Observation
Sable fins	Ne dépasse pas les 30m	Bande toute au long de la frange côtière
Sable grossiers	Environ 25m	Localisés essentiellement en face du Ras Acrata
Sable graveleux	Entre 10 et 35m	Localisés dans la partie Est de la baie d'El Djamila
Sable envasés	Entre 25 et 50m	/
Sables vaso-sableux	/	Inexistant dans le secteur Est de la baie
Gravieres envasés	Entre 40 et 90m	Localisées : - Au large de Ras Acrata - Au niveau de l'embouchure de l'Oued Bénis Messous et s'étend vers l'Ouest de Bou-Ismaïl
Vases		Quasiment absente de la baie d'El Djamila (apparaît au large de la presqu'île de Sidi Fredj) et forme une bande qui s'étale entre Zéralda et Bou Ismaïl

Cette répartition sédimentologique est due en partie à des facteurs qui influencent la dynamique sédimentaire (la dérive littorale, la houle et les courants de retour).

Ces facteurs influencent la zone de la manière suivante :

- La dérive littorale due aux houles de l'Ouest qui ramène les sédiments vers l'Est.
- Les houles de direction WNW qui vont reprendre les sédiments déposés latéralement et les transporter vers le large, engendrent un courant de retour d'une incidence frontale.

### 3 CARACTERISTIQUE CLIMATOLOGIQUE

L'étude des caractéristiques climatologiques est importante pour mieux comprendre le régime hydrodynamique qui influence la morphologie sédimentaire de notre zone d'étude.

Les données de climat local sont fournies par O.N.M : Observations allant de 1995 jusqu'à 2005.

Station: Alger Dar-El-Beida

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

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 Djamilia comme l'ensemble de la côte algérienne est caractérisée par un climat méditerranéen tempéré (relativement froid et humide en hiver, chaud en été).

#### 3.1 L'ETUDE DES VENTS

##### 3.1.1 Au large

Les vents sont des 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 Djamilia, la répartition des vents est parfaitement liée au régime annuel des houles. Les données recueillies par le S.S.M.O (Summary of Synoptic Météorological Observations) au large d'Alger confirment l'existence de deux périodes distinctes (Figure 2.6) :

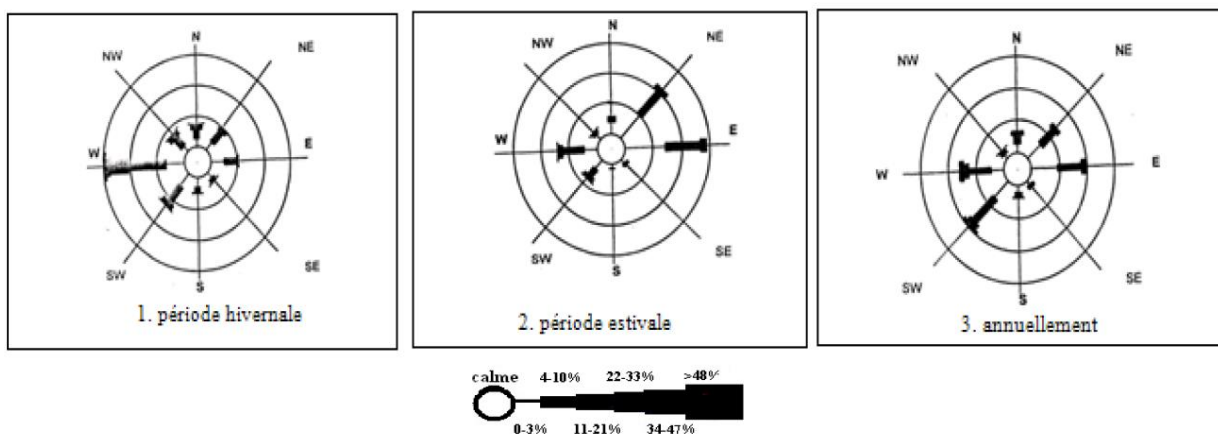


Figure 2.6 : Roses récapitulatives saisonnières et annuelles des fréquences d'apparition du vent au large. (L'US Naval Weather service, de 1963 à 1970).

A partir de la figure 2.6, on peut déduire deux périodes :

- Une période hivernale (octobre-Mars), avec des vents dominants de secteur Ouest.

- Une période estivale (Avril-Septembre), les vents dominants sont de secteur Est et Nord Est.

### 3.1.2 Données locales

Les mesures 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 2.2 : Répartition annuelle des vents sur huit directions (ONM, 1995-2005).

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

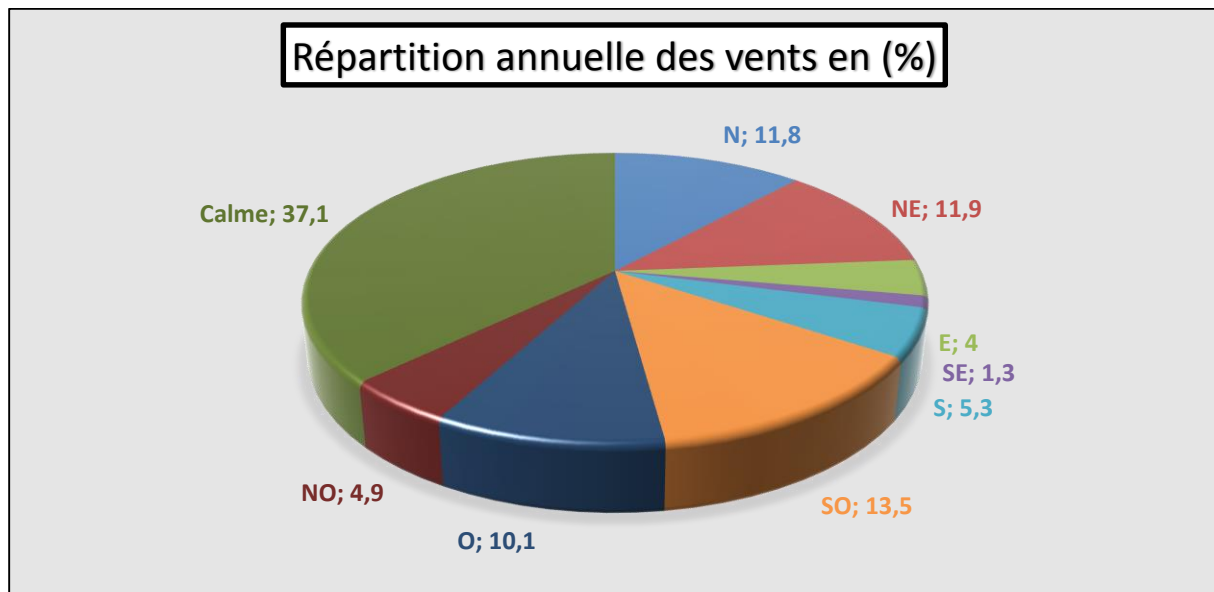


Figure 2.7 : Répartition annuelle des vents en % (ONM, Dar-El-Beida, 1995-2005).

## 4 CARACTERISTIQUE HYDROLOGIQUE

La baie d'El Djamilia est alimentée par l'oued Beni Messous et oued Boukara, l'oued Beni Messous prend sources du massif de Bouzaréah et à un impact plus important sur la zone, il regroupe l'oued Defla et l'oued Bainem.

L'oued de Beni-Messous est situé entre El-Djamila et Club des Pins à 18 Km à l'ouest d'Alger. Son débit est faible, estimé à 7.7 millions m<sup>3</sup>/an (0.245 m<sup>3</sup>/s) (Benzohra, 1993).

## 5 CARACTERISTIQUE OCEANOGRAPHIQUE

### 5.1 LES HOULES

Ce sont des oscillations qui dépendent du facteur vent, la houle joue un rôle prédominant dans la dynamique côtière.

On a pu disposer des données de vagues de l'U.S. Naval Weather Command intitulé Summary of Synoptic Meteorological Observation (SSMO) qui concerne une période qui s'étale de 1963 à 1970, et qui couvrent un secteur qui se situe :

- En longitude Est de 2° à 5°
- En latitude Nord de 36,5° à 38

Le tableau 2.3 permet d'effectuer une analyse statistique relative des vagues au large de la région d'Alger.

Tableau 2.3 : Fréquence mensuelle des houles au large par direction en pourcentage (SSMO, 1963-1970).

Dir	Mois												
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	Moy
<b>N</b>	8,1	8,8	11,3	11,7	8,2	9,2	5,9	8,8	6,7	7,8	5,5	10,2	8,52
<b>NE</b>	12,9	10,3	12,6	15,4	26,3	29,1	32,5	27,7	26,4	14,1	5,8	6,2	18,28
<b>E</b>	18,2	10,3	12,6	15,4	26,3	29,1	32,5	27,7	26,4	14,1	5,8	6,2	18,72
<b>SE</b>	18,2	12,6	15,8	16	31,9	29,8	35,1	37,3	40,5	20,3	10	9,4	23,08
<b>S</b>	6,5	6,1	4,5	4,4	3,3	1,4	1	1,1	2,3	4,2	8	7,5	4,19
<b>SW</b>	13,2	16,9	12,3	13,7	7,2	8,2	5,9	5	4,6	14,8	15,9	15	11,06
<b>W</b>	28,8	35,6	30,5	26,7	13,9	16,4	16,3	13,4	14,8	28,8	40,4	37,1	25,23
<b>NW</b>	7,3	5,8	9,2	10,2	5,2	4,2	2	4,9	2,5	6,8	9,4	10	6,46

- Les houles de direction Ouest, Sud-Est, Est et le Nord-Est sont les plus fréquemment observées, inversement pour le secteur Nord, Sud et Nord-Ouest ou les fréquences d'apparitions sont plus faibles.
- 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 toutefois une légère prédominance du secteur Ouest.
- En été, les houles d'Est, Nord-Est et Sud-Est prédominent alors qu'en hiver le secteur d'Ouest est privilégié.

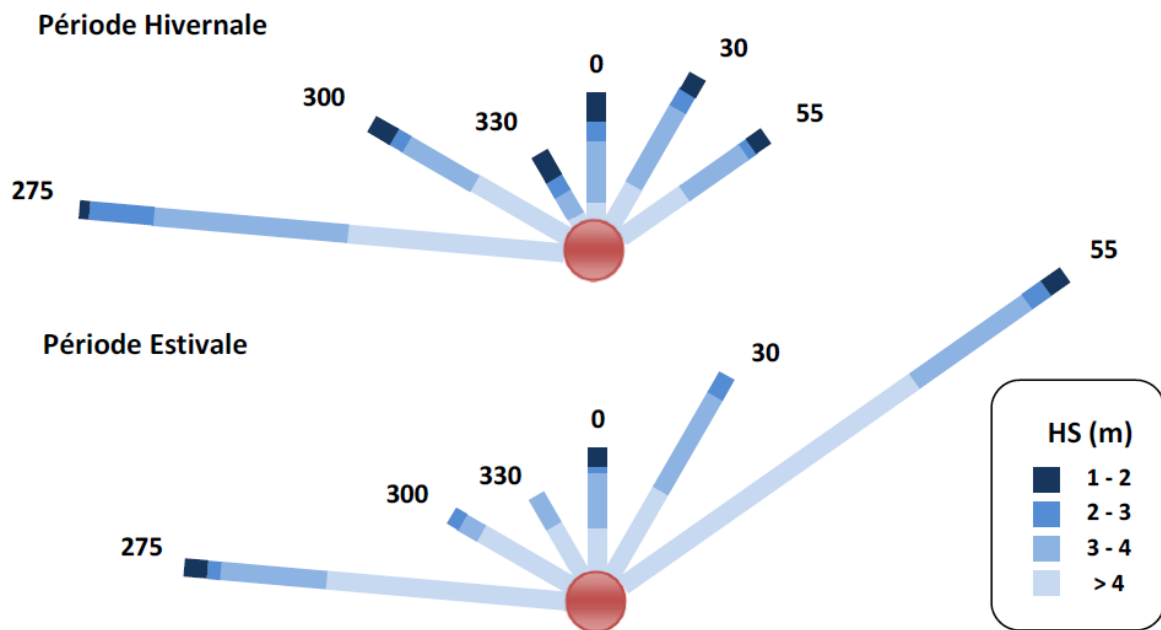


Figure 2.8 : Roses récapitulatives de direction des houles au large du secteur (275°-55°). Source : K.N.M.I in (Zemenzer, 2004).

A partir de la figure, on conclue que la répartition des houles est globalement concordante avec le régime du vent.

En hiver : Les houles 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 houles les plus dominantes sont issues du secteur Nord-Est avec des amplitudes moins faibles, et on remarque aussi que les houles du secteur Ouest sont assez importantes, ces derniers engendrent une dérive littorale.

Cette répartition peut être confirmée par les données du S.S.M.O présentées sous forme de tableau 2.3 et celles du K.N.M.I (Institut météorologique royal Néerlandais) (Figure 2.8)

Tableau 2.4 : Amplitudes des houles en fonctions des directions et leurs périodes de retour (SSMO, 1963-1970).

Dir	Période de retour (m)					
	Biennale (2 ans)	Quinquennale (5 ans)	Décennale (10 ans)	Vingtennale (20 ans)	Cinquantennale (50 ans)	Centennale (100 ans)
<b>N</b>	4.90	5.75	6.38	7.02	7.87	8.50
<b>NE</b>	4.93	5.67	6.23	6.79	7.53	8.08
<b>E</b>	4.12	4.70	5.14	5.59	6.17	6.62
<b>W</b>	7.36	8.43	9.22	10.02	11.08	11.88
<b>NW</b>	4.16	4.87	5.40	5.94	6.65	7.18

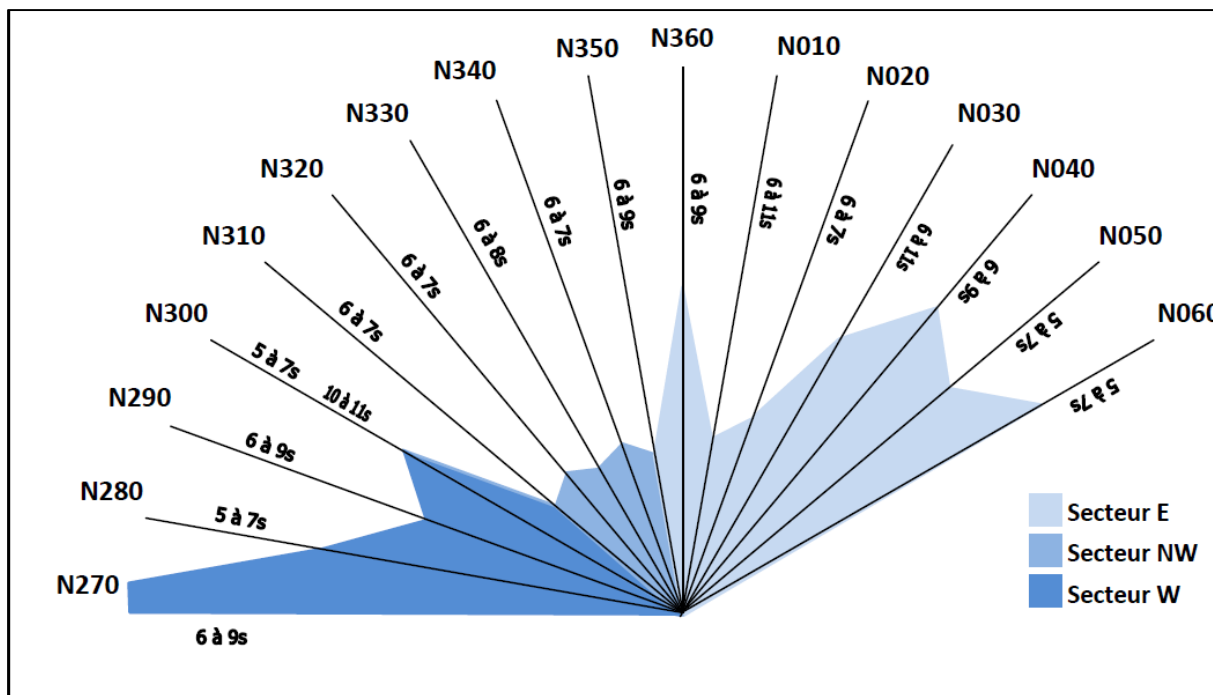


Figure 2.9 : Répartition des énergies des houles en fonction de la direction et des périodes les plus courantes. Source : K.N.M.I in (Zemenzer, 2004).

A partir du tableau 2.4, on peut observer que les houles de direction Ouest sont les plus énergétiques (peut atteindre 11,88m en période centennale), contrairement aux houles de direction Est qui sont les plus faibles (un maximum de 6,62m).

Le tableau ci-dessous permet une répartition des périodes des houles en fonction de l'état de la mer.

Tableau 2.5 : Répartition des états de mer par période (SSMO, 1963-1970).

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

A partir du tableau 2.5, on peut constater que les houles qui ont une période inférieure ou égale à 7s sont majoritaires avec un pourcentage de 75%, par rapport aux houles entre 10-12s qui représentent seulement 3%.

## 5.2 LES COURANTS

Les courants sont responsables de la dynamique sédimentaire (accrétion, érosion), par conséquent ils jouent un rôle important dans la morphologie côtière.

Ils existent plusieurs types de courant, parmi lesquels on peut citer : le courant Algérien, qui est un courant qui domine au large de la région d'étude, 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), (Millot, Taupier-Letage, & Benzohra, 1990).

### 5.3 LA MAREE

La cote algérienne a une marée faible qui dépasse rarement les 35cm pour une période de 12h à 24h. Il est conseillé de prendre en considération ce marnage étant donnée la pente douce de la zone d'étude (risque d'inondation).



Matériel et  
Méthode

Ce chapitre, nous permet de présenter la méthodologie suivie lors de ce travail et le matériel utilisé. Que ce soit des prélèvements, analyses faites au laboratoire ou des traitements de résultat par des logiciels spécifiques.

Ce chapitre a été subdivisé de la manière suivante :

- Prélèvement et échantillonnage
- Etude au laboratoire
- Etude bathymétrique
- Etude de l'évolution du trait de cote
- Modélisation de la réfraction de la houle
- Modélisation du transport sédimentaire

## 1 PRELEVEMENT ET ECHANTILLONNAGE

---

Lors de notre étude plusieurs prélèvements ont été effectués pour nous renseigner sur la morphologie et l'état de notre zone d'étude, les prélèvements ont été effectués de la manière suivante :

### 1.1 PRELEVEMENT SUR LA PLAGE DE SIDI-FREDJ « TERRE FERME »

Sur terrain, au niveau de la plage Est de Sidi-Fredj on a prélevé 12 échantillons répartie sur quatre profils (figure 3.1). Les échantillons sont prélevés manuellement et mis dans des sacs en plastique et étiquetés.



*Photo 3.1 : Zone de prélèvement des échantillons.*

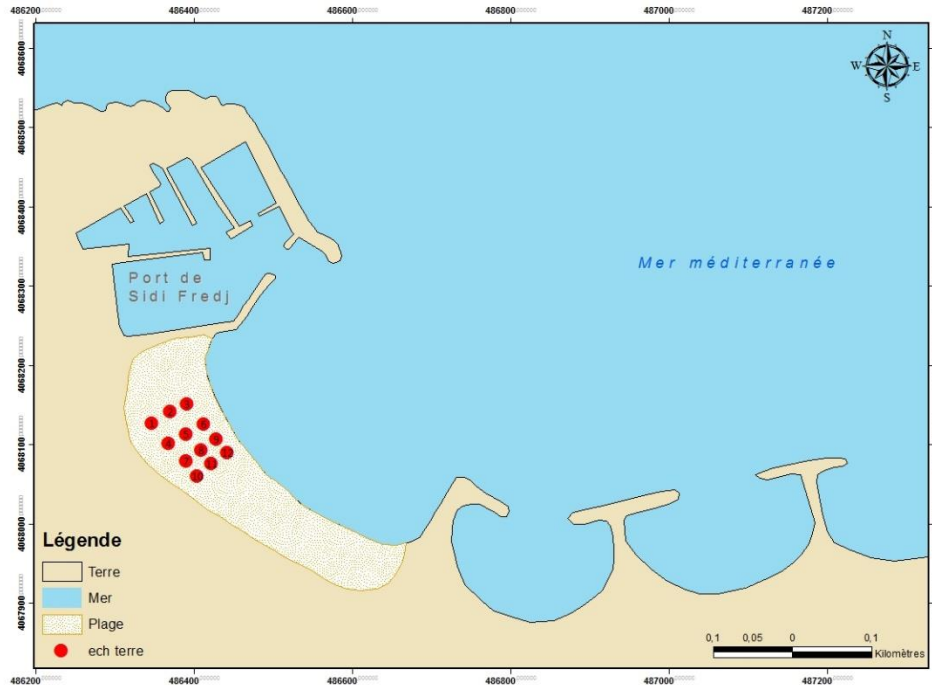


Figure 3.1 : Positionnement des points de prélèvement « terre ferme ».

## 1.2 PRELEVEMENT EN MER « BENNE PRENEUSE »

En mer, près du port de Sidi-Fredj des prélèvements de sédiment superficiel en été effectués plus exactement 34 échantillons à l'aide de la benne preneuse de type « Van-Veen » attachée à un câble et envoyée sur le fond, une fois remontée, le sédiment est récupéré dans des sacs en plastique étiquetés et rapportés au laboratoire pour une analyse détaillée.

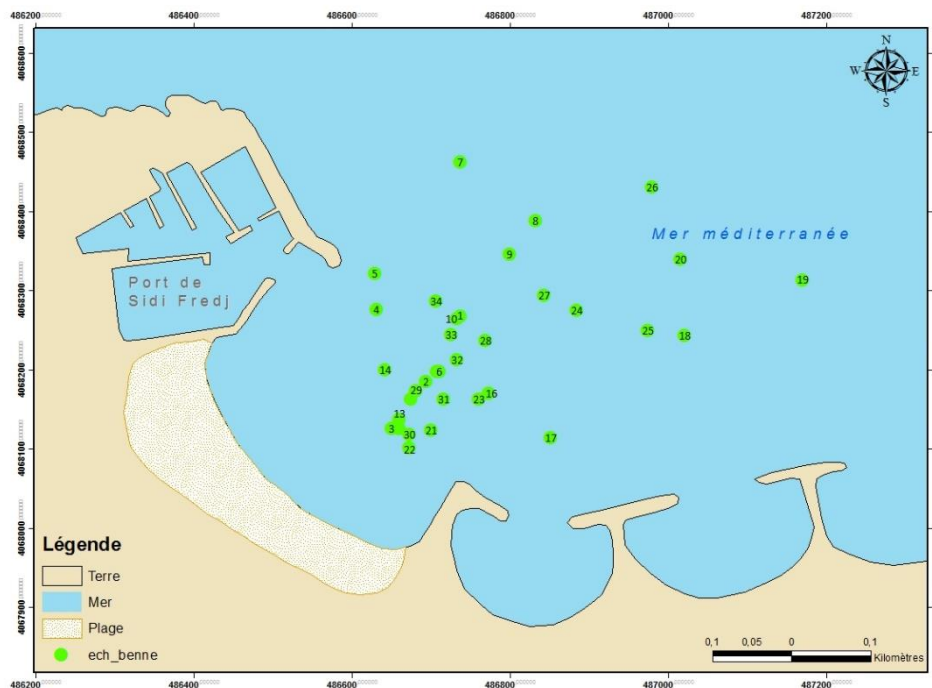


Figure 3.2 : Positionnement des stations de prélèvement des échantillons en mer.

La benne preneuse Van-Veen est utilisée dans les fonds meubles afin d'obtenir un grand volume d'échantillon, elle possède un mécanisme de fermeture automatique sur les deux bras de la benne ce qui explique pourquoi la benne reste ouverte jusqu'aux moments où elle touche le fond, la benne se ferme systématiquement lorsque l'on tire sur le câble lors de la remonté.



*Photo 3.2 : Benne preneuse de type « Van-Veen ».*

### 1.3 PRELEVEMENT A LA COTE « PIEGE A SEDIMENT »

Dans ce cas, le prélèvement a été effectué en utilisant des pièges à sédiments au niveau de la plage Est de Sidi Fredj :

- Installation des pièges a sédiment sur la plage du port de Sidi Fredj (3 pièges à sédiment).
- Faire plusieurs profils (chaque profil avec une orientation différente du piège a sédiment).
- Mesurer la profondeur à laquelle le piège est positionné (à l'aide de la mire).
- Numéroté chaque echt du piège.
- Mesurer le courant à l'aide du courantomètre devant chaque piège.

Le nombre d'échantillon obtenus dépend du nombre de nacelle utilisé pour chaque piège, pour notre cas le nombre d'échantillon est de 18 échantillons repartis selon 3 profils.

Pour plus de détail, il faut se référer à l'annexe 1.

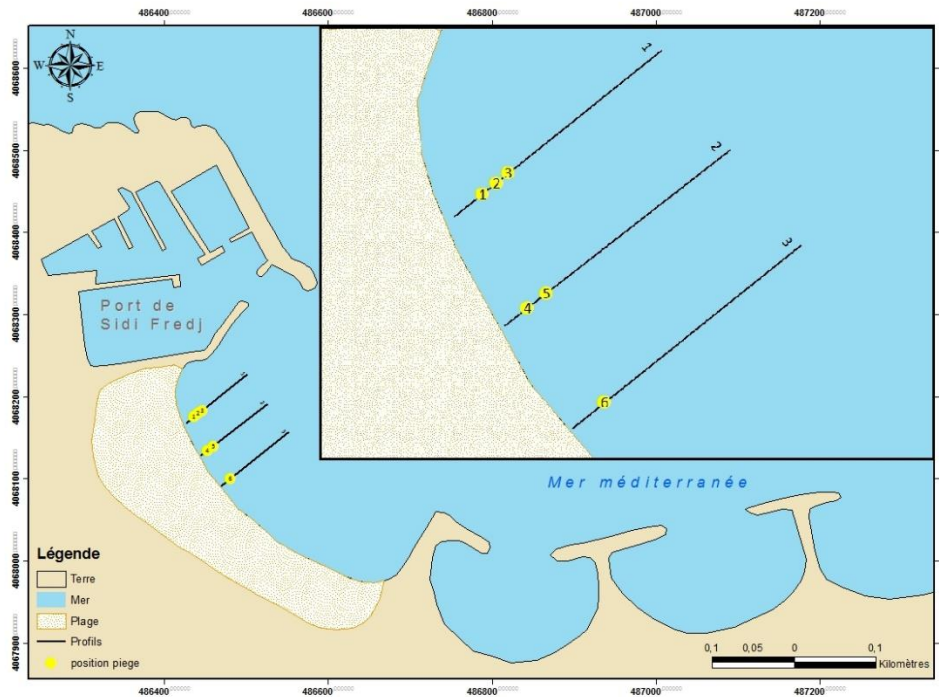


Figure 3.3 : Positionnement des profils et des pièges à sédiments.



Photo 3.3 : Etat de la mer lors du prélèvement.

## 2 ETUDE AU LABORATOIRE

### 2.1 ETUDE GRANULOMETRIQUE

L'analyse granulométrique est l'opération consistant à étudier la répartition des différents grains d'un échantillon, en fonction de leurs caractéristiques (poids, taille, ...).

- Tamisat : partie de l'échantillon passé à travers les mailles du tamis.

- Refus : partie de l'échantillon qui n'est pas passée à travers les mailles du tamis.
- Refus cumulé : c'est la somme de tous les refus, celui du tamis lui-même plus tous les refus des tamis de maille plus grande. Il peut être exprimé en gramme ou en % de refus cumulés.

Courbe granulométrique : Les pourcentages des refus cumulés, ou ceux des tamisats cumulés, sont représentés sous la forme d'une courbe granulométrie en portant les ouvertures des tamis en abscisse, sur une échelle logarithmique, et les pourcentages en ordonnée, sur une échelle arithmétique (c'est une courbe semi-logarithmique). La courbe est tracée de manière continue et ne peut pas passer rigoureusement par tous les points.

Les échantillons concerne pour l'étude granulométrique sont les échantillons du :

- Prélèvement sur la plage de Sidi-Fredj « terre ferme » (12 échantillon)
- Prélèvement en mer « benne preneuse » (34 échantillon)
- Prélèvement a la cote « piège à sédiment » (10 échantillon)

Donc un total de (56 échantillons).

L'ensemble des prélèvements sédimentaires a été analysé au laboratoire selon les techniques classiques de tamisage (Rivière, 1977). La granulométrie consiste à évaluer le pourcentage de la masse totale correspondant à chaque dimension de particule (Rivière, 1977). L'étude granulométrique d'un sédiment comporte généralement deux (02) parties:

- Analyse au laboratoire
- Interprétation des résultats

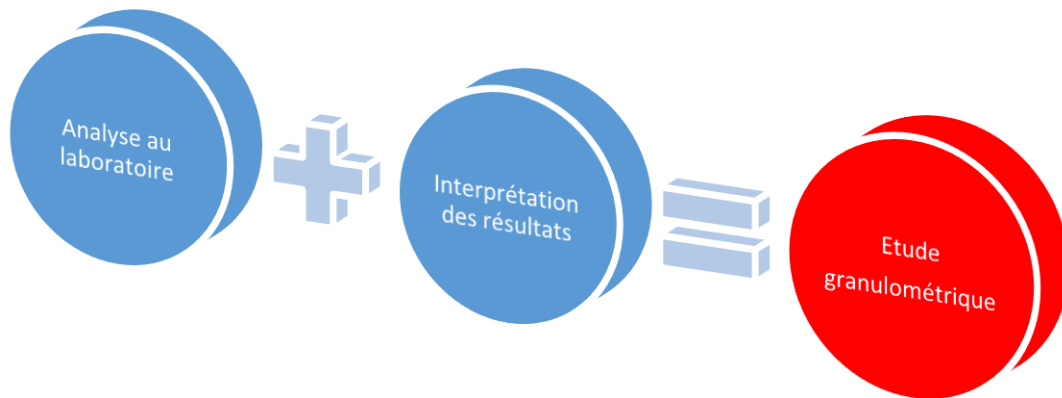


Figure 3.4 : Schéma des différents volets de l'analyse granulométrique.

### 2.1.1 Analyse au laboratoire

Chaque échantillon est mis dans le fond d'une boîte de pétri, et placé dans une étuve à 105°C pendant 24h. Une fois séchés, les échantillons sont passés sous un courant d'eau dans un tamis de 40µm de diamètre afin de soustraire les fractions fines.

Pour évaluer la fraction grossière, les échantillons sont remis à l'étuve pendant 24h à 105°C. Une quantité de 150g de sédiment pour chaque station est tamisée par une tamiseuse de type AFNOR dont le diamètre des mailles en microns des tamis est dans l'ordre décroissant : 1000-800-630-500-315-250-200-180-160-140-100-80-63-50-40.

Chaque tamisage dure environ 10 minutes, le refus de chaque tamis est pesé et le pourcentage pondéral est calculé pour chaque classe granulométrique.

Un schéma explicatif des différentes étapes à suivre lors d'une analyse granulométrique plus des photos prise lors de l'analyse sont disponible en annexe 1.

### 2.1.2 Interprétation des résultats

Cette partie de l'étude granulométrique va-t-être divisé de la manière suivante :

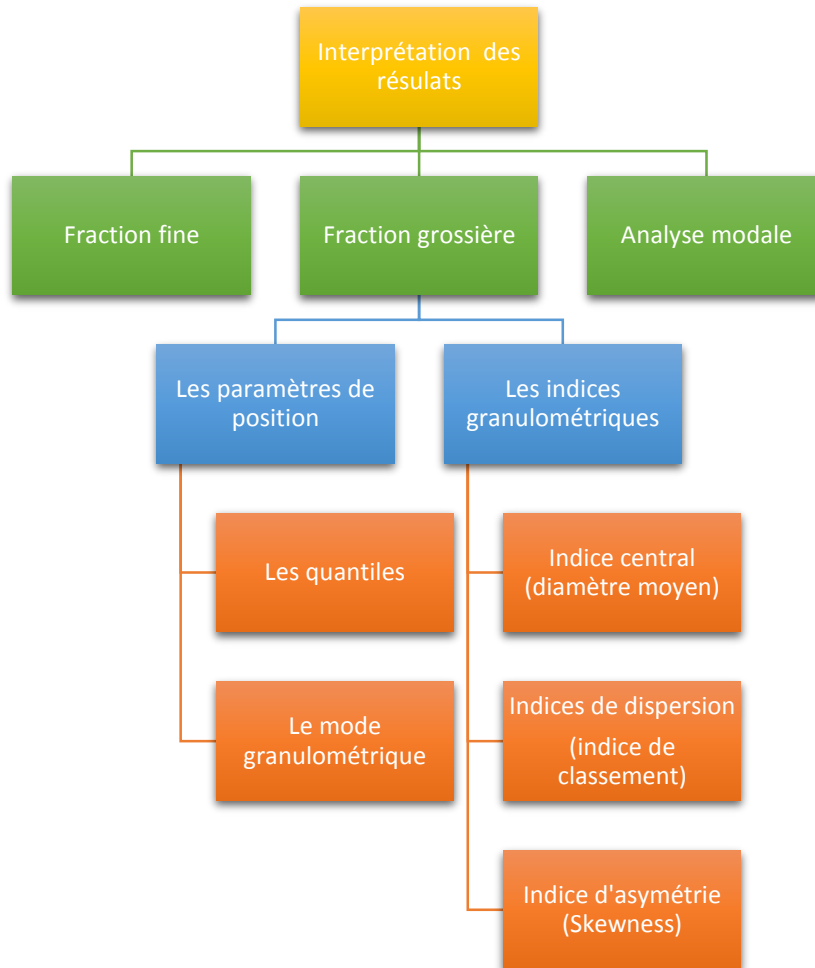


Figure 3.5 : Schéma simplifié de la partie interprétation des résultats de l'étude granulométrique.

#### 2.1.2.1 Fraction fine

L'étude de la fraction fine (inférieure à 40  $\mu\text{m}$ ) consiste d'abord à estimer sa valeur en pourcentage pour chaque échantillon dans un poids considéré et par la suite établir une carte des pélites représentant sa répartition dans notre zone d'étude.

#### 2.1.2.2 Fraction grossière

##### 2.1.2.2.1 Les paramètres de position

Les paramètres de position sont extraits à partir des courbes de fréquence cumulative (en ordonnée échelle arithmétique : Le pourcentage des tamis cumulés, en abscisse échelle logarithmique : les diamètres des tamis), permettent de calculer les différents indices.

a) Les quantiles

D10 : 10% : diamètre du grain à l'ordonnée 10% (décile)

Q1 : 25% : diamètre du grain à l'ordonnée 25% (quartile)

D50 : 50% : diamètre du grain à l'ordonnée 50% (médiane)

Q3 : 75% : diamètre du grain à l'ordonnée 75% (quartile)

D90 : 90% : diamètre du grain à l'ordonnée 90% (décile)

b) Le mode granulométrique

Correspond au point d'inflexion de la courbe cumulative. Il représente la dimension la plus significative de la distribution granulométrique.

Selon (Rivière, 1977), il existe trois groupes principaux de courbes cumulatives :

Unimodales : présentant un seul mode, elles indiquent une seule dynamique sédimentaire ;

Bimodales : présentant deux modes, indiquant l'existence d'un mélange de deux stocks sédimentaires donc de deux dynamiques différentes ;

Plurimodales : présentant plusieurs modes, révélant que la sédimentologie de la zone étudiée est très agitée c'est-à-dire que la zone connaît des mouvements sédimentaires mal disproportionnés.

## 2.1.2.2.2 Les indices granulométriques

L'analyse des paramètres granulométriques fournit des informations importantes sur la provenance, l'historique du déplacement et les conditions de dépôt des particules sédimentaires Bui et al. 1990 in (Cordier, 2007). Les trois paramètres granulométriques usuels utilisés en sédimentologie sont : la taille moyenne des sédiments ( $M_z$ ), l'indice de tri ( $S_o$ ), l'indice de symétrie de la distribution ( $S_k$ ).

Les méthodes de calcul de ces paramètres ont été obtenues par les formules de Folk et Ward (1957) qui nécessite l'élimination de la fraction coquillière de l'échantillon :

a) Indice central (diamètre moyen) :

Permet de positionner globalement l'échantillon sur l'échelle des dimensions des grains. Il traduit la puissance moyenne des paléocourants (Losson & Corbonnois, 2006).

$$M_z = \frac{(\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84})}{3}$$

Où  $\phi = -\log_2(D)$  qui est le logarithme à base de 2 du diamètre D en millimètre

b) Indice de dispersion (indice de classement) :

Appelé aussi le tri, il donne une idée sur l'étalement de la courbe au tour de son grain moyen, et il nous renseigne sur la croissance du tri lors du transport et de la sédimentation (Chamley, 1987)

$$S_i = \left[ \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} \right] + \left[ \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6,6} \right]$$

c) Indice d'asymétrie (Skewness) :

Ce paramètre indique sur l'enrichissement en particules grossières (asymétrie négative), l'enrichissement en particules fines (asymétrie positive) ou s'il y'a symétrie. Il exprime le milieu de dépôt, plutôt que les conditions du transport (Losson & Corbonnois, 2006).

$$Ski = \frac{\phi 16 + \phi 84 - 2\phi 50}{2(\phi 84 - \phi 16)} + \frac{\phi 5 + \phi 95 - 2\phi 50}{2(\phi 95 - \phi 5)}$$

### 2.1.2.3 Analyse modale

Le mode correspond à la dimension la plus représentative des grains d'un sédiment. La carte de la répartition des modes permet d'apporter des précisions importantes quant à la sédimentologie générale. Elle montre le mélange des populations sédimentaires d'origines différentes et peut expliquer leurs modalités de mise en place.

## 2.2 ETUDE CALCIMETRIQUE

### 2.2.1 Principe

La calcimétrie est la mesure de la teneur d'un sédiment en carbonates. Il peut s'agir de carbonate de calcium ou de carbonate de magnésium, mais ce dernier étant plus rare, et ayant généralement la même signification géomorphologique que le premier, on parle souvent de calcimétrie. Elle permet donc de déterminer la proportion (pourcentage) de carbonates de calcium  $\text{CaCO}_3$  présents dans le sédiment. Elle donne des indications sur la productivité de surface et éventuellement des apports de carbonates détritiques. Elle permet de connaître la part des sédiments biogènes, ou débris coquillers, et donc de suivre les migrations des sédiments nés dans des régions riches en plantes ou animaux fabriquant du calcaire.

L'appareil de mesure la plus fréquemment utilisée dans l'étude calcimétrique est le calcimètre de Bernard.



Photo 3.4 : Calcimètre utilise lors de l'étude.

Le dosage du carbonate de calcium est basé sur l'attaque par l'acide chlorhydrique (HCl) dilué d'un échantillon d'une masse donnée à pression et température standard. On mesure le volume de CO<sub>2</sub> dans un tube manométrique après attaque de l'échantillon à l'acide chlorhydrique (HCl) suivant la réaction suivante :



On utilise l'eau saturée en sel pour éviter la perte de CO<sub>2</sub> à partir leur réaction avec H<sub>2</sub>O selon la réaction suivante :



Le but de cette manipulation est de calculer le pourcentage de CaCO<sub>3</sub> dans les échantillons étudiés, cela se fait en comparaison avec un échantillon témoin de carbonate pur (100 % CaCO<sub>3</sub>).

### 2.2.2 Mode opératoire

- Prépare une solution saturée de NaCl.
- Tarer la balance puis peser 0.25g de l'un de nos échantillons.
- Remplir au même niveau le niveau de la solution saturé en NaCl du tube gradué et de l'ampoule du calcimètre et on note la valeur correspond au V<sub>1</sub> sur le tube gradué.
- Introduire 0.25 g de carbonate pur (témoin) ou 0.25 g de l'échantillon à étudier dans l'erenmeyer.
- Remplir un petit tube avec de l'acide chlorhydrique (Hcl) et on l'introduit dans l'erenmeyer avec précaution pour ne pas le verser.
- Boucher l'erenmeyer avec le bouchon relié au tube gradué de calcimètre de Bernard.
- Renverser l'acide contenu dans le tube sur l'échantillon.
- Agiter de temps en temps l'erenmeyer pour activer la réaction.
- À la fin de l'effervescence on note la valeur correspond au V<sub>2</sub> sur le tube gradué.
- Le volume de CO<sub>2</sub> dégagé est la différence des volumes V<sub>2</sub>-V<sub>1</sub>.

Donc on peut obtenir le pourcentage des CaCO<sub>3</sub> dans chaque échantillon.

Les échantillons concernés par cette étude sont ceux du prélèvement sur la plage de Sidi-Fredj « terre ferme » donc (12 échantillons).

## 2.3 ETUDE DE L'EQUIVALENT DE SABLE

### 2.3.1 Principe

L'essai d'équivalent de sable est généralement utilisé pour évaluer la propreté des sables, cet essai consiste à séparer les particules fines contenues dans le sol des éléments sableux.

Ainsi, après agitation (environ 20mn) le sable descend très rapidement alors que les fines se déposent plus lentement dessus. Le sable brut peut ainsi être visiblement séparé des fines.

La hauteur totale (sables et fines) représente la hauteur de l'échantillon, le rapport entre la hauteur de sable brut et la hauteur totale représente la proportion de sable brut dans le sable avec fines. Cette proportion exprimée en pourcentage est appelé E.S : équivalent de sable.

### 2.3.2 Mode opératoire

L'étude de l'équivalent de sable se fait de la manière suivante :

- Prendre une éprouvette et la remplir d'eau distille jusqu'au trait de jauge inferieur.

- Ajouter 110g de l'échantillon de sable puis la remplir avec de l'eau distille jusqu'au trait de jauge supérieur en rinçant le bouchon au-dessus de l'éprouvette.
- Fermer avec le bouchon puis secouer environ 62 fois.
- Laisser la solution décanté 20mn au plus jusqu'à apparition d'eau transparente, le sable va se déposer au fond.
- Utiliser une règle pour mesurer la hauteur h1 et h2.

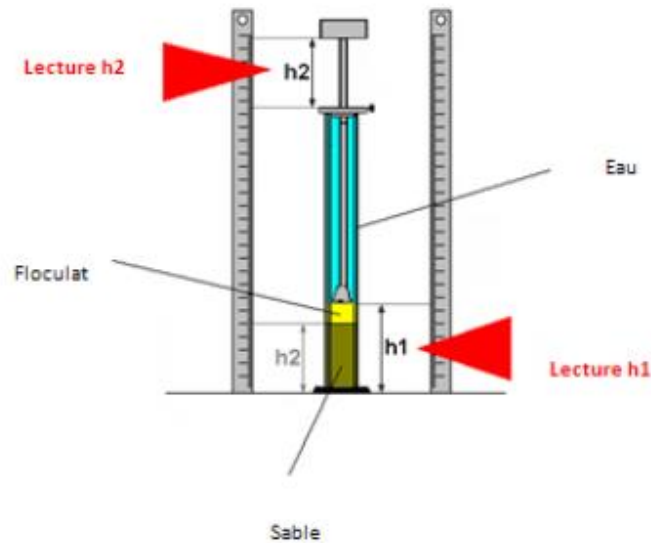


Figure 3.6 : Schéma explicatif de l'étude de l'équivalent de sable.

$$ES = \frac{h2}{h1} * 100$$

Avec :

Hauteur h1 : sable propre + flocculant

Hauteur h2 : sable propre seulement

ES : équivalent de sable

Les échantillons concernés par cette étude sont ceux du prélèvement sur la plage de Sidi-Fredj « terre ferme » donc (12 échantillon).

### 3 ETUDE BATHYMETRIQUE

L'étude bathymétrique est une étude primordiale dans nôtres domaines sachant quel représente la base de la modélisation de l'hydrodynamique sédimentaire, pour cela nous avons procédé à une analyse bathymétrique selon plusieurs méthodes pour essai d'obtenir un résultat fiable et précis.

La bathymétrie de la zone a été obtenue selon les méthodes suivantes :

- Lors de la sortie en mer pour les prélèvements avec la benne à sédiment, l'embarcation était équipée d'un échosondeur et d'un GPS. Cela nous a permis d'obtenir la profondeur et la position de chaque échantillon donc des coordonnées géographique et une profondeur (XYZ).
- A partir de logiciel spécifique tel que l'outil vertical mapper sur le logiciel MapInfo 8.5, ce dernier nous a permis de traitée une carte (digitaliser, convertir, extraire) et en tirer les coordonnées et la profondeur.

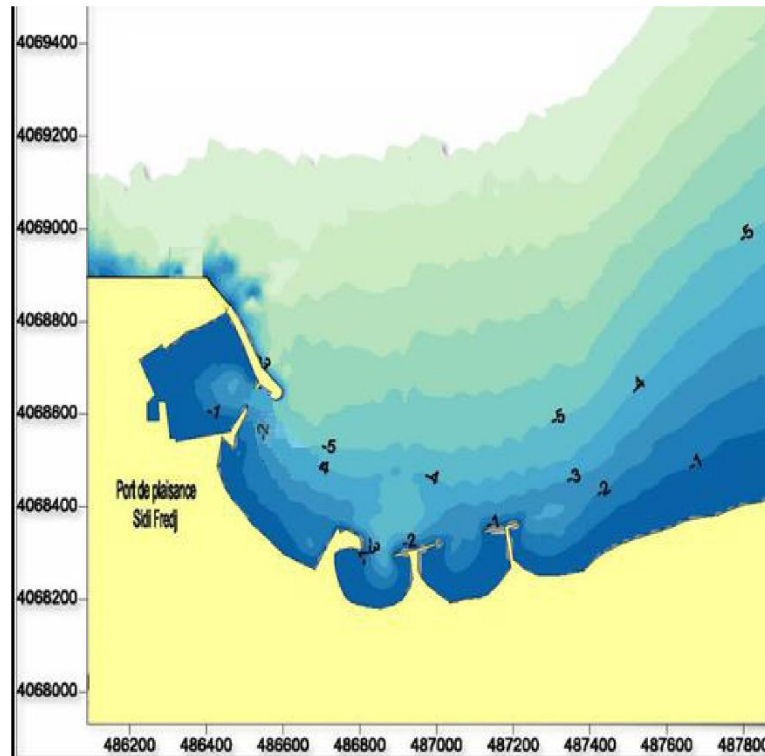


Figure 3.7 : Carte levée bathymétrique de la baie de Sidi Fredj, Aout 2009 (Source : CTH, Alger).

- Des données ont été obtenues à partir d'EMODnet, EMODnet (European Marine Observation Data Network) qui est un portail mis en place par la Commission européenne. Il fournit des services de découverte et de demande d'accès à des données bathymétriques.

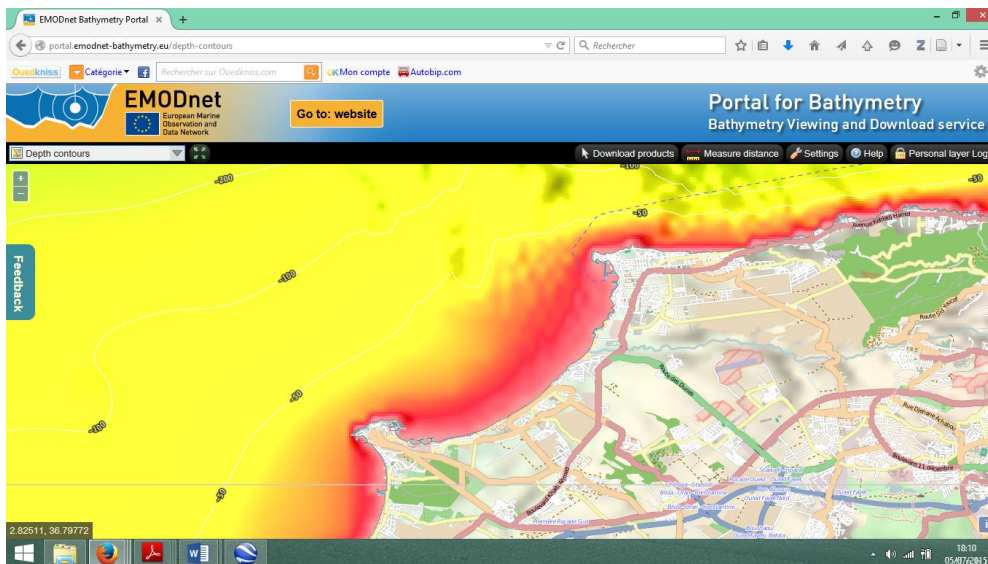


Figure 3.8 : Portail EMODnet utilisé pour la bathymétrie.

Ces différentes méthodes nous ont permis d'obtenir la bathymétrie de la zone d'étude.

## 4 ETUDE DE L'ÉVOLUTION DU TRAIT DE CÔTE

L'étude de l'évolution du trait de côte va nous permettre de connaître l'état de la zone d'étude. Généralement sur les côtes sableuses, la dynamique littorale résulte de l'ensemble des processus sédimentaires qui varie dans l'espace et dans le temps, un déséquilibre naturel ou anthropique de l'un de ces processus sédimentaires donne un nouvel aspect à la plage, ce qui entraîne des modifications au niveau de la ligne de côte.

Lors de la sortie sur terrain, on a utilisé des instruments pour évaluer le trait de côte de la plage, cet appareil de mesure étant le théodolite, il nous a permis d'estimer le trait de côte de la zone étudiée. Donc cette étude se divise de la manière suivante :

- Une estimation de la ligne de rivage actuelle grâce au théodolite
- Une évaluation du trait de côte de différente période grâce au logiciel ARCGIS

### 4.1 THEODOLITE

#### 4.1.1 Principe

Le théodolite a été utilisé pour essayer de déterminer le trait de côte de la plage Est de Sidi Fredj.

L'ensemble des points utilisés pour tracer la ligne de côte de la plage sont représentés sur la carte ci-dessous (figure 3.9).



Figure 3.9 : Position des points du théodolite.

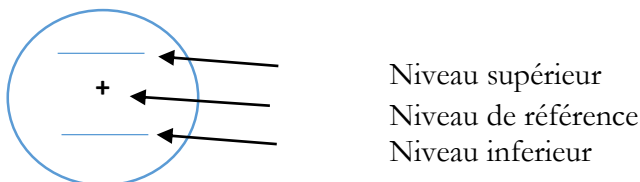
#### 4.1.2 Mode opératoire

- Mettre le théodolite a niveau en utilisant les boutons latéral (bouton de réglage)



Photo 3.6 :  
Théodolite fixé

- Régler le trépied selon notre taille grâce aux manettes de réglage
- Vérifier le niveau de la mire par rapport au théodolite (niveau de référence)
- Choisir un repère fixe sur le terrain et noter ces coordonnées GPS, sinon choisir un repère ou on peut obtenir ces coordonnées par Google earth
- Tourne le théodolite vers le repère puis appuyer sur le bouton pour obtenir le 0 Horizontal et le 0 Vertical
- Choisir L (left) pour tourner à gauche ou R (right) pour tourner à droite
- Tourner le théodolite jusqu'à voir la mire puis le fixer à l'aide des boutons latéral, tourner la lunette jusqu'à obtenir le + sur le niveau de référence de la mire



- Fixer le théodolite à partir de là, on obtient :
  - L'ange horizontal ° ou Rad
  - L'angle vertical
  - La pente
  - Le niveau supérieur
  - Le niveau inférieur
- Passer au deuxième point (on revient au repère pour obtenir le 0H et le 0V).
- Vérifier à chaque fois si la mire est à niveau avant de mesurer.
- Pour une meilleure précision, on peut utiliser deux théodolites (positionnement précis).



Photo 3.5 : Mire utilisée

## 4.2 LOGICIEL « ARCGIS »

Un Système d'Information Géographique (SIG) est un outil informatique permettant de représenter et d'analyser toutes les choses qui existent sur terre ainsi que tous les événements qui s'y produisent.

ARCGIS plus précisément « ARCGIS 10.0 » est un logiciel SIG qui nous a permis d'étudier l'évolution du trait de côte de différentes périodes, en utilisant des outils du logiciel (tel que le géoréférencement, la digitalisation, ajout de fichier de forme, superposition.....etc.)

Les figures qui donnent un aperçu du travail réalisé par le logiciel ARCGIS sont disponibles en annexe 1.

## 5 MODELISATION DE LA REFRACTION DE LA HOULE

L'ingénierie côtière a un besoin constant de connaître les caractéristiques de la houle surtout dans une région où il aura probablement une implantation d'ouvrage, et pour cela plusieurs outils ont été développés surtout dans le domaine de la modélisation numérique, ces modèles nous permettent d'évaluer des paramètres tels que les hauteurs significatives ( $H_s$ ), les périodes ( $T$ ) et les directions, mais ces derniers peuvent changer à l'approche de la côte, cela est dû en partie à l'effet du fond et des structures avoisinantes qui engendrent :

- Shoaling et réfraction
- Reflexions et diffraction près des ouvrages
- Dissipation de l'énergie après déferlement et friction du fond

Parmi les modèles numériques qui permettent d'étudier la réfraction de la houle, le modèle SWAN.

### 5.1 SWAN (SIMULATING WAVES NEARSHORE)

SWAN est un modèle numérique d'onde de troisième génération qui permet d'obtenir des estimations réalistes des paramètres de vague dans les zones côtières (propagation de la houle entre le large et la côte), c'est un modèle qui a été développé par l'université DELFT de la province néerlandaise, le modèle a besoin des données de la houle et la bathymétrie de notre zone d'étude pour qu'il nous donne des résultats concluants.

#### 5.1.1 Formulation

SWAN est un code de propagation de houle basé sur l'équation de conservation de la densité spectro-angulaire d'action des vagues  $N(\sigma, \theta, x, y, t)$  où  $\sigma$  est la fréquence relative et  $\theta$  la direction des vagues. La densité d'action des vagues  $N(\sigma, \theta, x, y, t)$  est obtenue à partir de la densité d'énergie des vagues  $E_s(\sigma, \theta)$  :

$$N(\sigma, \theta) = \frac{E_s(\sigma, \theta)}{\sigma}$$

L'équation de conservation de la densité spectrale d'action de vagues s'écrit (Hasselmann et al. 1973) :

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial(C_x N)}{\partial x} + \frac{\partial(C_y N)}{\partial y} + \frac{\partial(C_\sigma N)}{\partial \sigma} + \frac{\partial(C_\theta N)}{\partial \theta} = \frac{S}{\sigma}$$

Dans cette équation le premier terme  $\frac{\partial N}{\partial t}$  correspond à la variation temporelle de densité d'action des vagues. Les formulations des différentes vitesses de transfert de densité d'action des vagues ( $C_x$ ,  $C_y$ ,  $C_\sigma$  et  $C_\theta$ ) sont issues de la théorie linéaire et de l'équation de conservation du nombre de crêtes (Whitham, 1974; Mei, 1989; Dingemans, 1997).  $C_x$  et  $C_y$  sont les vitesses de propagation dans l'espace ( $x, y$ ) de la houle et  $C_\sigma$  traduit le transfert d'énergie angulaire.

Dans l'équation à droite,  $S = S(\sigma, \theta, x, y, t)$  correspond à la somme des termes source et termes puits.  $S(\sigma, \theta, x, y, t)$  contribue à la dissipation ou à la génération de densité d'action des vagues (déferlement, génération par le vent, interaction entre triplets ou quadruplets de fréquence...).

#### 5.1.2 Calcul de la réfraction de la houle

Les données de la climatologie au large, nous permettent d'établir une statistique de la houle au large. Cette statistique est ensuite propagée vers la côte en utilisant des fonctions de transfert calculées suivant la bathymétrie représentée suffisamment au large, dans les fonds où les houles ne sont pas réfractées. Le coefficient de réfraction est défini de la manière suivante :

$$Kr = \frac{Hs \text{ local}}{Hs \text{ large}}$$

Les calculs de la réfraction de la houle entre le large et la côte sont effectués par le modèle numérique SWAN pour différentes conditions de houle au large (hauteur, période et direction). Le logiciel modélise la propagation de la houle en prenant notamment en compte les phénomènes de

- Réfraction, sur les fonds et autour des ouvrages
- Frottement sur le fond
- Déferlement.

### 5.1.3 Données nécessaire

Les données nécessaires à réfraction de la houle sont :

- Les données bathymétriques
- Les valeurs de la houle au large
- 

#### 1) Données bathymétriques

La bathymétrie a été obtenue, comme expliquée précédemment par la digitalisation de la carte levée bathymétrique de la baie de Sidi Fredj, Aout 2009 (Source : CTH, Alger), l'ensemble de point (position, profondeur) de la sortie en mer et enfin les données obtenus par le portail EMODnet.

#### 2) Houle au large

Les données de la houle au large ont été obtenues du Summary of Synoptic Meteorological Observations (SSMO).

Un traitement statistique de ces données a permis de déterminer les fréquences d'apparition de houle par direction et par période.

Le choix des périodes est fait en fonction de la probabilité d'apparition. Les houles de fortes amplitudes (>10s), ont une probabilité d'apparition relativement faible. Les périodes de houle considérées dans le cadre de cette étude sont : 6s, 8s et 10s secondes pour les houles annuelles (tableau 3.1).

Tableau 3.1 : Les valeurs de la houle au large (SSMO).

Période	Direction de la houle au large			
	N 270°	N 315°	N360°	N45°
6s	H <sub>s</sub> = 1,19m	H <sub>s</sub> = 1,10m	H <sub>s</sub> = 1,00m	H <sub>s</sub> = 1,09m
8s	H <sub>s</sub> = 2,67m	H <sub>s</sub> = 2,64m	H <sub>s</sub> = 2,67m	H <sub>s</sub> = 2,56m
10s	H <sub>s</sub> = 5,54m	H <sub>s</sub> = 4,53m	H <sub>s</sub> = 4,92m	H <sub>s</sub> = 5,05m

Le choix du secteur angulaire correspond aux limites naturelles de la zone d'étude, d'une part, par la configuration géographique, et d'autre part, par le secteur d'intérêt des houles du large.

Ainsi quatre (04) directions ont été retenues en tenant compte des tableaux de fréquence par direction des houles au large ainsi que l'incidence de ces houles par rapport à la zone d'étude (tableau 2.5) :

- Une direction approximativement perpendiculaire à la côte pour mesurer les effets d'une houle frontale (315°N)
- Deux directions de houle à incidence oblique (270°N, 360°N)
- La direction de (45°N) qui est plus au moins énergétique peut atteindre notre zone d'étude par réfraction même si ce dernier est abrité par Ras Acrata.

#### 5.1.4 Etape suivie lors de l'exécution du SWAN

Pour l'étude de la réfraction de la houle par le modèle SWAN plusieurs étapes sont suivies, parmi ces étapes la préparation de la grille, condition aux limites, exécution de SWAN, représentation graphique des résultats de SWAN. Afin d'arriver à ce résultat plusieurs logiciels sont utilisés tel que Microsoft Office (Excel), Surfer 11, pour plus de détail voir annexe 1.

L'étude de la propagation de la houle peut être divisée en quatre phases principales, présentées schématiquement sur l'organigramme ci-dessous :

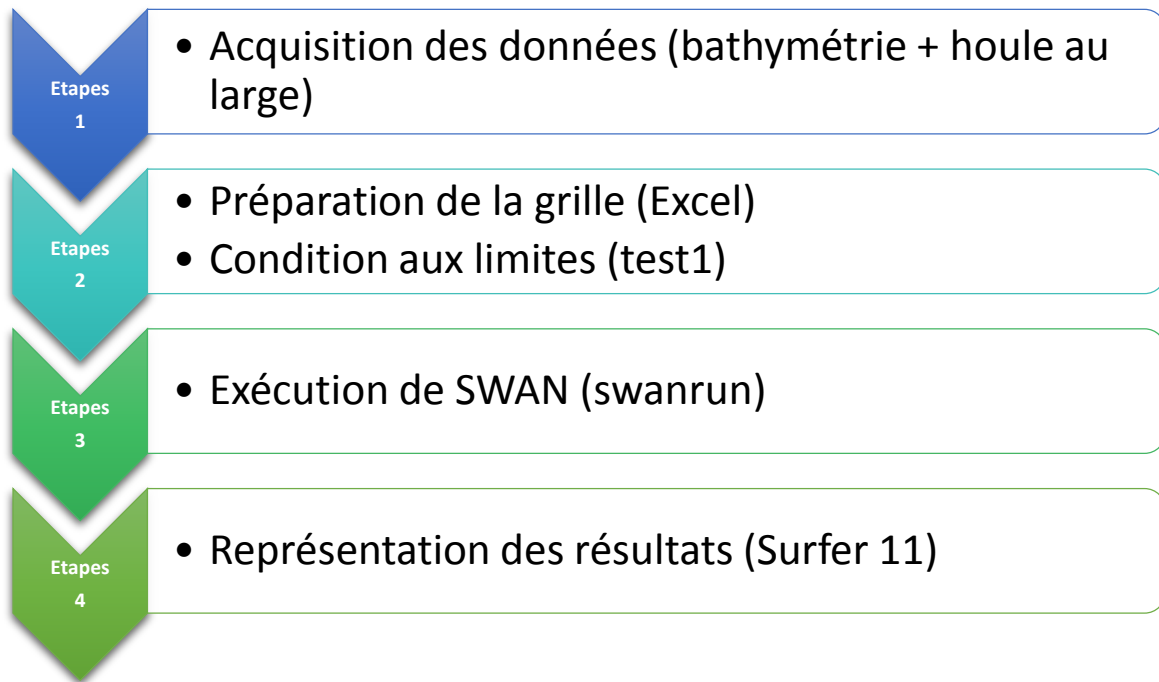


Figure 3.10 : Schéma des différentes étapes de SWAN.

## 6 MODELISATION DU TRANSPORT SEDIMENTAIRE

La modélisation du transport sédimentaire est un moyen efficace de connaître la direction du déplacement des sédiments dans notre zone d'étude, cela va nous permettre de savoir pourquoi il y a ensablement, accumulation.....etc. Parmi les modèles utilisés pour des simulations sur les tendances aux transports, le modèle GSTA (Grain Size Trend Analysis).

Selon (Mezouar, 2009), l'étude de la dynamique sédimentaire des plages sableuses passe par l'analyse des accumulations sableuses qui constituent la dépression de l'avant plage. La partie de l'avant plage est située entre la ligne de cote et barres sous-marines, elles représentent la zone de dépôt des sédiments en transit vers la plage. Ces accumulations constituent donc une zone source de sédiments meubles et mobilisables pour alimenter les plages. A l'inverse, elles peuvent être une zone de dépôt des sédiments arrachés à la plage.

## 6.1 LE MODELE McLAREN/GAO ET COLLINS

Ces auteurs constatent qu'il est possible de remarquer une augmentation de la taille de ces sédiments dans le sens du transport lorsque l'intensité du courant augmente dans la même direction. (Mc Laren & Bowles, 1985), indiquent que classement des sédiments peut s'améliorer en raison d'un tri sélectif du matériel sous l'action des processus de transport.

Sur cette base, une technique développée par (Gao & Collins, 1994) pour la détermination du sens du transport sédimentaire a été mise en évidence, et ces derniers se basent sur la connaissance de trois (03) paramètres qui sont la taille moyenne (1er moments), l'indice de dispersion : le Sorting (2em moment) et l'indice d'asymétrie, le Skewness (3eme moment) (Mezouar, 2009).

### 6.1.1 Principe du model

Le modèle développé par (Mc Laren & Bowles, 1985) est basé sur le principe suivant : les variations dans la répartition granulométrique d'un sédiment depuis sa source jusqu'au moment du dépôt dépendent de la dynamique hydrosédimentaire.

L'érosion, le transport par traction, saltation ou suspension, le dépôt sélectif ou total ainsi que le mélange de sédiment en provenance de différentes sources, sont à l'origine de la variation de la distribution spatiale des paramètres granulométriques. Cette dynamique (érosion, transport, tri et dépôt sélectif) peut traduire les directions du transport résiduel.

Ce modèle repose sur la comparaison entre les échantillons des trois paramètres sédimentologique ; la moyenne ( $M_z$ ), l'indice de classement ( $S_i$ ) et l'indice d'asymétrie ( $S_{k_i}$ ) entre deux prélèvements. Par comparaison de ( $n$ ) paramètres,  $2^n$  cas possibles peuvent apparaître entre deux échantillons. Théoriquement, les cas possibles sont au nombre de huit (Mc Laren & Bowles, 1985) :

#### Définition des cas en unité phi

- 1)  $M_{z_1} \geq M_{z_2}$   $S_{i_1} \geq S_{i_2}$   $S_{k_{i_1}} \leq S_{k_{i_2}}$
- 2)  $M_{z_1} \leq M_{z_2}$   $S_{i_1} \geq S_{i_2}$   $S_{k_{i_1}} \geq S_{k_{i_2}}$
- 3)  $M_{z_1} \geq M_{z_2}$   $S_{i_1} \geq S_{i_2}$   $S_{k_{i_1}} \geq S_{k_{i_2}}$
- 4)  $M_{z_1} \leq M_{z_2}$   $S_{i_1} \geq S_{i_2}$   $S_{k_{i_1}} \leq S_{k_{i_2}}$
- 5)  $M_{z_1} \geq M_{z_2}$   $S_{i_1} \leq S_{i_2}$   $S_{k_{i_1}} \leq S_{k_{i_2}}$
- 6)  $M_{z_1} \leq M_{z_2}$   $S_{i_1} \leq S_{i_2}$   $S_{k_{i_1}} \geq S_{k_{i_2}}$
- 7)  $M_{z_1} \geq M_{z_2}$   $S_{i_1} \leq S_{i_2}$   $S_{k_{i_1}} \geq S_{k_{i_2}}$
- 8)  $M_{z_1} \leq M_{z_2}$   $S_{i_1} \leq S_{i_2}$   $S_{k_{i_1}} \leq S_{k_{i_2}}$

Les expériences menées en laboratoire et sur le terrain ont conduit les auteurs à ne retenir que deux cas, comme représentatifs d'un transport sédimentaire dans un environnement marin non-extrême (Mc Laren & Bowles, 1985). Partant du principe que le dépôt est mieux trié dans la direction du transport sédimentaire, deux cas d'évolution peuvent alors être rencontrés qui représentent avec une plus grande probabilité les réelles tendances de transport sédimentaire, les transports de type **FB-** et **CB+** (Gao & Collins, 1994).

Le (tableau 3.2) définit ces deux cas de transport et présente les relations requises par les paramètres granulométriques, exprimés en unité  $\phi$ , pour un transport allant d'une station A vers une station B.

Tableau 3.2 : Relations entre les paramètres granulométriques (en unité  $\phi$ ) de deux stations A et B, pour un transport sédimentaire de A vers B, de type FB- et CB+.

Cas	Définition	Relation
<b>FB-</b>	Le sédiment est érodé à sa source. Le sédiment est transporté puis totalement déposé. Le sédiment résultant du dépôt est plus fin, mieux trié, présente une asymétrie vers les particules grossières (asymétrie $< 0$ en unité $\phi$ ).	$M_{z_1} \leq M_{z_2}$ $S_{i_1} \geq S_{i_2}$ $S_{k_{i_1}} \geq S_{k_{i_2}}$
<b>CB+</b>	Le sédiment est érodé à sa source.	$M_{z_1} \geq M_{z_2}$

	<p>Le sédiment est transporté et subit un dépôt sélectif le long du trajet de son transport du fait d'une diminution de l'énergie de l'agent de transport.</p> <p>Le sédiment qui résulte de ce transport est plus grossier, mieux trié avec une asymétrie vers les particules fines (asymétrie &gt; 0 en unité <math>\phi</math>).</p>	$S_{i1} \geq S_{i2}$ $Sk_{i1} \leq Sk_{i2}$
--	---	--

### 6.1.2 Calcul des tendances du transport sédimentaires

- Déterminer les paramètres granulométriques ( $Mz$ ,  $S_i$ ,  $Sk_i$ ).
- Déterminer une distance critique ( $D_{CR}$ ) entre les échantillons. Cette distance définie comme étant l'écart minimal entre deux sites qui sont côte à côte.
- Comparaison entre les trois (03) paramètres (diamètre moyen, Sorting et Skewness) entre deux échantillons.

Le calcul des tendances de transport se fait en comparant les valeurs des paramètres granulométriques entre des stations échantillonnées voisines. Quand la relation pour un transport FB- ou CB+ est respectée, un vecteur de transport est assigné au point de calcul. Le transport total est obtenu en sommant et en moyennant tous les vecteurs de transport obtenus pour une même station.

La pertinence des vecteurs ainsi obtenus est évaluée par un test statistique, le test Z, de comparaison des proportionnalités des vecteurs. La sélection des stations voisines pour le calcul des vecteurs initiaux se fait dans un rayon inférieur ou égal à une distance critique  $D_{CR}$ . Cette valeur représente généralement la distance maximale séparant deux points voisins afin d'inclure le maximum de points dans le calcul des vecteurs de transport. Il apparaît alors évident que les caractéristiques de la grille d'échantillonnage influencent fortement les résultats du modèle. (Gao & Collins, 1994) recommandent l'utilisation d'une grille d'échantillonnage uniforme, et (Asselman, 1999) propose d'interpoler les paramètres granulométriques distribués selon une grille irrégulière, afin d'obtenir une grille uniforme pour chacun d'entre eux.

Vecteur tendance : Gao et Collins, considère qu'un vecteur est vecteur tendance, si les deux cas sont détectés entre deux sites voisins, une première carte vectorielle sera dessinée. La longueur de ce vecteur est fixée arbitrairement comme unité, car on n'est pas en mesure de déterminer la contribution de chaque paramètre ( $Mz$ ,  $S_i$ ,  $Sk_i$ ) séparément.

Vecteur somme : si un même point a plusieurs vecteurs tendances dans ce cas, on ne retiendra que la résultante R de ces vecteurs. R peut s'exprimer :

$$\vec{R}(x, y) = \sum_1^n \vec{r}(x, y)_i$$

Avec :

n : nombre de vecteurs tendances.

$\vec{r}(x, y)$  : Vecteur tendance.

$\vec{R}(x, y)$  : Vecteur résultant.

(x, y) : Coordonnées du vecteur.

Vecteur transport (modèle résiduel). Cette étape consiste à moyennner afin d'épurer notre carte vectorielle des « bruits de fond ». Il arrive parfois que nous constatons des anomalies

directionnelles au niveau des vecteurs qui seraient dues à un bruit qu'il faut éliminer. Cette étape permet aussi aux autres sites sans vecteurs, qui ne répondent pas aux deux cas, de leur allouer des vecteurs. Pour chaque point, nous additionnons les vecteurs attribués à chaque point située à une distance critique inférieure à la distance critique de la seconde étape, qu'il faut recalculer encore. Nous divisons ensuite la somme des vecteurs par le nombre de points voisins ayant un vecteur non nul + 1. Cette opération peut aussi s'écrire de cette façon :

$$\overrightarrow{Rav}(x, y) = \frac{1}{K + 1} \left( \vec{r}(x, y)_i + \sum_1^k \overrightarrow{Rj} \right)$$

Avec :

$K$  : nombre totale de sites voisins ayant impérativement un vecteur.

$\overrightarrow{Rj}$  : Vecteur voisin

$\vec{r}(x, y)_i$  : Vecteur des points sélectionnés.

Le vecteur  $\overrightarrow{Rav}$  est alors appelé vecteur transport. L'ensemble de ces vecteurs forme un modèle résiduel, dans ce modèle on ne trouve que les modèles de transport les plus fréquents du modèle initial établi à partir des vecteurs tendances. Fiabiliser les résultats obtenus par la carte vectorielle filtrée, afin de se débarrasser des vecteurs qui ont de petits modules.

$$L = \sum_i^n |\overrightarrow{Rav}(x, y)_i|$$

## 6.2 GSTA (GRAIN SIZE TREND ANALYSIS)

GSTA est un modèle mathématique vectorielle développé par (Gao & Collins) pour connaître le schéma des mouvements sédimentaires résiduels qui s'opèrent le long d'une zone côtière données. La préparation de la grille d'entrée de GSTA est une étape primordiale, voici un aperçu de la préparation de la grille d'entrée.

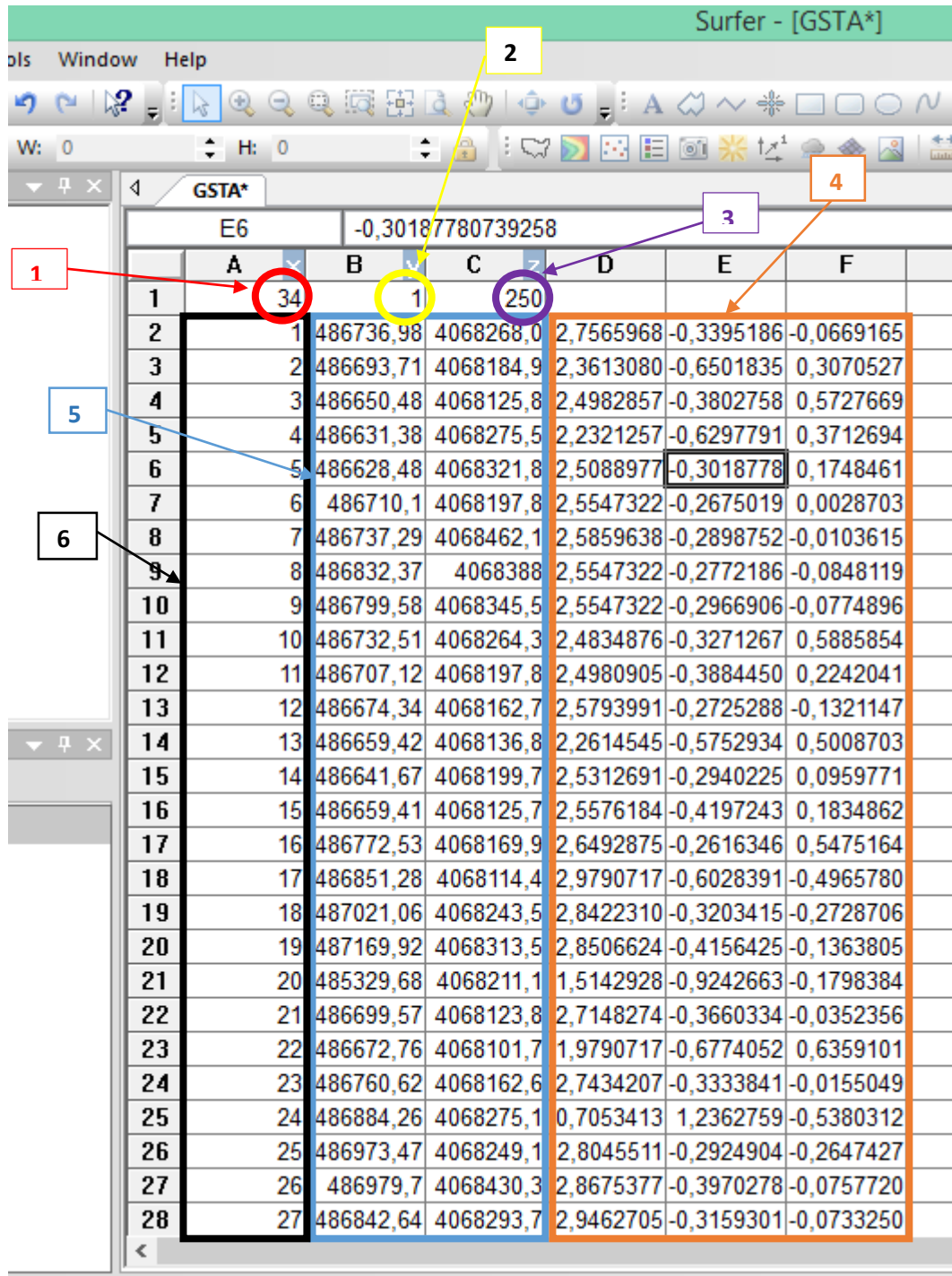


Figure 3.11 : Grille d'entrée du modèle GSTA.

- 1:** le nombre de station de prélèvement.
  - 2:** Le numéro 1 signifie que le type des coordonnées saisies est métrique.
  - 3:** Distance critique ( $D_{CR}$ ) est pris comme l'intervalle de l'échantillonnage spatial, maximal et spécifique. Les échantillons à comparer sont considérés comme étant des voisins, s'ils sont égaux ou inférieurs à cette distance.
  - 4:** Indices granulométriques.
  - 5:** les coordonnées en métriques (X, Y).
  - 6:** Les numéros des différents échantillons.
- Pour plus de détail voir annexe 1.



Résultat et

Discussion

Après avoir expliqué en détail les différentes méthodes et procédés utilisés lors de cette étude, on va passer à l'expression des résultats obtenus des différentes études menées et d'essayer d'interpréter les résultats obtenus.

Donc ce chapitre sera l'aboutissement aux résultats après un cycle complexe de prélèvement, traitement, analyse ....etc.

## 1 ETUDE AU LABORATOIRE

Cette étude effectuée au niveau du laboratoire se subdivise de la manière suivante

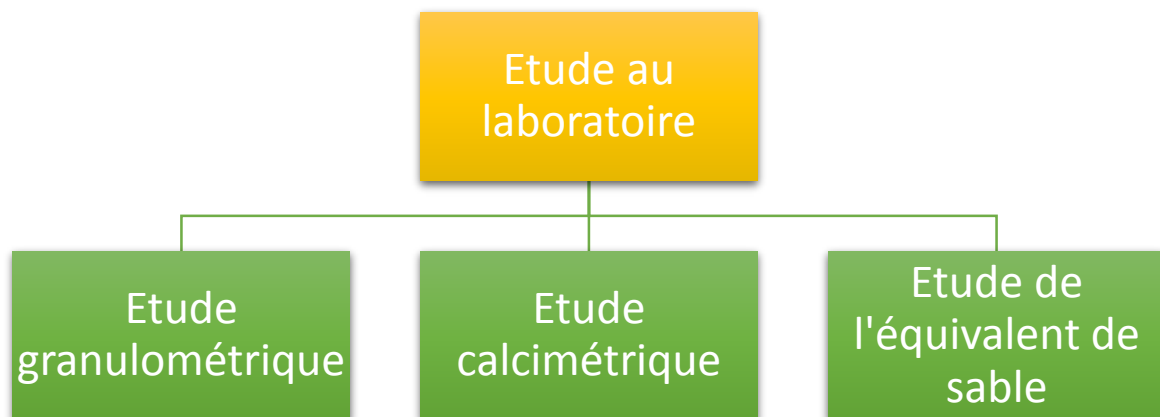


Figure 4.1 : Schéma simplifié de l'étude au laboratoire.

### 1.1 ETUDE GRANULOMETRIQUE

#### 1.1.1 Prélèvement sur la plage de Sidi-Fredj « terre ferme »

Dans ce cas, on a un ensemble de 12 échantillons passé à la tamiseuse, calcul du refus, tamisat,.....etc.

Tableau 4.1 : Coordonnées géographiques des stations de prélèvement « terre ferme ».

N° de la station de prélèvement	X (métrique)	Y (métrique)
1	486353,434	4068135,523
2	486376,189	4068152,721
3	486394,974	4068164,098
4	486369,045	4068115,15
5	486390,741	4068128,115
6	486406,88	4068137,64
7	486389,153	4068089,75

N° de la station de prélèvement	X (métrique)	Y (métrique)
8	486406,087	4068101,921
9	486424,607	4068118,06
10	486405,557	4068068,319
11	486424,343	4068079,96
12	486442,335	4068094,777

### 1.1.2 Prélèvement en mer « benne preneuse »

Dans ce cas, on a un total de 34 échantillons donc 34 courbe granulométrique (annexe 3) qui vont nous servir à calculer la valeur de plusieurs paramètres et indices et de les représenter sous forme de carte ou de graphique.

Ce travail a été divisé de la manière suivante :

- Analyse de la fraction fine
- Analyse de la fraction grossière
- Analyse modale

#### 1.1.2.1 Analyse de la fraction fine

Après l'analyse au laboratoire le pourcentage de la fraction fine de chaque échantillon a été obtenu et présenté sous forme de carte les résultats obtenus sont les suivants :

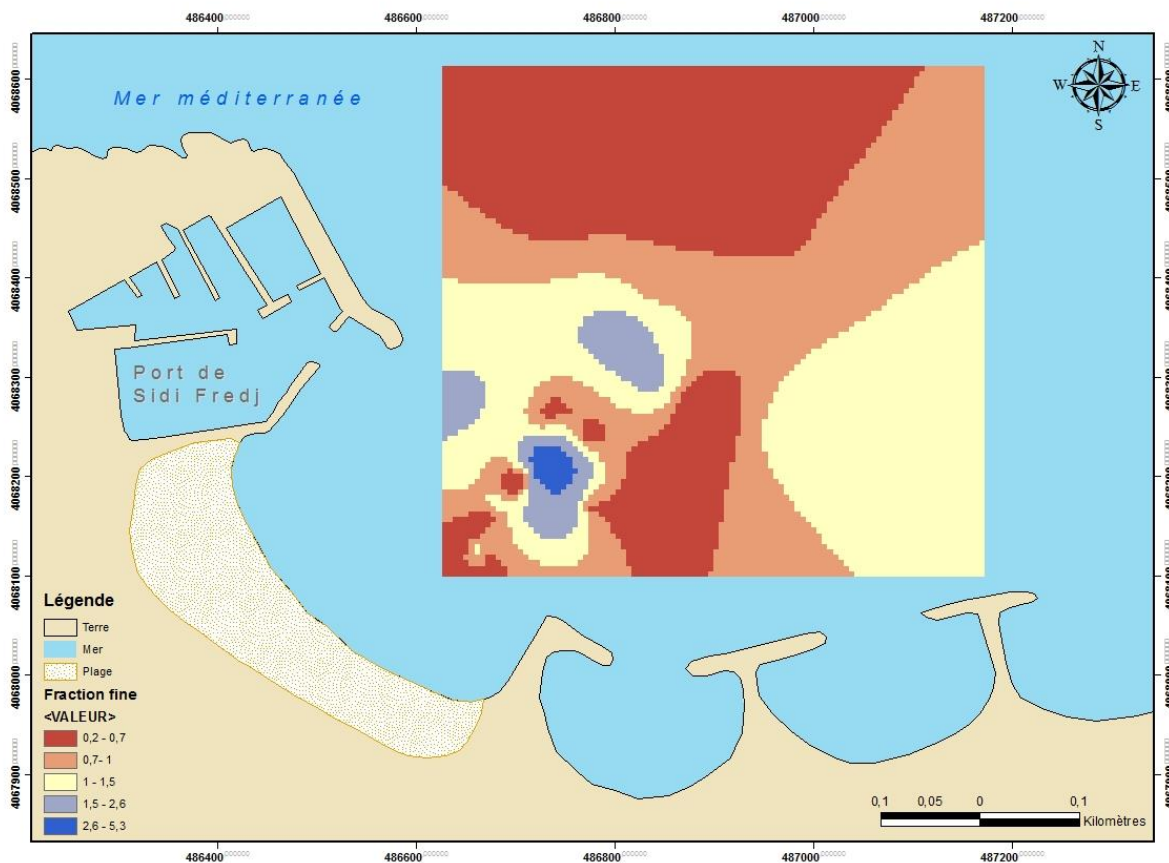


Figure 4.2 : Répartition des pérites dans la zone d'étude.

Commentaire :

A travers les cartes (figure 4.2 et figure annexe 2), on constate que le pourcentage des pélites dans les échantillons est généralement faible cela est due en partie au remaniement sédimentaire et que la fraction fine diminue vers le large. Cette dernière est répartie avec une teneur de 0 à 1% à 6m de profondeurs (faible pourcentage de pélites) et de 0 à 5,5% à 2m de profondeurs avec des régions de 5 à 5.5% de pélites (fort pourcentage de pélites). On observe près de la cote plus exactement près du port de Sidi Fredj (petites profondeurs) une teneur en éléments fin de 1 à 3% cela peut être expliqué par l'influence de l'énergie de la houle sur la dynamique sédimentaire.

**1.1.2.2 Analyse de la fraction grossière**

## 1.1.2.2.1 Les paramètres de position

## 1.1.2.2.1.1 Les quantiles

D10 (décile inférieur) :

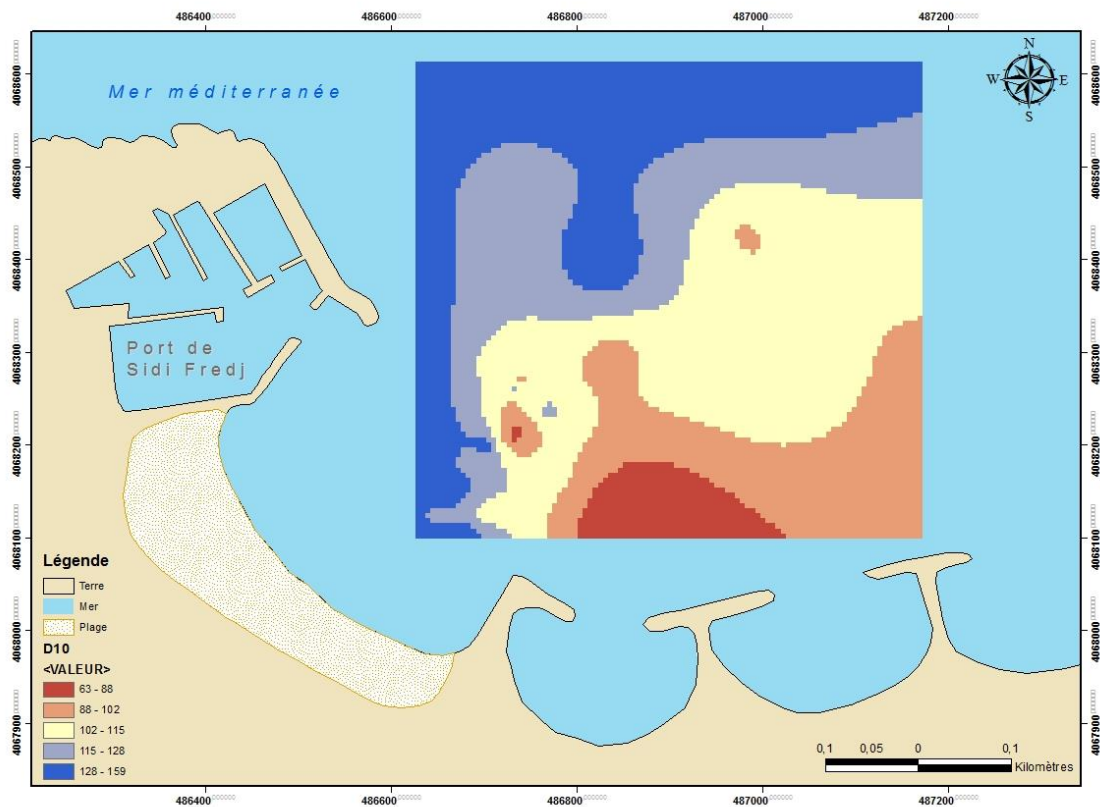


Figure 4.3 : Répartition des D10 dans la zone d'étude.

Commentaire :

Les cartes (figure 4.3 et figure annexe 2) permettent de nous renseigner sur la couverture sédimentaire de la zone, à partir de ces figures on peut constater qu'il y a une certaine dominance des diamètres inférieurs à 120 $\mu$ m. On remarque une variation des déciles inférieure (D10) de la cote vers le large avec une plus large gamme de diamètre de 60 à 140 $\mu$ m à 2m de profondeur par rapport à 6m de profondeur (120 et 150 $\mu$ m).

Q1 (quartile inférieur) :

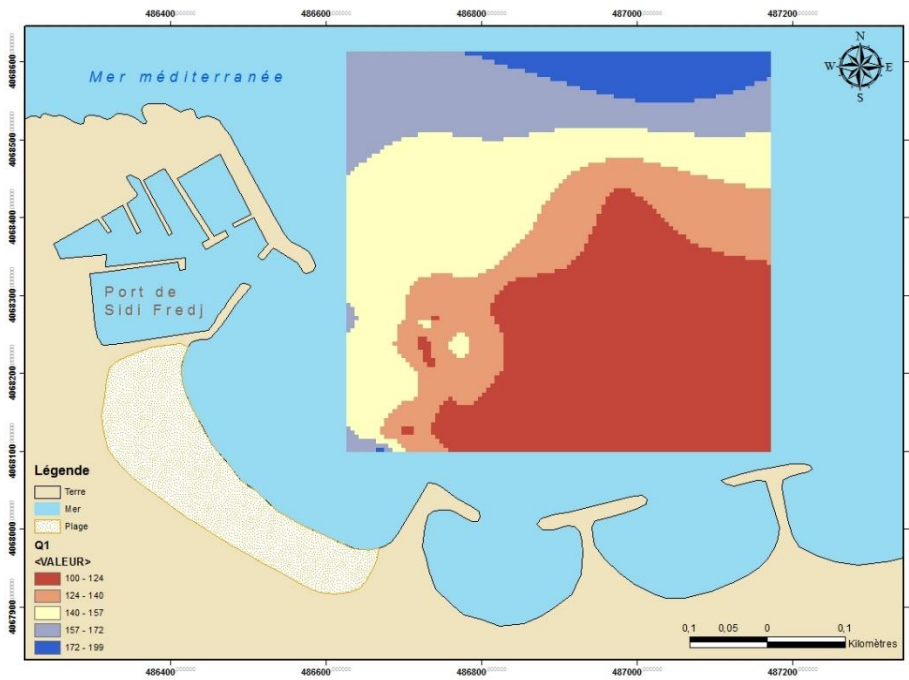


Figure 4.4 : Répartition des Q1 dans la zone d'étude.

Commentaire :

A partir des cartes (figure 4.4 et figure annexe 2), on peut constater une variation des quartiles inférieur sous forme de couche, à 2m de profondeur le diamètre varie entre 100 à 170 $\mu$ m, à 6m de profondeur le diamètre varie entre 140 à 180 $\mu$ m.

D50 (médiane) :

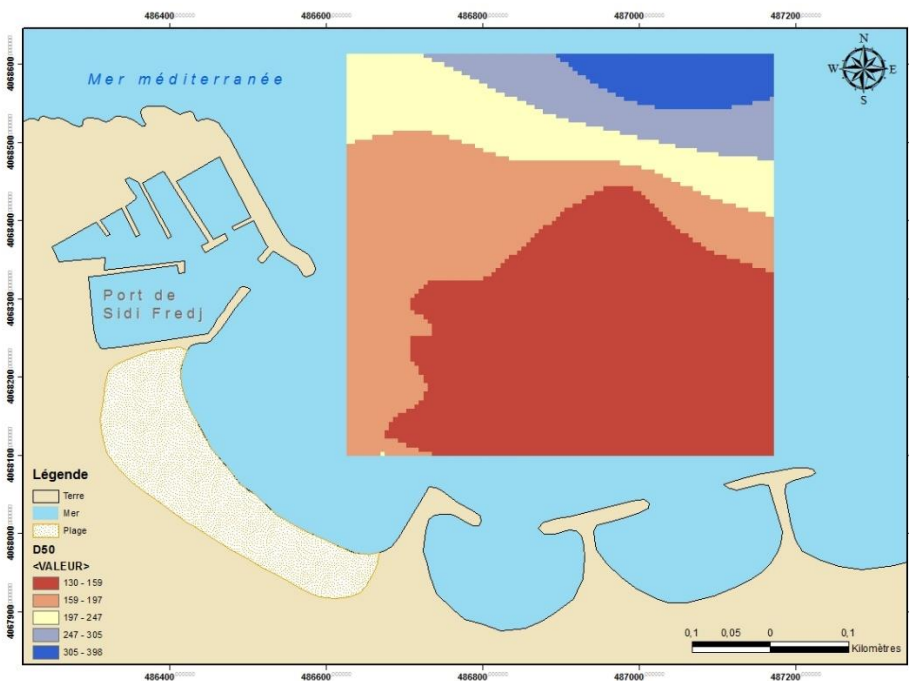


Figure 4.5 : Répartition des D50 dans la zone d'étude.

Commentaire :

Les cartes (figure 4.5 et figure annexe 2) permettent de nous renseigner sur les médianes obtenues des courbes granulométriques des échantillons avec une dominance des médianes de 130 à 190 $\mu\text{m}$ , on remarque des couches plus ou moins symétrique à l'extrémité de la zone de prélèvement. La variation des médianes est de l'ordre de 130 à 200 $\mu\text{m}$  à 2m de profondeur et de 250 à 310  $\mu\text{m}$  pour 6m de profondeur.

## Q3 (quartile supérieur) :

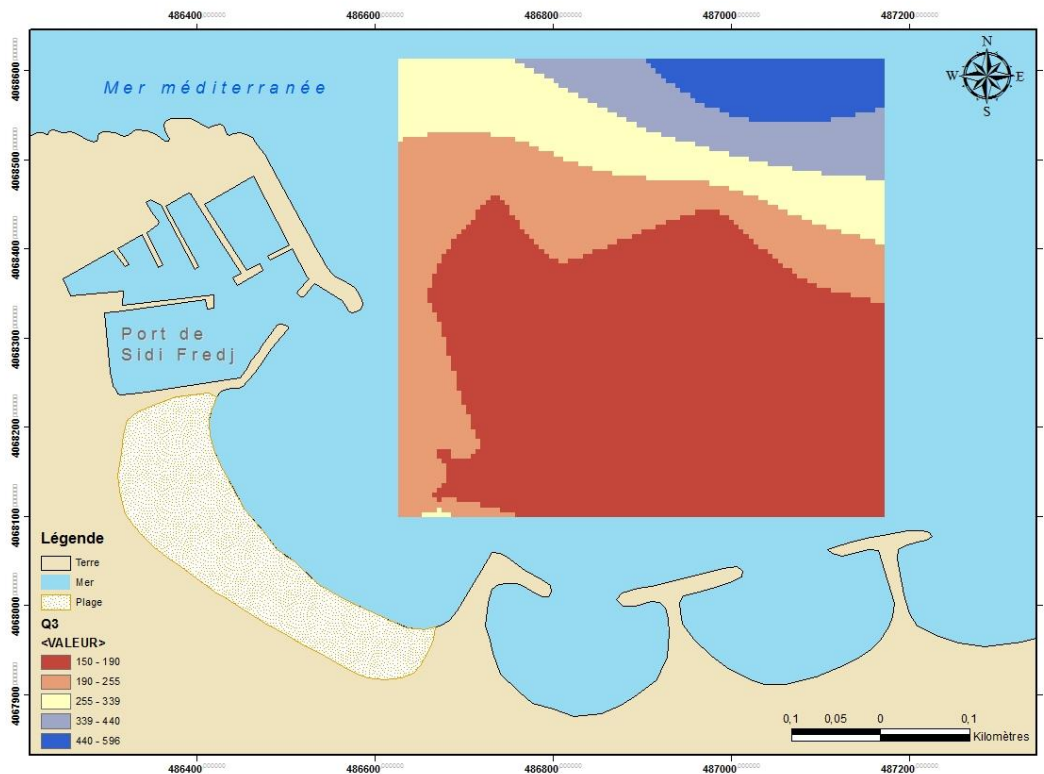


Figure 4.6 : Répartition des Q3 dans la zone d'étude.

Commentaire :

A partir des cartes (figure 4.6 et figure annexe 2), on peut remarquer la dominance des diamètres quartile supérieur de 140 à 290 $\mu\text{m}$ , les Q3 apparaissent sous forme de couche à l'extrémité de la zone de prélèvement, le diamètre pour une profondeur de 6m est compris entre 300 et 400 $\mu\text{m}$ .

## D90 (décile supérieur) :

Commentaire :

On remarque à partir des cartes (figure 4.7 et figure annexe 2) que le D90 présente une dominance du diamètre 150 à 300 $\mu\text{m}$ , le décile supérieure est plus ou moins sous forme de couche à l'extrémité de la zone de prélèvement, le diamètre à 2m de profondeur varie de 150 à 400 $\mu\text{m}$ .

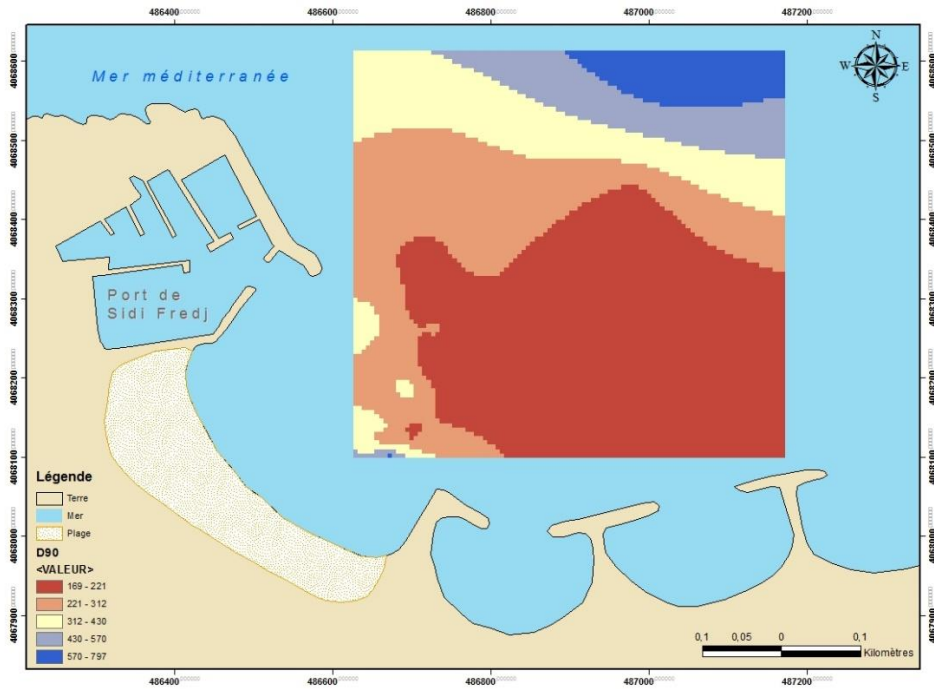


Figure 4.7 : Répartition des D90 dans la zone d'étude.

#### 1.1.2.2.1.2 Les courbes granulométriques

##### Aspect général des courbes cumulatives

L'ensemble des courbes cumulatives et des histogrammes (fréquence d'apparition), en général sont redressées ce qui témoigne d'une homogénéité des sédiments analysés.

##### 1) Courbes unimodales :

Indiquent la présence d'un seul stock sédimentaire exposé par un seul mode granulométrique représentatif du sédiment.

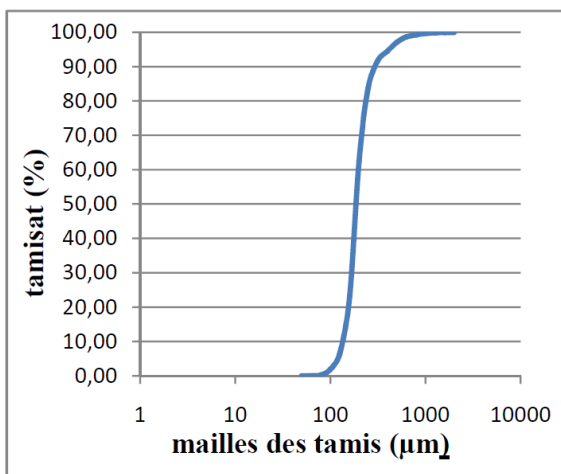


Figure 4.8 : Courbe unimodale.

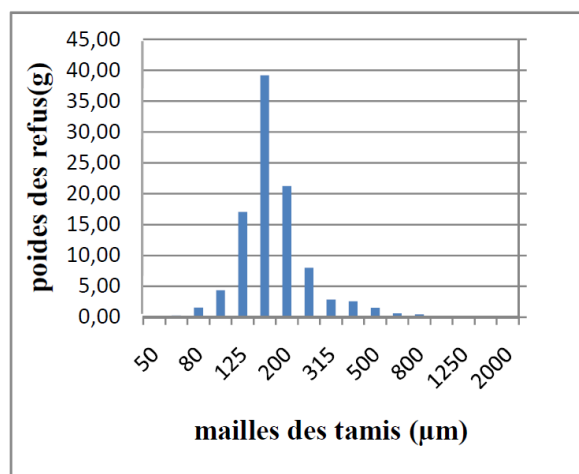


Figure 4.9 : Histogramme unimodale.

2) Courbes bimodales :

Indique la présence de deux stocks sédimentaires au sein d'une même population dynamique, deux modes représentatifs caractérisent ce type de sédiment.

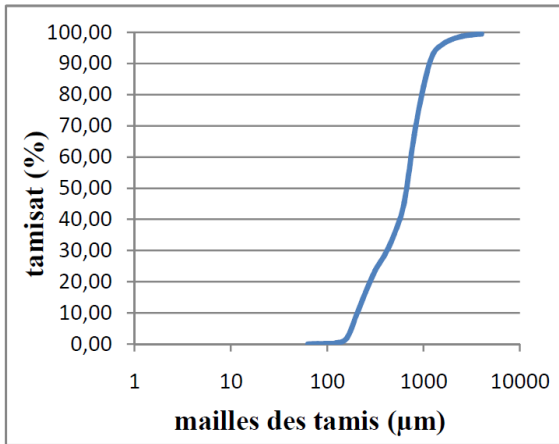


Figure 4.10 : Courbe bimodale.

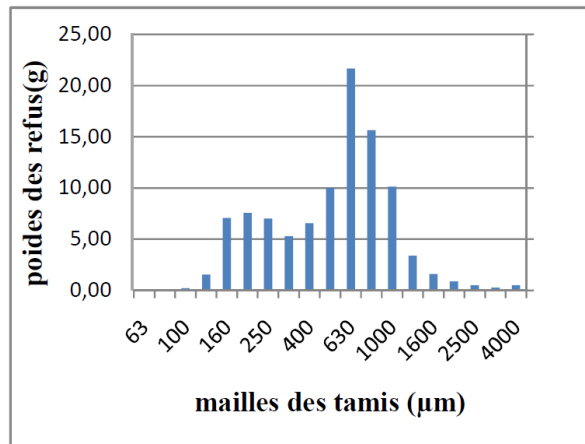


Figure 4.11 : Histogramme bimodale.

3) Courbes plurimodales :

Elles rendent compte de la présence de plusieurs stocks sédimentaires au sein d'une même population dynamique. Elles sont surtout représentatives du sédiment grossier.

Cette hétérogénéité serait due à la nature des sédiments grossiers, où le mode le plus grossier est représenté par des coquilles entières ou par des biocalcites ou par des petits galets. Ces courbes sont marquées par la présence de plusieurs modes granulométriques représentatifs du sédiment.

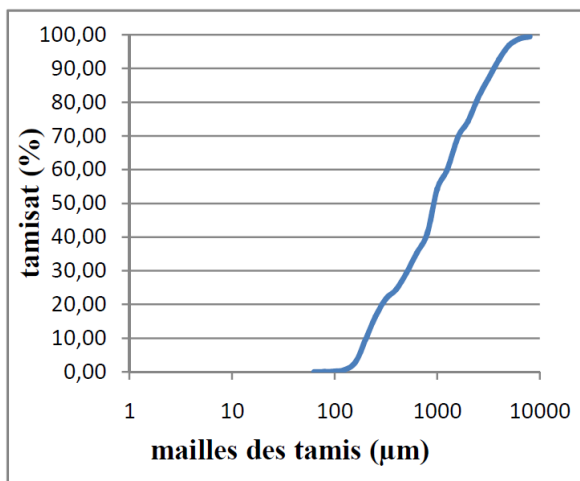


Figure 4.12 : Courbe plurimodale.

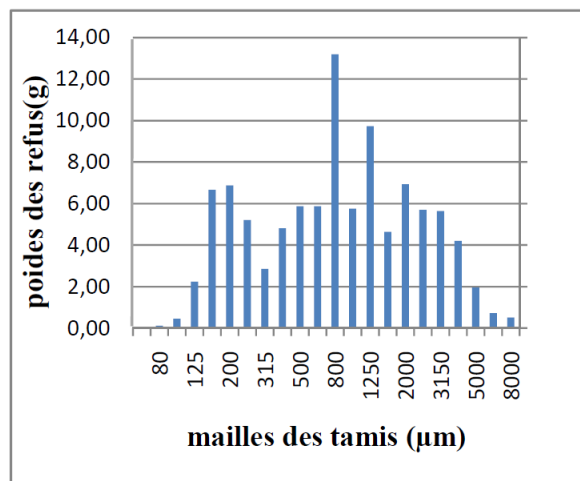


Figure 4.13 : Histogramme plurimodale.

1.1.2.2.2 Les indices granulométriques

1.1.2.2.2.1 Classification des indices granulométrique

Lors de cette étude plusieurs indices ont été calculés puis classer selon un classement précis, parmi ces indices on peut citer :

Indice central (diamètre moyen) :

Les différentes limites utilisées par FOLK 1954 sont les suivantes :

Tableau 4.2 : Classification de l'indice central par FOLK 1954.

Limite de $Mz$	Interprétation
$Mz < -6$	Galet
$-6 < Mz < -2$	Granule
$-2 < Mz < -1$	Sable très grossier
$-1 < Mz < 0$	Sable grossier
$0 < Mz < 1$	Sable moyen
$1 < Mz < 2$	Sable fin
$2 < Mz < 3$	Sable très fin
$3 < Mz < 3,98$	Vase

Indice de dispersion (indice de classement) :

Les différents stades du triage utilisés par FOLK 1954 sont les suivantes :

Tableau 4.3 : Classification de l'indice de dispersion par FOLK 1954.

Limite de $Si$	Interprétation
$Si < 0,35$	Très bien trié
$0,4 < Si < 0,5$	Bien trié
$0,5 < Si < 0,7$	Modérément bien trié
$0,7 < Si < 1$	Modérément trié
$1 < Si < 2$	Mal trié
$2 < Si < 4$	Très mal trié
$4 < Si$	Extrêmement mal trié

Indice d'asymétrie (Skewness) :

Les limites et la nomenclature utilisées sont les suivantes :

Tableau 4.4 : Classification de l'indice d'asymétrie par FOLK 1954.

Limite de $Ski$	Interprétation
$-1 < Ski < -0,3$	Asymétrie très négative
$-0,3 < Ski < -0,1$	Asymétrie négative
$-0,1 < Ski < 0,1$	Asymétrie
$0,1 < Ski < 0,3$	Asymétrie positive
$0,3 < Ski < 1$	Asymétrie très positive

#### 1.1.2.2.2.2 Résultat des indices granulométriques

Après avoir calculé et classer les différents indices granulométrique, on obtient les résultats suivants :

Tableau 4.5 : Positionnement des stations et calcul des indices granulométrique.

N° Station	X (DD)	Y (DD)	X (métrique)	Y (métrique)	φ5	φ16	φ50	φ84	φ95
1	2,85046667	36,76295	486736,98	4068267,98	3,40	3,06	2,74	2,47	2,12
2	2,84998333	36,7622	486693,71	4068184,85	3,18	2,94	2,47	1,67	1,00
3	2,8495	36,761667	486650,48	4068125,75	3,18	2,64	2,60	2,25	1,32
4	2,84928333	36,763017	486631,38	4068275,54	3,06	2,79	2,40	1,51	1,00
5	2,84925	36,763433	486628,48	4068321,76	3,00	2,79	2,56	2,18	2,00
6	2,85016667	36,762317	486710,1	4068197,76	3,06	2,79	2,56	2,32	2,06
7	2,85046667	36,7647	486737,29	4068462,1	3,18	2,84	2,60	2,32	2,12
8	2,85153333	36,764033	486832,37	4068388	3,18	2,79	2,56	2,32	2,12
9	2,85116667	36,76365	486799,58	4068345,53	3,25	2,79	2,56	2,32	2,06
10	2,85041667	36,762917	486732,51	4068264,29	3,25	2,60	2,60	2,25	1,67
11	2,85013333	36,762317	486707,12	4068197,77	3,18	2,79	2,56	2,15	1,67
12	2,84976667	36,762	486674,34	4068162,69	3,18	2,79	2,56	2,40	2,03
13	2,8496	36,761767	486659,42	4068136,83	3,18	2,64	2,47	1,67	1,00
14	2,8494	36,762333	486641,67	4068199,72	3,06	2,79	2,56	2,25	2,00
15	2,8496	36,761667	486659,41	4068125,74	3,25	2,89	2,60	2,18	1,64
16	2,85086667	36,762067	486772,53	4068169,93	3,32	2,74	2,74	2,47	2,03
17	2,85175	36,761567	486851,28	4068114,35	4,18	3,64	2,74	2,56	2,00
18	2,85365	36,762733	487021,06	4068243,5	3,47	3,18	2,79	2,56	2,40
19	2,85531667	36,763367	487169,92	4068313,53	3,56	3,25	2,79	2,51	2,03
20	2,8347	36,763188	487025,82	4068612,46	2,84	2,60	1,32	0,62	0,00
21	2,85005	36,76165	486699,57	4068123,83	3,32	3,06	2,69	2,40	2,00
22	2,84975	36,76145	486672,76	4068101,68	2,74	2,56	2,32	1,06	0,74
23	2,85073333	36,762	486760,62	4068162,56	3,32	3,06	2,74	2,43	2,15
24	2,85211667	36,763017	486884,26	4068275,14	3,40	-3,18	2,79	2,51	2,15
25	2,85311667	36,762783	486973,47	4068249,12	3,32	3,12	2,74	2,56	2,32
26	2,85318333	36,764417	486979,7	4068430,3	3,56	3,25	2,84	2,51	2,15
27	2,85165	36,763183	486842,64	4068293,7	3,56	3,25	2,94	2,64	2,47
28	2,85081667	36,762667	486768,17	4068236,5	3,25	2,94	2,64	2,36	2,03
29	2,84983333	36,7621	486680,31	4068173,78	3,32	3,18	2,64	2,36	1,67
30	2,84975	36,7616	486672,78	4068118,32	3,25	3,06	2,64	2,32	2,00
31	2,85023333	36,762	486715,99	4068162,63	3,25	2,64	2,64	2,32	2,00
32	2,85041667	36,76245	486732,43	4068212,52	3,25	3,32	2,79	2,56	2,32
33	2,85033333	36,762733	486725,04	4068243,96	3,64	3,25	2,74	2,47	2,06
34	2,85011667	36,763117	486705,77	4068286,51	3,32	3,06	2,64	2,40	2,03

Tableau 4.6 : Calcul des indices granulométrique et interprétation des résultats.

N° Station	Mz	Si	Ski	Diamètre moy	Tri	Asymétrie
1	2,76	-0,34	-0,07	Sable très fin	Très bien trié	Asymétrie
2	2,36	-0,65	0,31	Sable très fin	Très bien trié	Asymétrie très positive
3	2,50	-0,38	0,57	Sable très fin	Très bien trié	Asymétrie très positive
4	2,23	-0,63	0,37	Sable très fin	Très bien trié	Asymétrie très positive
5	2,51	-0,30	0,17	Sable très fin	Très bien trié	Asymétrie positive
6	2,55	-0,27	0,00	Sable très fin	Très bien trié	Asymétrie
7	2,59	-0,29	-0,01	Sable très fin	Très bien trié	Asymétrie
8	2,55	-0,28	-0,08	Sable très fin	Très bien trié	Asymétrie
9	2,55	-0,30	-0,08	Sable très fin	Très bien trié	Asymétrie
10	2,48	-0,33	0,59	Sable très fin	Très bien trié	Asymétrie très positive
11	2,50	-0,39	0,22	Sable très fin	Très bien trié	Asymétrie positive
12	2,58	-0,27	-0,13	Sable très fin	Très bien trié	Asymétrie négative
13	2,26	-0,58	0,50	Sable très fin	Très bien trié	Asymétrie très positive
14	2,53	-0,29	0,10	Sable très fin	Très bien trié	Asymétrie
15	2,56	-0,42	0,18	Sable très fin	Très bien trié	Asymétrie positive

N° Station	Mz	Si	Ski	Diamètre moy	Tri	Asymétrie
16	2,65	-0,26	0,55	Sable très fin	Très bien trié	Asymétrie très positive
17	2,98	-0,60	-0,50	Sable très fin	Très bien trié	Asymétrie très négative
18	2,84	-0,32	-0,27	Sable très fin	Très bien trié	Asymétrie négative
19	2,85	-0,42	-0,14	Sable très fin	Très bien trié	Asymétrie négative
20	1,51	-0,92	-0,18	Sable fin	Très bien trié	Asymétrie négative
21	2,71	-0,37	-0,04	Sable très fin	Très bien trié	Asymétrie
22	1,98	-0,68	0,64	Sable fin	Très bien trié	Asymétrie très positive
23	2,74	-0,33	-0,02	Sable très fin	Très bien trié	Asymétrie
24	0,71	1,24	-0,54	Sable moyen	Mal trié	Asymétrie très négative
25	2,80	-0,29	-0,26	Sable très fin	Très bien trié	Asymétrie négative
26	2,87	-0,40	-0,08	Sable très fin	Très bien trié	Asymétrie
27	2,95	-0,32	-0,07	Sable très fin	Très bien trié	Asymétrie
28	2,65	-0,33	-0,01	Sable très fin	Très bien trié	Asymétrie
29	2,73	-0,46	-0,06	Sable très fin	Très bien trié	Asymétrie
30	2,67	-0,37	-0,05	Sable très fin	Très bien trié	Asymétrie
31	2,54	-0,27	0,51	Sable très fin	Très bien trié	Asymétrie très positive
32	2,89	0,16	-0,90	Sable très fin	Très bien trié	Asymétrie très négative
33	2,82	-0,43	-0,23	Sable très fin	Très bien trié	Asymétrie négative
34	2,70	-0,36	-0,15	Sable très fin	Très bien trié	Asymétrie négative

1.1.2.2.3 Interprétation des résultats

Diamètre moyen Mz :

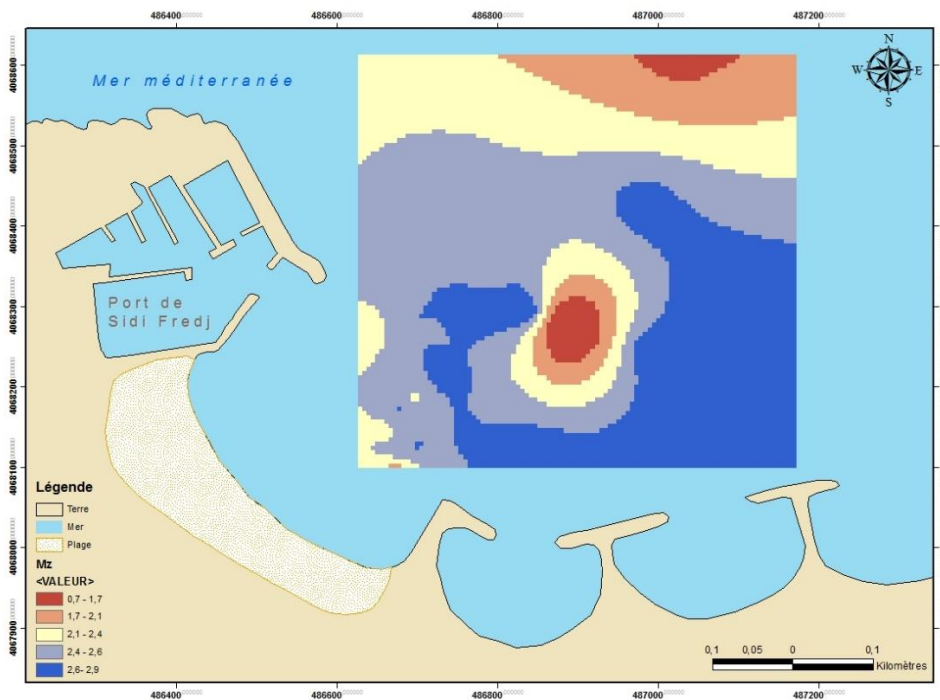


Figure 4.14 : Répartition du diamètre moyen dans la zone d'étude.

Commentaire :

A partir des cartes (figure 4.14 et figure annexe 2), on peut constater qu'il y a une prédominance du sable très fin (2-3) qui occupe la majeure partie de la zone. Le diamètre moyen est sous forme circulaire pour le sable moyen et le sable fin. A 6m de profondeur le diamètre moyen est plus du sable fin.

Indice de classement Si :

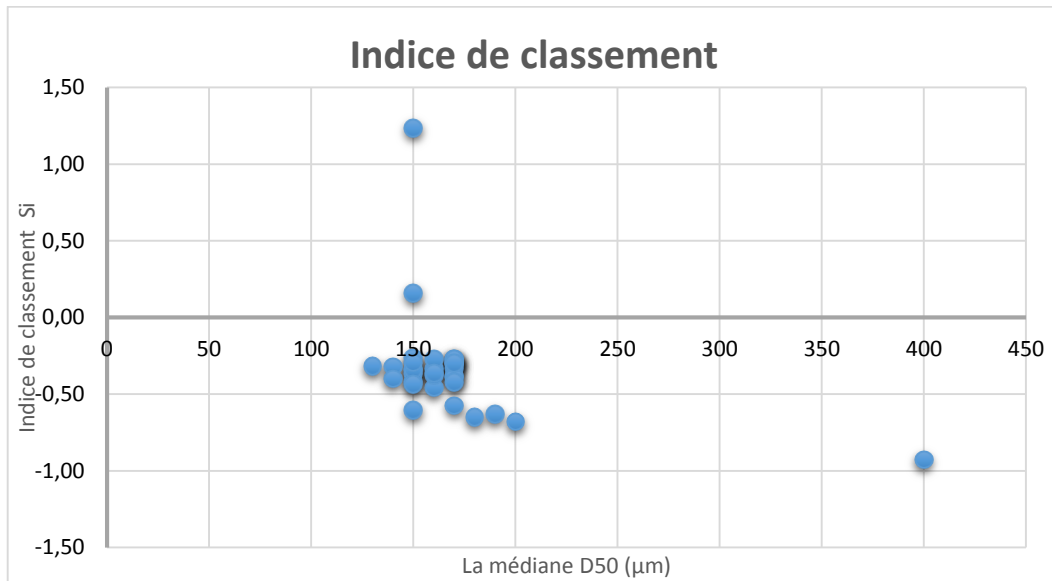


Figure 4.15 : Relation entre l'indice de classement et la médiane D50.

Commentaire :

La figure 4.15 permet de constater que tous des échantillons de notre zone d'étude ont un  $Si < 0,35$  à l'exception de l'échantillon 24 donc le sédiment est très bien classé, ceci peut être due à l'énergie hydrodynamique de la région.

Indice d'asymétrie Ski :

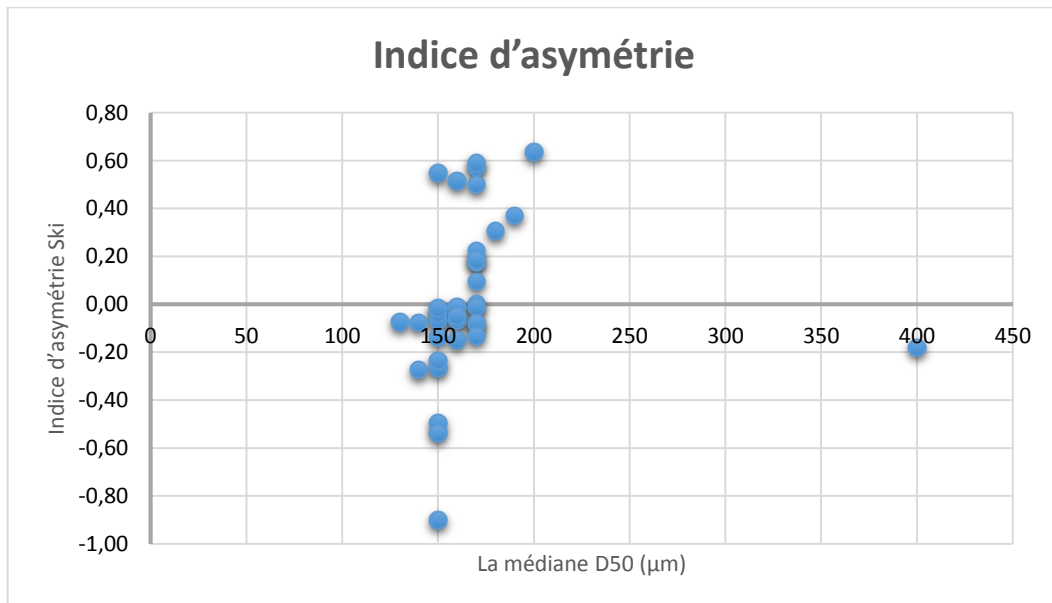


Figure 4.16 : Relation entre l'indice d'asymétrie et la médiane D50.

Commentaire :

A partir de la figure 4.16, on remarque que la plus grande partie des échantillons sont situés dans un intervalle  $Ski (0,1;-0,1)$  cela nous informe que les échantillons sont plus ou moins asymétriques.

1.1.2.3 Analyse modale

Le mode représente la dimension la plus significative de la distribution granulométrique donc son étude est primordiale.

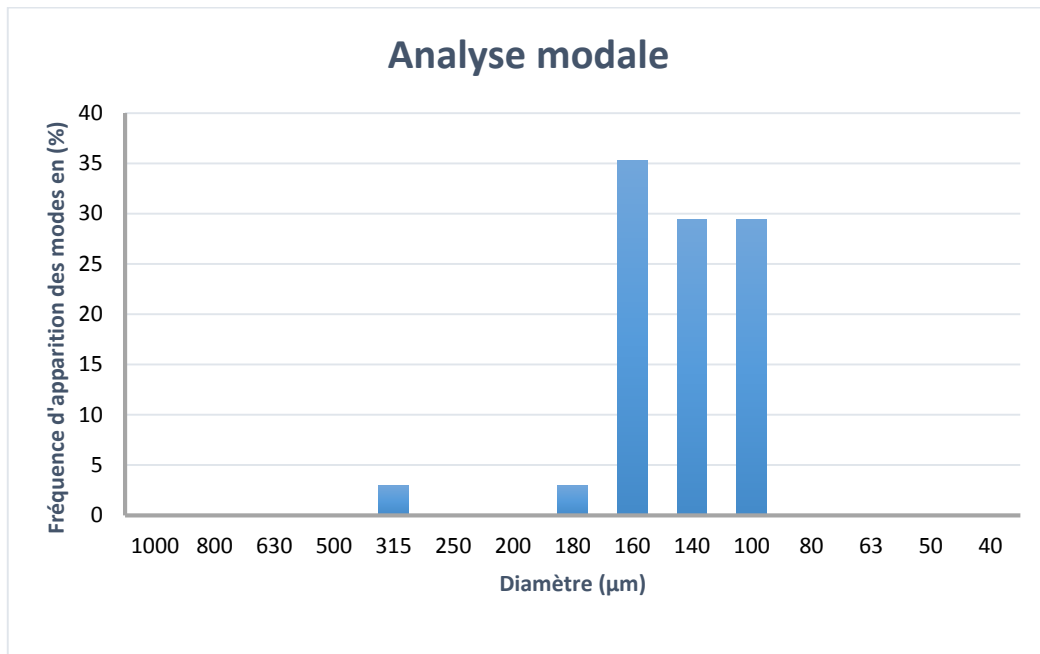


Figure 4.17 : Histogramme d'apparition des modes les plus représentatifs des échantillons.

Commentaire :

Analyse modale (figure 4.17) nous a permis de distinguer le mode qui est de 160µm avec un pourcentage de 35,3% pour une meilleur compréhension, les résultats ont été représenté sous forme de carte (figure 4.18 et figure annexe 2).

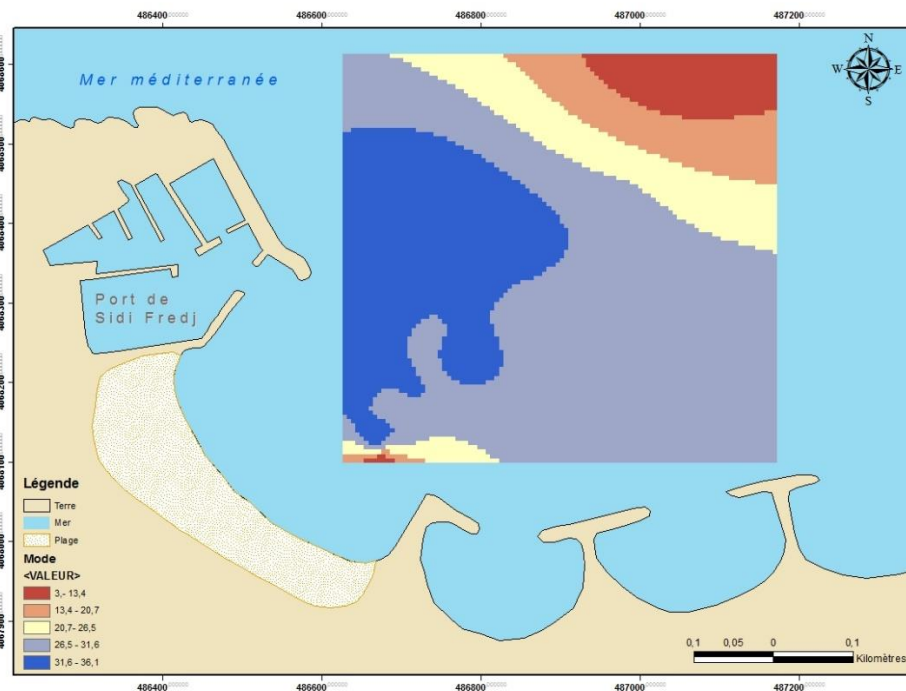


Figure 4.18 : Répartition du mode dans la zone d'étude.

Commentaire :

On remarque une prédominance du mode 160 $\mu$ m dans la zone de prélèvement avec un pourcentage de 32 à 35%.

**1.1.3 Prélèvement a la cote « piège à sédiment »**

Dans ce cas, ce n'est pas tous les échantillons qui ont subi une étude granulométrique seulement les échantillons qui ont un poids inférieur à 150g ont été tamisés, les échantillons ont rouge dans le tableau 4.7 représente les échantillons tamisés donc un total de 18 échantillons dans 10 ont été tamisés.

Tableau 4.7 : Poids des échantillons prélevés à la cote « piège à sédiment ».

Profil	N° Nacelles	Poids (g)	
		Poids humide (g)	Poids sec (g)
Profil 1			
Piège 1	Nac 1	4550	
	Nac 2	4630	
	Nac 4	61,57	53,08
Piège 2	Nac 1	5270	
	Nac 2	2370	
Piège 3	Nac 1	115,69	103,1
	Nac 2	16,56	14,63
	Nac 3	1650	
Profil 2			
Piège 4	Nac 1	690	
	Nac 2	70,6	63,37
	Nac 3	2190	
	Nac 4	5,73	5,25
Piège 5	Nac 1	730	
	Nac 2	144,96	126,18
	Nac 3	51,11	43,99
	Nac 4	23,57	21,3
Profil 3 (Courant de retour)			
Piège 6	Nac 1	5450	
	Nac 2	210	

N.B : P1P1N1 est le diminutif du profil 1 piège 1 nacelle 1.

**1.2 ÉTUDE CALCIMÉTRIQUE**

L'étude calcimétrique concerne les échantillons prélevés sur la plage de Sidi-Fredj « terre ferme » donc (12 échantillons).

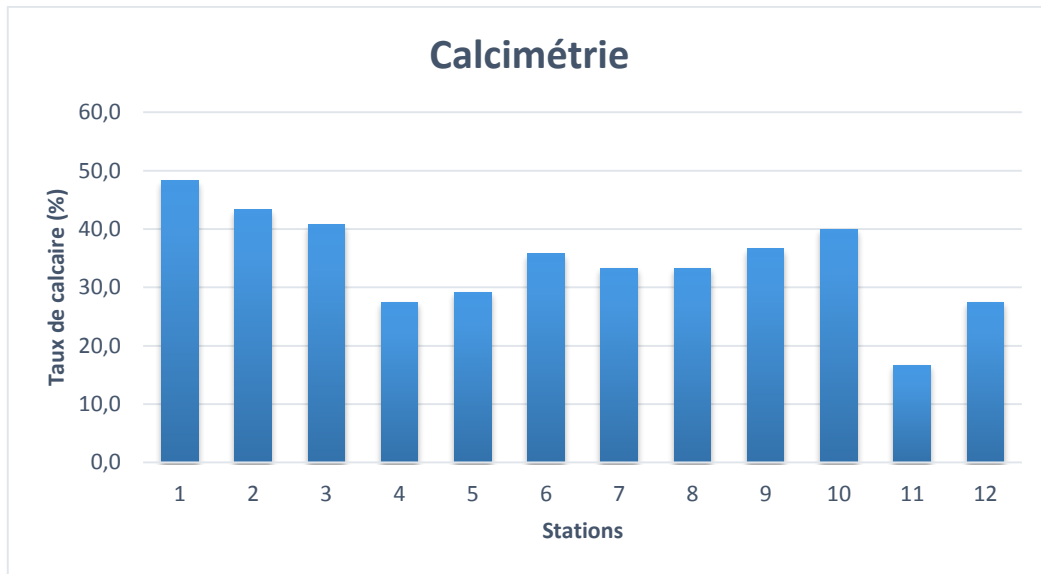


Figure 4.19 : Pourcentage des carbonates dans les sédiments de Sidi Fredj.

**Commentaire :**

Les teneurs des carbonates des échantillons prélevés de la zone d'étude varient entre un pourcentage de 48,3% pour la station 1 et un pourcentage de 16,7% pour la station 2 cela nous permet de constater que le taux de calcaire est représentatif dans le sédiment de Sidi Fredj.

**1.3 ETUDE DE L'ÉQUIVALENT DE SABLE**

Les échantillons concernés par l'étude de l'équivalent de sable sont les échantillons (2-3-4-5-6-7-8-12) du prélèvement sur la plage de Sidi-Fredj « terre ferme » donc 8 échantillons.

Les résultats obtenus de l'étude de l'équivalent de sable sont interprété selon le tableau 4.8.

Tableau 4.8 : Classification de l'équivalent de sable.

Valeur de l'équivalent de sable (ES)	Nature et qualité du sable
ES < 65%	Sable argileux
65% < ES < 75%	Sable légèrement argileux
75% < ES < 85%	Sable propre à faible proportion de fines argileuses
ES > 85%	Sable très propre

A partir du tableau, on peut interpréter les résultats de l'équivalent de sable (ES) de la manière suivante :

Tableau 4.9 : Interprétation des résultats de l'équivalent de sable.

N° Station	Poids (g)	H.totale (cm)	H.sable (cm)	ES (%)	Interprétation
2	110	10,5	10,2	97,14	Sable très propre
3	110	10,2	9,9	97,06	Sable très propre
4	110	9,2	9,1	98,91	Sable très propre
5	110	9,8	9,6	97,96	Sable très propre
6	110	9,5	8,9	93,68	Sable très propre
7	110	9,4	9,3	98,94	Sable très propre
8	110	9,2	8,9	96,74	Sable très propre
12	110	9,45	9,15	96,83	Sable très propre

N.B : H.totale est la hauteur totale et H.sable est la hauteur du sable.

## 2 ETUDE BATHYMETRIQUE

L'étude bathymétrique nous a permis d'obtenir la carte des isobathes de notre zone. À partir de cette carte on a pu tracer les différents profils bathymétrique de la zone d'étude (annexe 2).

Le logiciel surfer 11 nous a permis de mettre en place une grille bathymétrique et de représenter les différentes valeurs sous formes d'une carte d'isobathe (figure 4.20). Les différentes méthodes énumérées dans le chapitre précédent nous ont permis d'obtenir la carte bathymétrique suivante (figure 4.20).

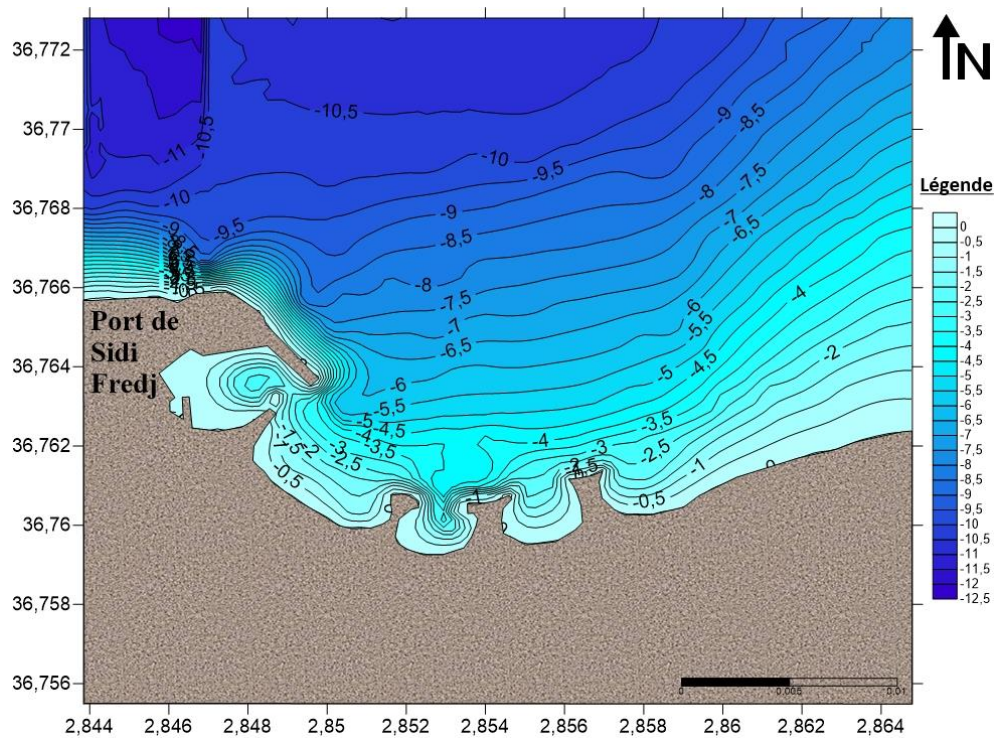


Figure 4.20 : Carte bathymétrique de Sidi-Fredj.

On remarque à partir de la figure 4.20 l'influence des ouvrages implantés (épaves) sur la morphologie du fond, cela peut se voir par une diminution rapide de la profondeur au niveau Est de la zone par rapport à l'Ouest de la zone pour une meilleure observation plusieurs profils bathymétrique ont été tracés à partir de la carte bathymétrique, les profils en question peuvent être observés en annexe (2).

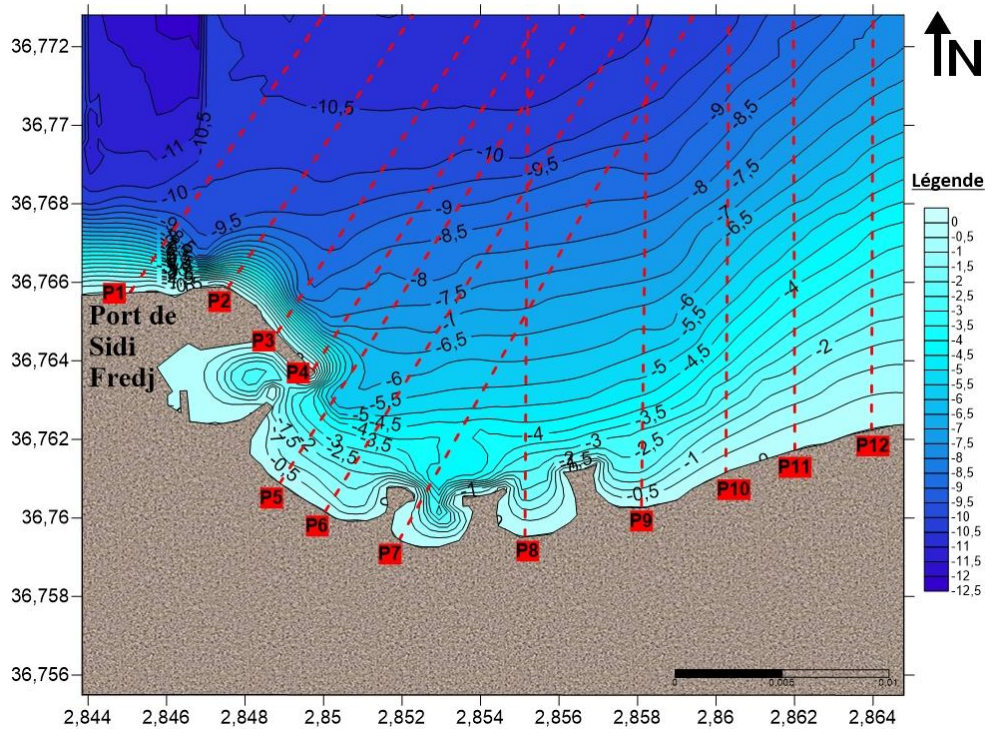


Figure 4.21 : Carte bathymétrique et les différents profils de Sidi-Fredj.

### 3 ETUDE DE L'EVOLUTION DU TRAIT DE COTE

#### 3.1 UTILISATION DU THEODOLITE

L'utilisation du théodolite nous a permis d'obtenir le trait de côte actuelle, les mesures récoltées sur le terrain sont traitées de manière à tracer le trait de côte.

Sachant que la distance a été calculée selon l'équation suivante :

$$D = (10 * L) * \cos^2(\Delta V)$$

D= Distance

L= Limite sup - Limite inf

$\Delta V$ = Angle vertical -  $90^\circ$

A partir de ces résultats, on trouve une échelle adéquate pour dessiner la carte, on scanne la carte dessine et donc on obtient le trait de côte.

L'échelle adéquate est de 1cm => 15m



Figure 4.22 : Dessin de la carte représentant le trait de côte mesuré.

Par la suite, on applique la même méthode pour la plage de l'hôtel Riad. Ces résultats fusionnée aux images satellitaires de Google earth vont nous permettre d'obtenir le trait de côte de la région (figure 4.23).

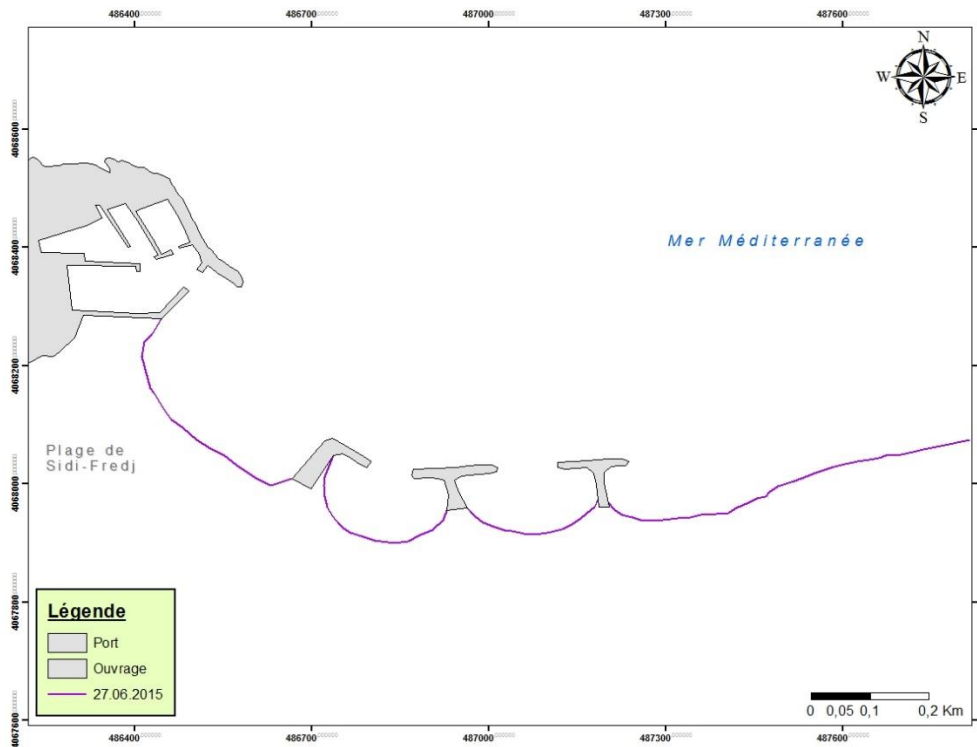


Figure 4.23 : Trait de côte de la zone de Sidi-Fredj.

### 3.2 ANALYSE DE LA VARIATION DE LA LIGNE DE RIVAGE

L'étude de la dynamique du trait de côte est primordiale pour connaître l'état de notre zone d'étude. Cette étude nous permet de fournir une preuve palpable de l'impact de la pression anthropique sur le littoral. Parmi les méthodes utilisées pour l'étude de la variation du trait de côte l'analyse diachronique qui a fait ces preuves.

Dans notre cas l'analyse diachronique de l'évolution du littoral a été abordée en comparant les fonds cartographiques disponibles à différentes échelles et les missions de photographies aériennes. Ces documents ont été sélectionnés d'une manière à couvrir l'ensemble du linéaire côtier. Les résultats les plus significatifs ont été obtenus en comparant des photos aériennes de 1972 et 2003, concernant le secteur de Sidi-Fredj, campagnes donc séparées par un laps de temps de 31 ans. Ces données issues de clichés et des cartes correspondantes ont été complétées par des levés de terrain. Par la suite, un ensemble d'imagerie satellitaire de 2002 à 2015 a été traité par le logiciel SIG « ARCGIS 10 » vient compléter l'analyse.

#### 3.2.1 Evolution du trait de côte de la plage Est de Sidi Fredj

Le littoral sableux de Sidi-Fredj, entre le port de plaisance à l'Ouest et la limite de Moretti à l'est, présente une morphologie caractéristique de plage de baie ouverte. Dans cette partie nous allons étudier la dynamiques sédimentaires du littoral de Sidi-Fredj au moyen d'une analyse diachronique des variations de la position du rivage en (1972 et 2008) d'une part et en (2002 et 2015) d'autre part. La digue portuaire, construite en 1969-1971 joue un rôle majeur dans l'évolution du rivage entre 1972 et 1993, car elle modifie la propagation de la houle (diffraction) ce qui induit un recul du rivage dans la partie centrale de la baie et une avancée du rivage contre son flanc. Les aménagements de Sidi-Fredj jouent un rôle déstabilisateur sur les dynamiques du littoral, qui cherche un nouvel équilibre en réadaptant la position de son rivage. L'évolution du trait de côte depuis 1970 a été retracée d'après les levées topographiques effectuées par (L.C.H.F 1970) et celles de 1993 et 1995 (Boutiba, 1996). Ainsi des photos aériennes prise par l'INCT jusqu'à 2003, des prélèvements du trait de côte au GPS en 2006-07. Puis des photos satellitaires de 2008. Sans oublier les imageries satellitaires de 2002, 2004, 2008, 2010, 2014 et 2015.

Donc pour résumer l'étude de l'évolution du trait de côte de Sidi Fredj a été divisé de la manière suivante :

- La première partie : Les variations de la ligne de côte de Sidi-Fredj entre 1972 et 2008 grâce à des levées topographiques et des photographies aériennes...etc.
- La deuxième partie : Les variations de la ligne de côte de Sidi-Fredj entre 2002 et 2015 grâce à des imageries satellitaires traitées par le logiciel ARCGIS 10.

##### 3.2.1.1 Les variations de la ligne de côte de Sidi-Fredj entre 1972 et 2008

L'analyse des cartes de l'évolution du trait de côte, nous a permis d'aboutir aux constatations suivantes (Mezouar, 2009).

Tableau 4.10 : Taux de recul et avance du trait de côte du littoral Sidi-Fredj (m/an) (Mezouar, 2009).

Profile	Taux de recul 1972-80 (m)	Vitesse de recul 1972-80 (m/an)	Taux de recul 1980-93 (m)	Vitesse de recul 1980-93 (m/an)	Taux de recul 1993-03 (m)	Vitesse de recul 1993-03 (m/an)	Taux de recul 2003-08 (m)	Vitesse de recul 2003-08 (m/an)	Taux de recul 1972-08 (m)	Vitesse de recul 1972-08 (m/an)
P1	-33,24	-4,15	-52,63	-4,04	-9,69	-0,96	-2,77	-0,55	-98,33	-2,73
P2	-36,01	-4,50	-54,01	-4,15	-10,24	-1,02	-3,04	-0,60	-103,30	-2,86
P3	-38,78	-4,84	-55,40	-4,26	-10,52	-1,05	-2,49	-0,49	-107,90	-2,97
P4	-40,44	-5,05	-60,94	-4,58	-11,08	-1,10	-2,21	-0,44	-114,67	-3,18
P5	-44,32	-5,54	-59,55	-4,68	3,04	0,30	-1,27	-0,25	-102,10	-2,83
P6	-43,21	-5,40	-63,70	-4,90	4,43	0,44	2,71	0,54	-99,77	-2,77
P7	-37,67	-4,70	-66,48	-5,11	5,81	0,58	3,87	0,77	-94,47	-2,62
P8	-30,47	-3,80	-54,48	-4,19	8,58	0,85	4,15	0,83	-72,22	-2,00
P9	-16,62	-2,07	-34,32	-2,64	7,47	0,74	7,75	1,55	-35,72	-0,99
P10	-24,93	-3,11	24,10	1,85	6,77	0,67	8,58	1,71	14,52	0,40
P11	-5,54	-0,69	33,24	2,55	4,15	0,41	2,77	0,55	34,62	0,96
P12	5,81	0,72	51,52	3,96	11,63	1,16	4,15	0,83	51,52	1,43
P13	8,86	1,10	56,78	4,36	18,00	1,80	5,10	1,02	88,54	2,46
P14	22,16	2,77	63,72	4,90	19,35	1,93	5,54	1,11	110,77	3,07
P15	28,25	3,53	72,02	5,54	22,16	2,40	8,30	1,66	130,73	3,63

NB : Les valeurs négatives indiquent un recul du trait de côte et les valeurs positives une avancée.



Figure 4.24 : Evolution de la ligne de cote de Sidi-Fredj entre 1972 et 2008 et position des profils (Mezouar, 2009).

A partir du tableau 4.10, quatre périodes peuvent être distingué :

1. Période de 1972 à 1980 :

Par rapport à la totalité du trait de côte examine entre le port de plaisance de Sidi-Fredj et la limite Est de Moretti, seul le trait de côte de la zone située entre la jetée secondaire du port et l'hôtel El Riad n'a connu que très peu de changement. Le reste a connu un recul de l'ordre de -5.54m (-0.69 m/an) au niveau du profil p11 et de -44.30m (-5.54 m/an) au niveau du profil p5. Cette comparaison fait ressortir aussi l'impact des activités humaines sur le littoral. En effet, la construction du port de Sidi-Fredj (1969-1971) a induit des variations très importantes tout au long du littoral Est de Sidi-Fredj. Si on prend comme référence le trait de côte de 1970 nous remarquons une avancée de l'ordre de 28.25m (+3.53 m/an) sur la partie adjacente à la jetée secondaire, mais cette valeur diminue progressivement en éloignant vers l'Est pour arriver à 5.81m (+0.72 m/an) au niveau du profil p12.

2. Période de 1980 à 1993 :

La construction du port de Sidi-Fredj en 1980 a joué un rôle primordial dans l'engraissement de la plage adjacente du port. En effet l'implantation du port a engendré des modifications, car l'ouvrage fait obstacle au transport longitudinal du sédiment et modifie la direction des vagues de secteur Nord-Ouest par diffraction entraînant l'érosion de la plage allant vers Moretti.

L'engraissement et la forme en arche de la plage proche du port sont dus à la rotation de la houle autour de l'extrémité de cette jetée principale, qui se traduit par la modification de sa direction et le transfert de son énergie vers la zone protégée. Ce phénomène de diffraction entraîne la création d'un courant, qui ramène les sables depuis la plage Est vers cette zone.

De ce fait, le secteur Ouest de la plage de Sidi-Fredj, protégé par la jetée principale du port, se comporte comme une « pompe », aspirant les sables du secteur Est qui provoque une énorme érosion de cette partie Est cette valeur augmente pour atteindre les 62m (+5.54 m/an). Cette accrétion dont les valeurs moyennes vont en décroissant vers l'Est pour atteindre 24m (+1.85 m/an) au niveau du profilé p11, même chose pour la frange littorale de Moretti, qui a connu un recul de son trait de côte de -66m (-4.64 m/an) pour la même période.

Etant donnée la réduction alarmante de la largeur des plages, des études de protection ont été effectuées afin de proposer des ouvrages de protection qui ont été implantés en 1985, ces derniers ont stoppé l'érosion mais défigure le paysage naturelle. Ainsi, les transits sédimentaires qui s'effectuaient le long du littoral ont été bloqués.

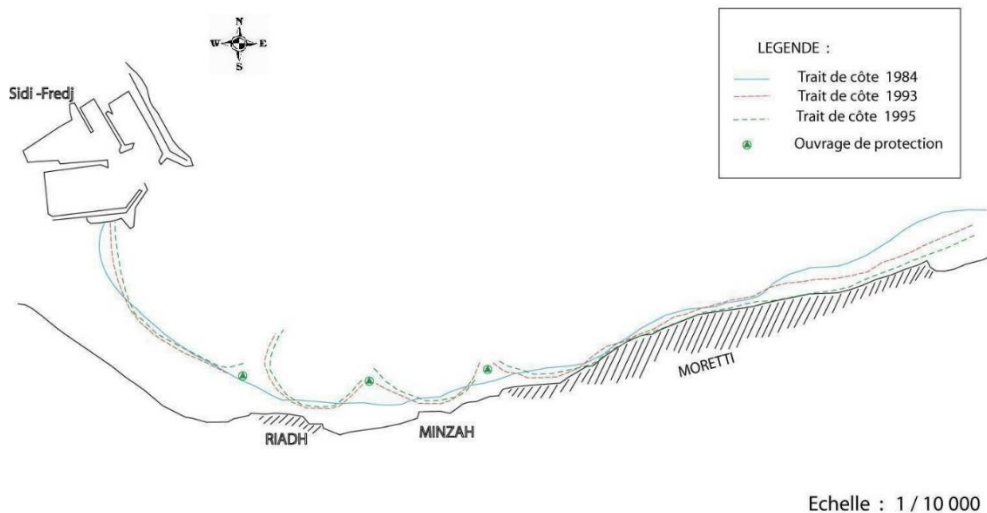


Figure 4.25 : Evolution du trait de côte entre 1984 -1995 (Boutiba, 1996).

### 3. Période de 1993 à 2003 :

Il en ressort que la tendance à la progradation s'est poursuivie au niveau de la plage voisine à la jetée sud du port, une avancée de plus de 22m (+2.4 m/an) a été constatée entre 1993 et 2003. Contrairement, le trait de côte devant Moretti a continué à reculer provoquant ainsi la disparition presque totale de la plage dans ce secteur en 1995 (le front de mer de Moretti a vu son trait de côte reculer de 9 à 11m (-0.96 m/an et -1.10 m/an) durant la période de 1993 à 2001). A l'emplacement des ouvrages de protection, des plages en forme d'alvéole se sont reconstituées au détriment du trait de côte situé dans l'axe de la passe qu'a connu localement une érosion de l'ordre 5m.

### 4. Période de 2003 à 2008 :

Le taux d'avancée de la ligne de rivage à partir de 2003 est de 8m soit (1.66 m/an) au niveau de la partie gauche. La progression de la plage s'est poursuivie au cours de la période de 1972 à 2008 et le trait de côte a continué de progresser lui aussi vers la mer. Par contre la plage de Moretti est caractérisée par une érosion importante et continue depuis 1972. Cette érosion a entraîné un recul du trait de côte estimé à -3m (-0.6 m/an).

### 3.2.1.2 Les variations de la ligne de côte de Sidi-Fredj entre 2002 et 2015

L'étude de l'évolution du trait de côte dans cette partie est basée sur les images satellitaires issues de différentes périodes traitées par le logiciel ARCGIS 10.

Les résultats obtenus après traitement de chaque image satellitaire, géoréférencement et digitalisation de la ligne de cote sont représentés au niveau de la figure 4.26.

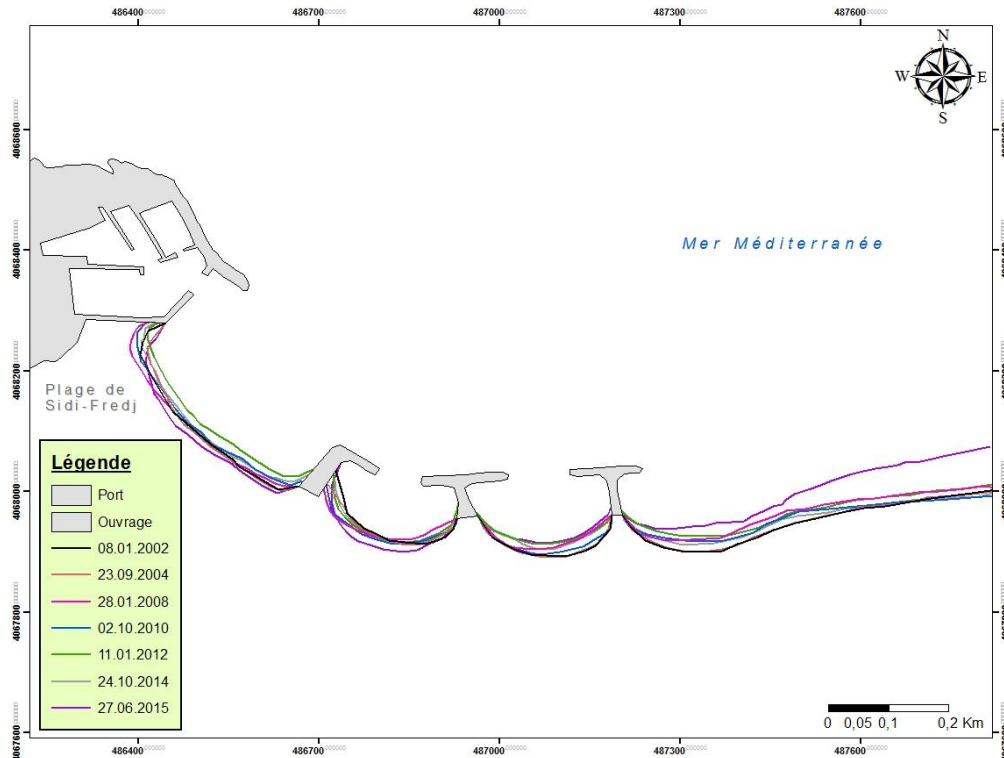


Figure 4.26 : Evolution du trait de côte selon différentes périodes 2002, 2004, 2008, 2010, 2012, 2014 et 2015.

Après avoir tracées les différentes lignes de cote, on a mis en place des profils d'une longueur d'environ 80m et un espacement d'environ 50m entre chaque profil, ces profils représentés par la figure 4.27 vont nous permettre une analyse détaillée de la variation de la ligne de rivage et cela entre chaque période.

Les mesures effectuées au niveau de chaque profil selon les différents périodes sont représentées par le tableau 4.11 :

#### NB:

Les valeurs négatives indiquent un recul du trait de côte et les valeurs positives une avancée.

Les termes Evol et V signifient :

Evol = Evolution.

V= Vitesse d'évolution.

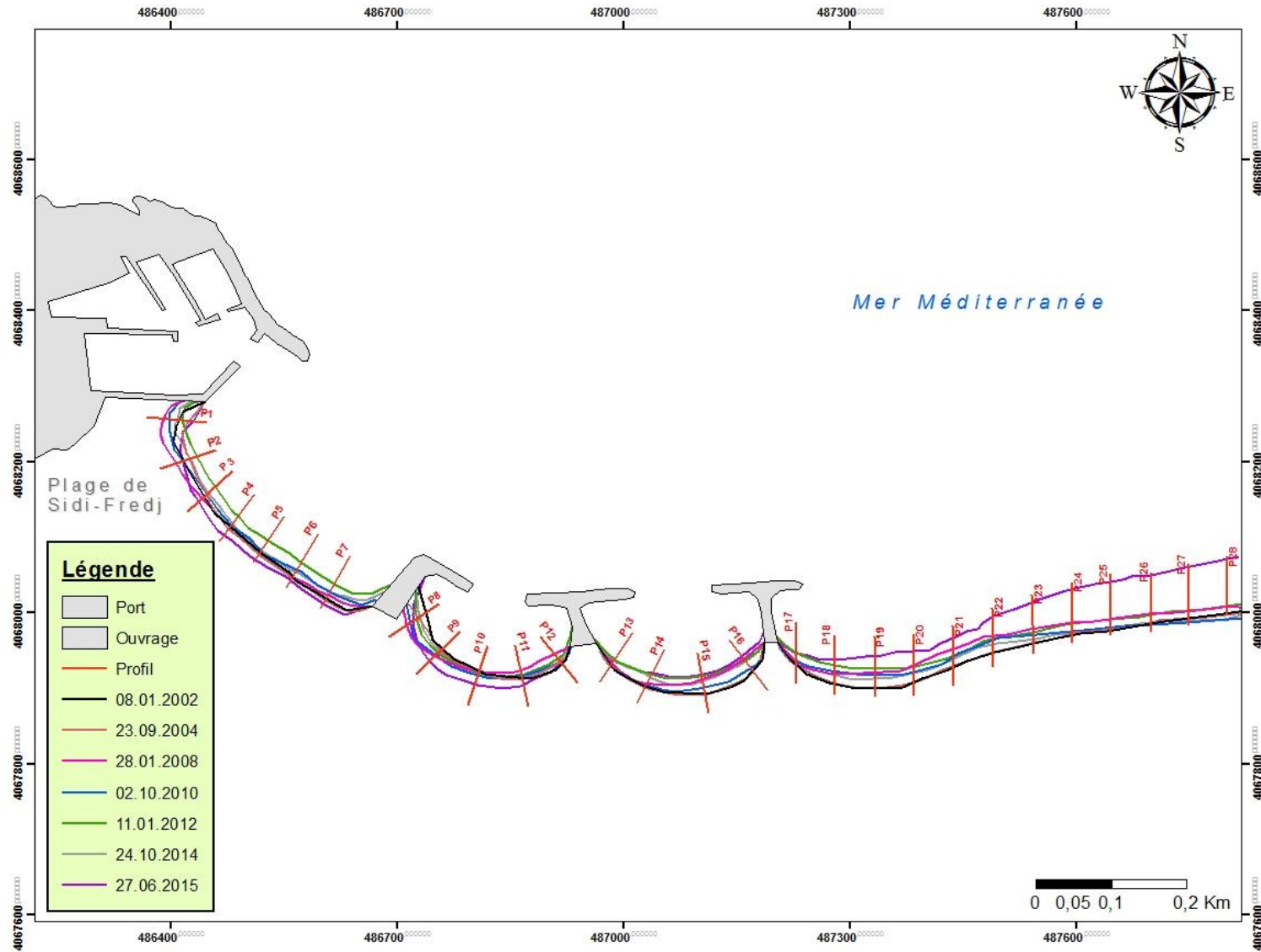


Figure 4.27 : Evolution du trait de côte selon différentes périodes et profils.

Tableau 4.11 : Taux d'évolution du trait de côte du littoral Sidi-Fredj de 2002 à 2015.

Profils	De 08.01.2002 à 23.09.2004		De 23.09.2004 à 28.01.2008		De 28.01.2008 à 02.10.2010		De 02.10.2010 à 11.01.2012		De 11.01.2012 à 24.10.2014		De 24.10.2014 à 27.06.2015		De 08.01.2002 à 27.06.2015	
	Evol (m)	V (m/ans)	Evol (m)	V (m/ans)	Evol (m)	V (m/ans)	Evol (m)	V (m/ans)	Evol (m)	V (m/ans)	Evol (m)	V (m/ans)	Evol (m)	V (m/ans)
P1	3,20	1,60	-34,35	-8,59	9,03	4,52	16,23	8,12	-7,09	-3,55	20,76	20,76	18,78	1,44
P2	0,95	0,48	-19,05	-4,76	9,16	4,58	19,39	9,70	-10,20	-5,10	-8,97	-8,97	0,28	0,02
P3	3,45	1,73	-9,22	-2,31	9,13	4,57	14,15	7,08	-11,90	-5,95	-16,92	-16,92	-9,44	-0,73
P4	-3,76	-1,88	4,30	1,08	1,59	0,80	14,76	7,38	-11,54	-5,77	-19,26	-19,26	-13,71	-1,05
P5	-3,19	-1,60	0,59	0,15	3,57	1,79	18,10	9,05	-15,89	-7,95	-15,47	-15,47	-12,14	-0,93
P6	-2,54	-1,27	1,16	0,29	11,24	5,62	11,54	5,77	-14,86	-7,43	-13,32	-13,32	-6,56	-0,50
P7	-2,53	-1,27	7,00	1,75	6,20	3,10	11,79	5,90	-11,82	-5,91	-18,85	-18,85	-7,72	-0,59
P8	-11,82	-5,91	-17,56	-4,39	5,58	2,79	9,63	4,82	4,91	2,46	-9,94	-9,94	-18,88	-1,45
P9	-3,04	-1,52	-10,61	-2,65	1,07	0,54	3,68	1,84	3,83	1,92	-18,73	-18,73	-23,94	-1,84
P10	-0,35	-0,18	0,61	0,15	-6,01	-3,01	4,39	2,20	-3,55	-1,78	-12,88	-12,88	-17,94	-1,38
P11	-1,22	-0,61	11,28	2,82	-7,75	-3,88	1,62	0,81	-3,72	-1,86	-9,75	-9,75	-9,69	-0,75
P12	2,85	1,43	12,04	3,01	-12,31	-6,16	-5,50	-2,75	-3,79	-1,90	-4,50	-4,50	0,42	0,03
P13	-1,49	-0,75	4,88	1,22	-2,98	-1,49	8,32	4,16	-1,51	-0,76	0,68	0,68	7,96	0,61
P14	-0,56	-0,28	5,75	1,44	-2,33	-1,17	15,94	7,97	-4,48	-2,24	6,11	6,11	20,13	1,55
P15	-1,35	-0,68	20,20	5,05	-11,31	-5,66	15,36	7,68	-6,82	-3,41	8,75	8,75	24,77	1,91
P16	-1,08	-0,54	20,41	5,10	-15,08	-7,54	12,41	6,21	-0,61	-0,31	7,44	7,44	23,48	1,81
P17	-0,56	-0,28	3,46	0,87	1,11	0,56	10,20	5,10	-9,76	-4,88	10,79	10,79	14,91	1,15
P18	1,00	0,50	13,23	3,31	2,42	1,21	8,10	4,05	-12,67	-6,34	20,53	20,53	32,38	2,49
P19	0,21	0,11	21,50	5,38	-3,58	-1,79	7,75	3,88	-11,90	-5,95	28,93	28,93	41,98	3,23
P20	-0,57	-0,29	22,96	5,74	-8,80	-4,40	7,13	3,57	-8,32	-4,16	28,88	28,88	41,93	3,23
P21	0,89	0,45	21,96	5,49	-9,47	-4,74	0,52	0,26	-2,90	-1,45	26,48	26,48	38,52	2,96
P22	0,32	0,16	21,85	5,46	-5,14	-2,57	1,98	0,99	-7,64	-3,82	36,37	36,37	48,10	3,70
P23	1,20	0,60	18,69	4,67	-8,36	-4,18	3,65	1,83	-8,87	-4,44	48,62	48,62	55,27	4,25
P24	2,89	1,45	13,64	3,41	-11,03	-5,52	10,23	5,12	-13,60	-6,80	59,00	59,00	61,38	4,72
P25	1,02	0,51	13,69	3,42	-11,00	-5,50	11,06	5,53	-12,19	-6,10	61,17	61,17	64,18	4,94
P26	1,62	0,81	12,58	3,15	-15,24	-7,62	12,82	6,41	-10,20	-5,10	63,03	63,03	64,60	4,97
P27	0,29	0,15	9,83	2,46	-14,82	-7,41	15,42	7,71	-14,00	-7,00	71,85	71,85	69,21	5,32
P28	-1,70	-0,85	10,51	2,63	-16,47	-8,24	17,92	8,96	-17,10	-8,55	78,93	78,93	72,00	5,54

A partir du tableau 4.11, on peut distinguer sept périodes qui sont les suivantes :

1. Période de 2002 à 2004 :

On remarque une accumulation de l'ordre de 3,20m (P1) et 3,45m (P2) au voisinage du port suivie par une érosion de -3.76m au niveau du profil (P4) et tout au long de la plage Est de Sidi-Fredj jusqu'aux premiers épis, on constate en général un recul du trait de côte au niveau de la plage de l'hôtel el Riad (P8 a P12) et cette situation continue tout au long de la côte.

2. Période de 2004 à 2008 :

Pour cette période, on constate une accumulation au pied du premier épis (P7 est égale à 7m), la plage de l'hôtel el Riad subit une érosion allant de P8 (-17,56m) jusqu'à P10 (0,61m) puis une accumulation de 11,28m (P11) et 12,04m (P12). Le reste de la côte de la zone étudiée subit une accumulation, elle a atteint 22,96m au niveau du profil P20.

3. Période de 2008 à 2010 :

Lors de cette période, on observe un avancement de la ligne de rivage de la plage Est de Sidi-Fredj et ce de la jetée du port jusqu'aux premiers épis (P6 est égale à 11,24m), cette accumulation continue au niveau du profil (P8 et P9) de la plage de l'hôtel el Riad qui est suivie par une érosion P10, P11 et P12. Ce qui reste de la zone d'étude connaît une érosion qui peut atteindre -16,47m, valeur du dernier profil P28.

4. Période de 2010 à 2012 :

Cette période connaît une accumulation tout au long de la ligne de cote allant du profil P1 avec 16,23m jusqu'au profil P28 avec 17,92m.

5. Période de 2012 à 2014 :

On constate lors de cette période que la plage Est de Sidi-Fredj connaît une érosion et cela du profil (P1 a P7), cette érosion peut atteindre -15,89m (P5). Cette dernière est suivie par une accumulation au pied du premier épis (P8 est égale à 4,91m) et cela au niveau de la plage de l'hôtel el Riad, le reste de la zone d'étude (P10 a P28) subit une érosion.

6. Période de 2014 à 2015 :

Pour cette période, on constate que la plage Est de Sidi-Fredj et la plage de l'hôtel el Riad subissent tous les deux un recul de la ligne de rivage. Le reste de la zone d'étude connaît une accumulation est ce du profil P13 a P28.

7. Période de 2002 à 2015 :

Les variations de la ligne de côte de la zone d'étude entre 2002 et 2015 peuvent être observées au niveau de la figure 4.28

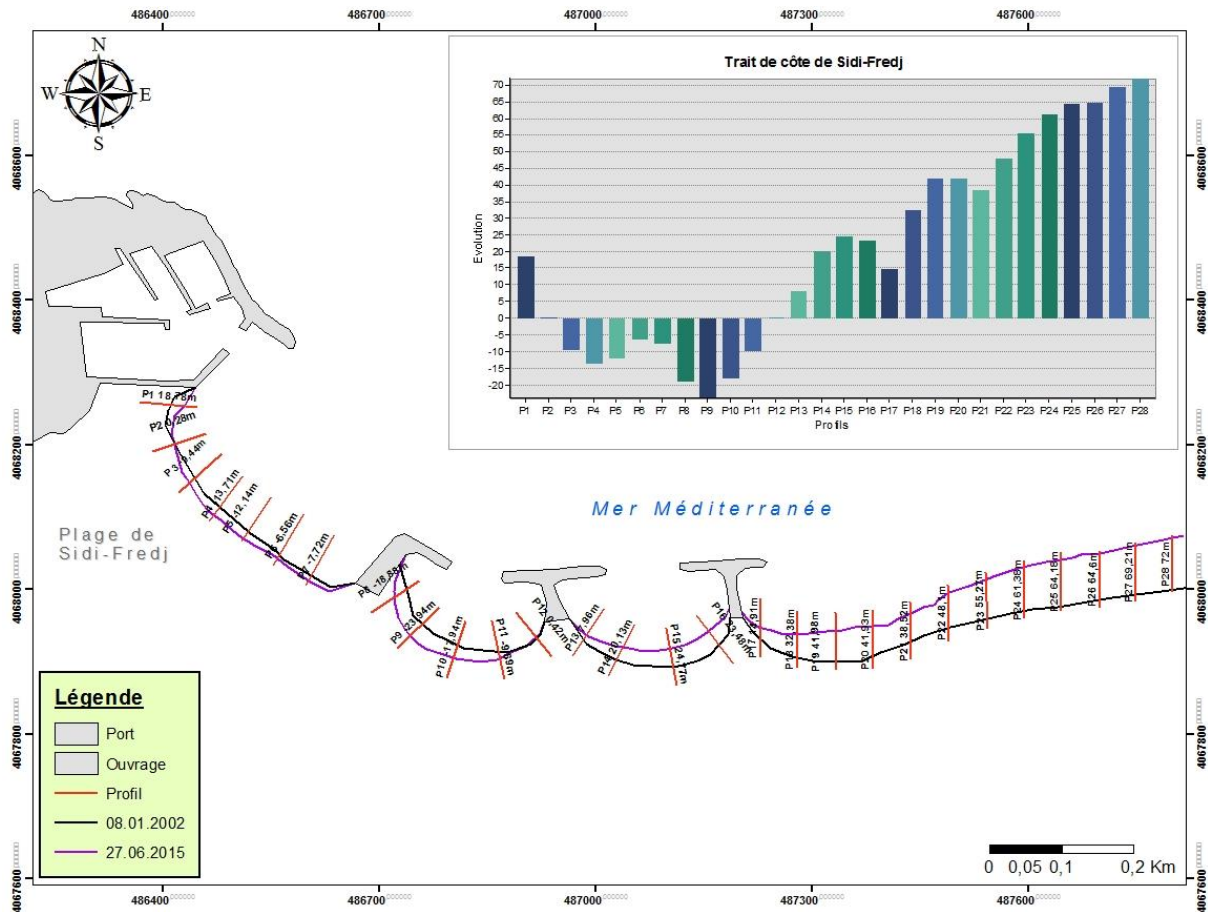


Figure 4.28 : Variation de la ligne de côte de la zone d'étude entre 2002 et 2015.

Commentaire :

La figure 4.28 permet de nous renseigner sur les variations qu'a subit notre zone d'étude au cours de ces 13 derniers années et cela au niveau de son trait de côte.

Le trait de côte entre 2002 et 2015 a subit beaucoup de changement qui diffère d'une zone à l'autre, cela est due en partie au blocage du transit sédimentaire (implantation d'ouvrage de protection).

Au niveau de la plage Est de Sidi-Fredj (P1 à P7), on remarque une accumulation au pied de la jetée du port correspondent au profil P1 et P2 qui ont une valeur respective de 18,78m et 0,28m, le reste de la plage Est de Sidi-Fredj subit une érosion (profil P3 à P7) qui peut atteindre -13,71m au niveau du profil P4.

La plage de l'hôtel el Riad (P8 à P12), connaît une érosion et cela du profil P8 a P11 avec une faible accumulation au pied du deuxième épis avec une valeur de 0.42m au profil P12.

Le reste de la zone d'étude (P13 à P28), subit une accumulation de plus en plus importante en allant vers l'Est cela pourrait être due à la perturbation qu'a connue le transit sédimentaire.

**3.3 ANALYSE DU BILAN SEDIMENTAIRE**

L'analyse du bilan sédimentaire va nous permettre de quantifier les surfaces gagnées et les surfaces perdues et cela à différentes périodes, pour une meilleure analyse le travail a été divisé en deux parties :

- La première partie : Analyse du bilan sédimentaire de Sidi-Fredj entre 1978 et 2008.
- La deuxième partie : Analyse du bilan sédimentaire de Sidi-Fredj entre 2002 et 2015.

**3.3.1 Analyse du bilan sédimentaire de Sidi-Fredj entre 1978 et 2008**

L'analyse du bilan sédimentaire de 1978 à 2008 fait ressortir quatre périodes distincts :

1. Période 1972 à 1980 :

Durant cette période, le bilan sédimentaire est négatif de -389468 m<sup>2</sup> avec des grandes valeurs de pertes/gains (-452278 m<sup>2</sup> et +62810 m<sup>2</sup>) cette valeur élevée de perte est due au déséquilibre du transit littoral à cause de la construction du port de Sidi-Fredj.

2. Période 1980 à 1993 :

La période entre 1980 et 1993 est caractérisée par un bilan sédimentaire négatif de -372326 m<sup>2</sup> avec des faibles valeurs de pertes/gains (-653622 m<sup>2</sup> et 281296m<sup>2</sup>) sont nettement inférieurs à celles de la période précédente, cela peut être observée au niveau du tableau 4.12.

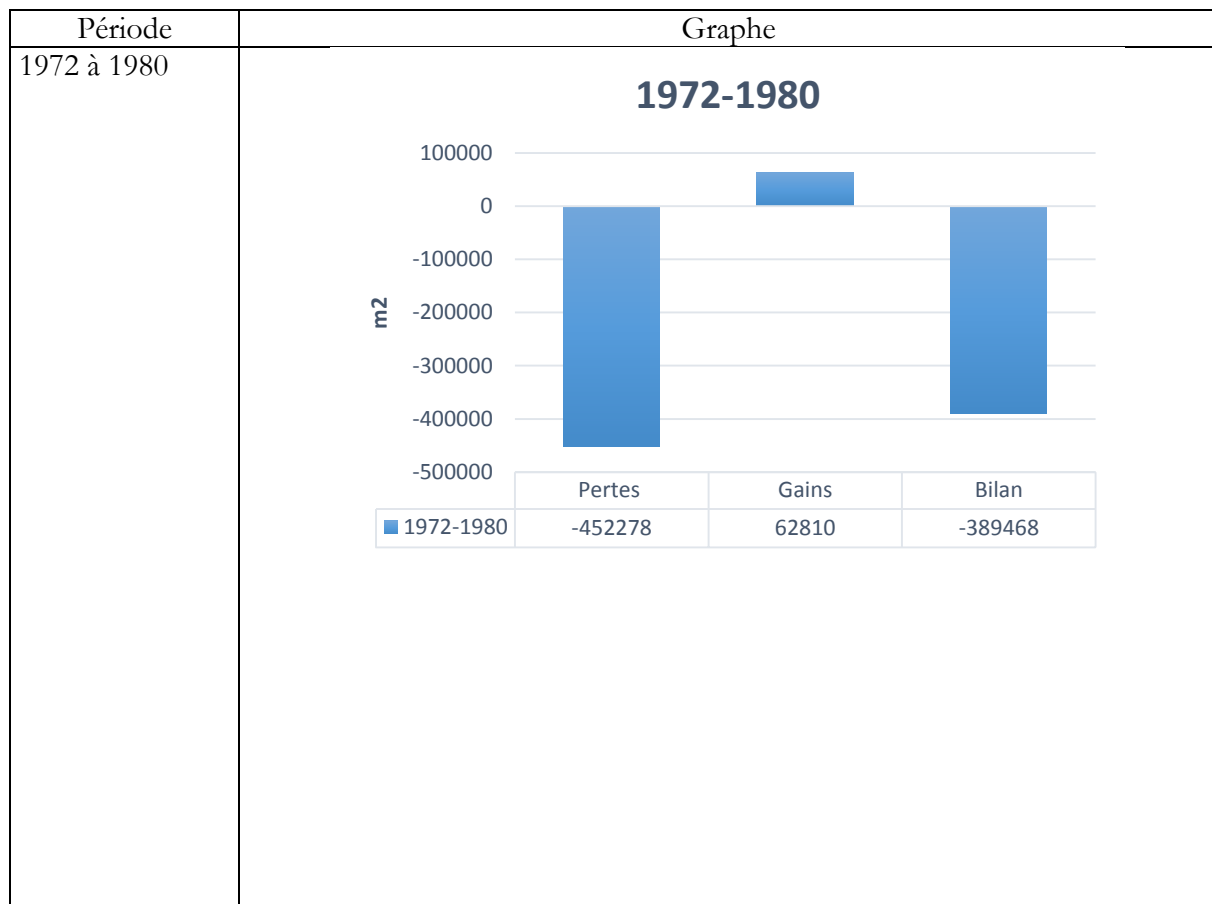
3. Période 1993 à 2003 :

La troisième période, de 1993 à 2003, a connu un bilan faiblement positif, avec des valeurs beaucoup plus modestes (-46872 m<sup>2</sup> et 116394m<sup>2</sup>). Ce gain est généralement du a l'implantation des épis au niveau de la partie Est et l'accumulation des sédiments au niveau de la jetée secondaire du port.

4. Période 2003 à 2008 :

Cette période a connu un bilan positif (92576 m<sup>2</sup>), avec des valeurs supérieurs par rapport à celles de la troisième période, (-13769 m<sup>2</sup> et 106345 m<sup>2</sup>).

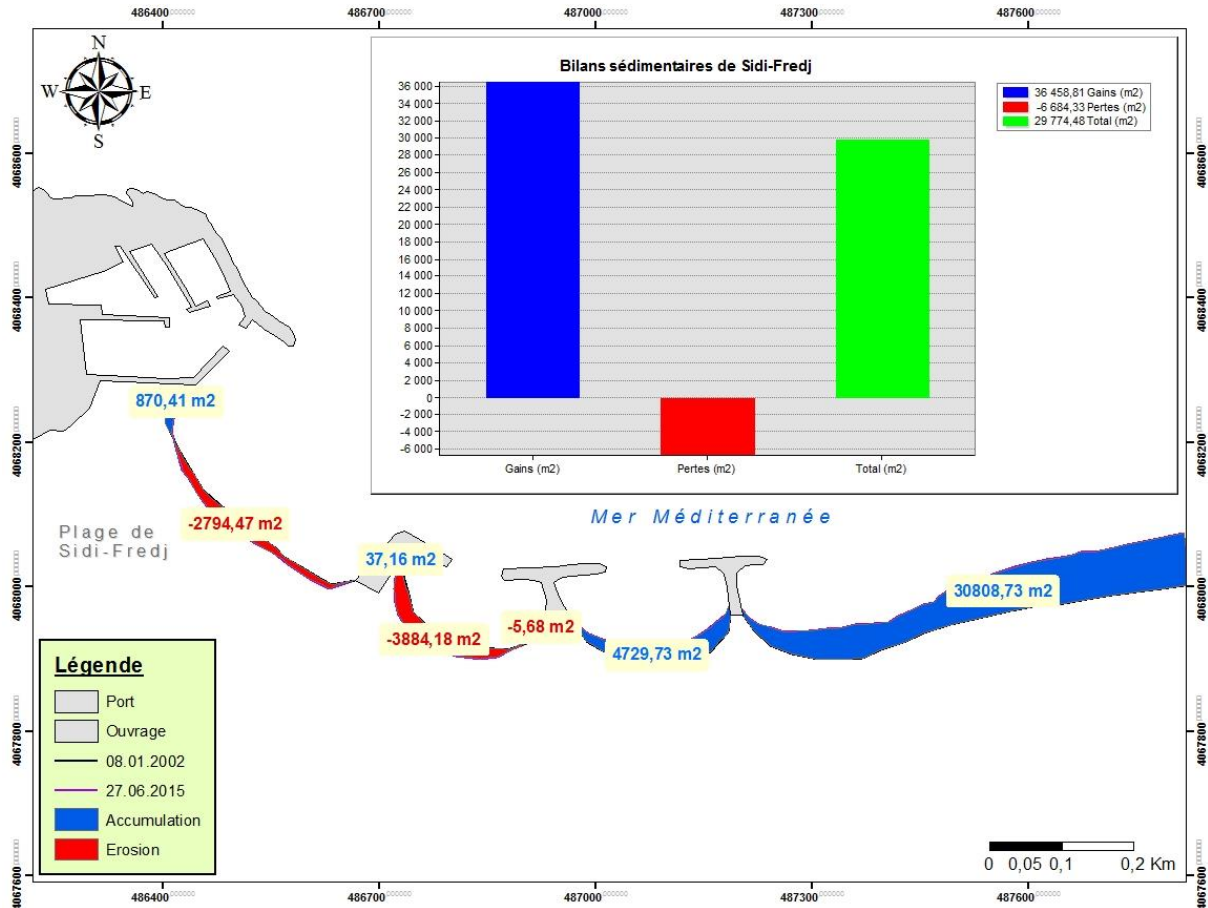
Tableau 4.12 : Bilans sédimentaires du littoral de Sidi-Fredj pour la période (1972-2008).



Période	Graphe								
1980 à 1993	<p style="text-align: center;"><b>1980-1993</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Pertes</th> <th>Gains</th> <th>Bilan</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>■ 1980-1993</td> <td>-653622</td> <td>281296</td> <td>-372326</td> </tr> </tbody> </table>		Pertes	Gains	Bilan	■ 1980-1993	-653622	281296	-372326
	Pertes	Gains	Bilan						
■ 1980-1993	-653622	281296	-372326						
1993 à 2003	<p style="text-align: center;"><b>1993-2003</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Pertes</th> <th>Gains</th> <th>Bilan</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>■ 1993-2003</td> <td>-46872</td> <td>116394</td> <td>69522</td> </tr> </tbody> </table>		Pertes	Gains	Bilan	■ 1993-2003	-46872	116394	69522
	Pertes	Gains	Bilan						
■ 1993-2003	-46872	116394	69522						
2003 à 2008	<p style="text-align: center;"><b>2003-2008</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Pertes</th> <th>Gains</th> <th>Bilan</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>■ 2003-2008</td> <td>-13769</td> <td>106345</td> <td>92576</td> </tr> </tbody> </table>		Pertes	Gains	Bilan	■ 2003-2008	-13769	106345	92576
	Pertes	Gains	Bilan						
■ 2003-2008	-13769	106345	92576						

### 3.3.2 Analyse du bilan sédimentaire de Sidi-Fredj entre 2002 et 2015

Lors de cette analyse on va utiliser le logiciel ARCGIS pour obtenir des cartes, la figure 4.30 nous renseigne sur les points d'érosion et d'accrétion (surface gagnée/perdus) de notre zone d'étude et cela de 2002 à 2015.



#### Commentaire :

A partir de la figure, on remarque une accumulation qui atteint 870,41 m<sup>2</sup> de surface au pied du port de Sidi-Fredj suivie par une perte de -2794,47 m<sup>2</sup> au niveau de la plage Est de Sidi-Fredj.

La plage de l'hôtel el Riad connaît un faible gain 37,16 m<sup>2</sup> au voisinage du premier épis suivie par une perte tout au long de cette plage -3884,14 m<sup>2</sup> et -5,68 m<sup>2</sup>. Le reste de la zone d'étude connaît un gain qui peut atteindre 30808,73 m<sup>2</sup>.

Le graph présent dans la figure 4.29 nous renseigne sur l'état de la zone d'étude, cette dernière connaît un bilan positif (29774,48 m<sup>2</sup>) avec un gain d'une valeur de 36458,81 m<sup>2</sup> et une perte d'une valeur de -6684,33 m<sup>2</sup>.

## 4 MODELISATION DE LA REFRACTION DE LA HOULE

Dans notre cas, la modélisation de la réfraction de la houle va se faire en utilisant le modèle SWAN (Simulating Waves Nearshore).

04 directions ont été retenues pour notre zone d'étude :

- Une direction approximativement perpendiculaire à la côte (315°N).
- Deux directions de houle à incidence oblique (270°N, 360°N).
- Une direction de (45°N) qui est plus au moins énergétique.

## 4.1 LES HOULES AU LARGE DE DIRECTION OUEST

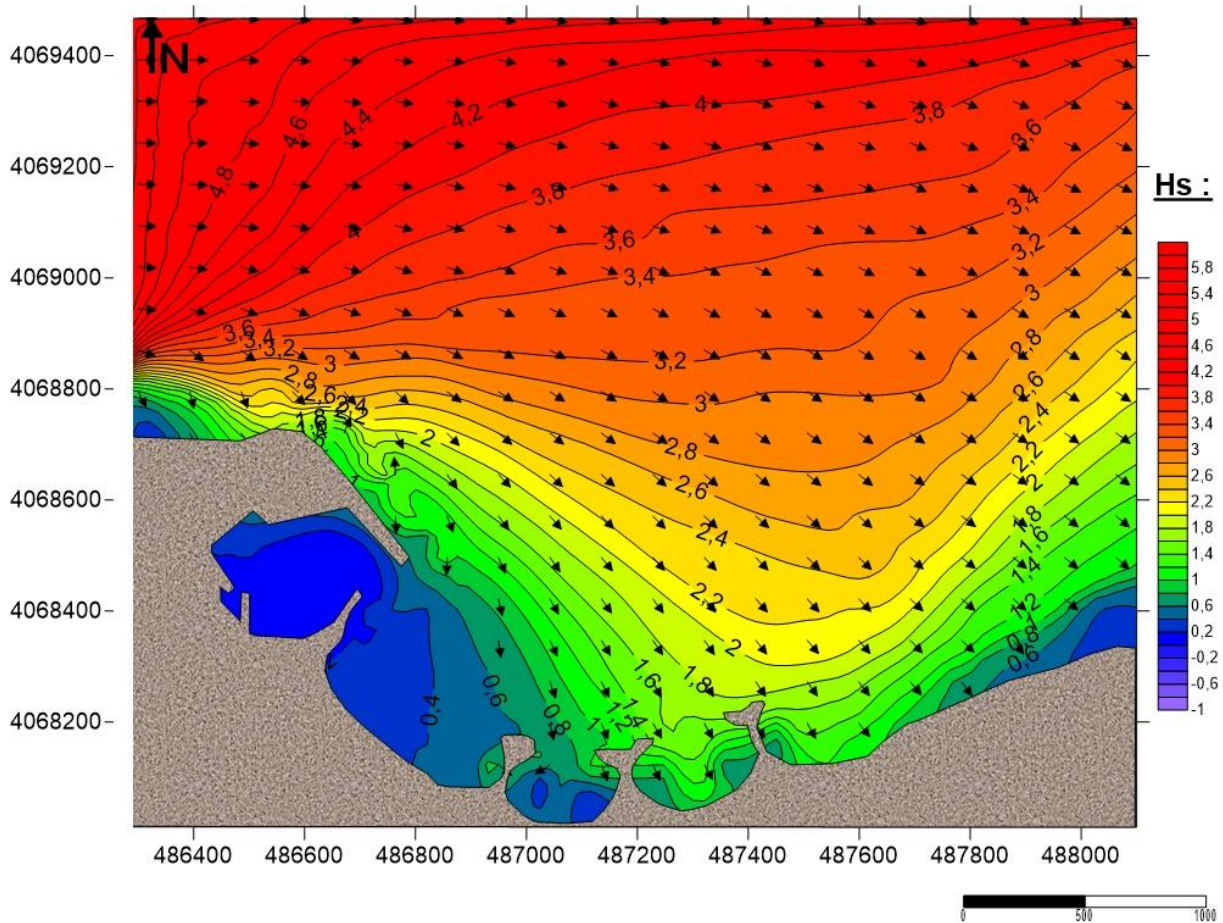


Figure 4.30 : Réfraction de la houle pour une direction 270°N et une période de 10s.

Commentaire :

Les figures (4.30 et annexe 2) représentent les résultats obtenus de l'étude de la réfraction de la houle de 270°N et cela pour différentes périodes (6s, 8s, 10s). La hauteur de la houle varie du large à la côte cela est dû à l'effet du fond qui affecte la direction et les caractéristiques principales de la houle.

Les résultats obtenus de la réfraction de 270°N connaît des hauteurs significatives qui varient de 0,2m à 1m pour une période de 6s, de 0,2m à 2,6m pour une période  $T=8s$  et de 0,4m à 5m pour une période de 10s.

Le coefficient de réfraction moyen pour une direction de 270°N est de 0,61 donc la houle perd presque la moitié de son énergie du large à la côte cela pourrait être due en partie à l'effet du fond. La dissipation de l'énergie se présente par un pivotement des orthogonales en direction Nord-Ouest à Nord avec un angle moyen de 17°.

## 4.2 LES HOULES AU LARGE DE DIRECTION NORD-EST

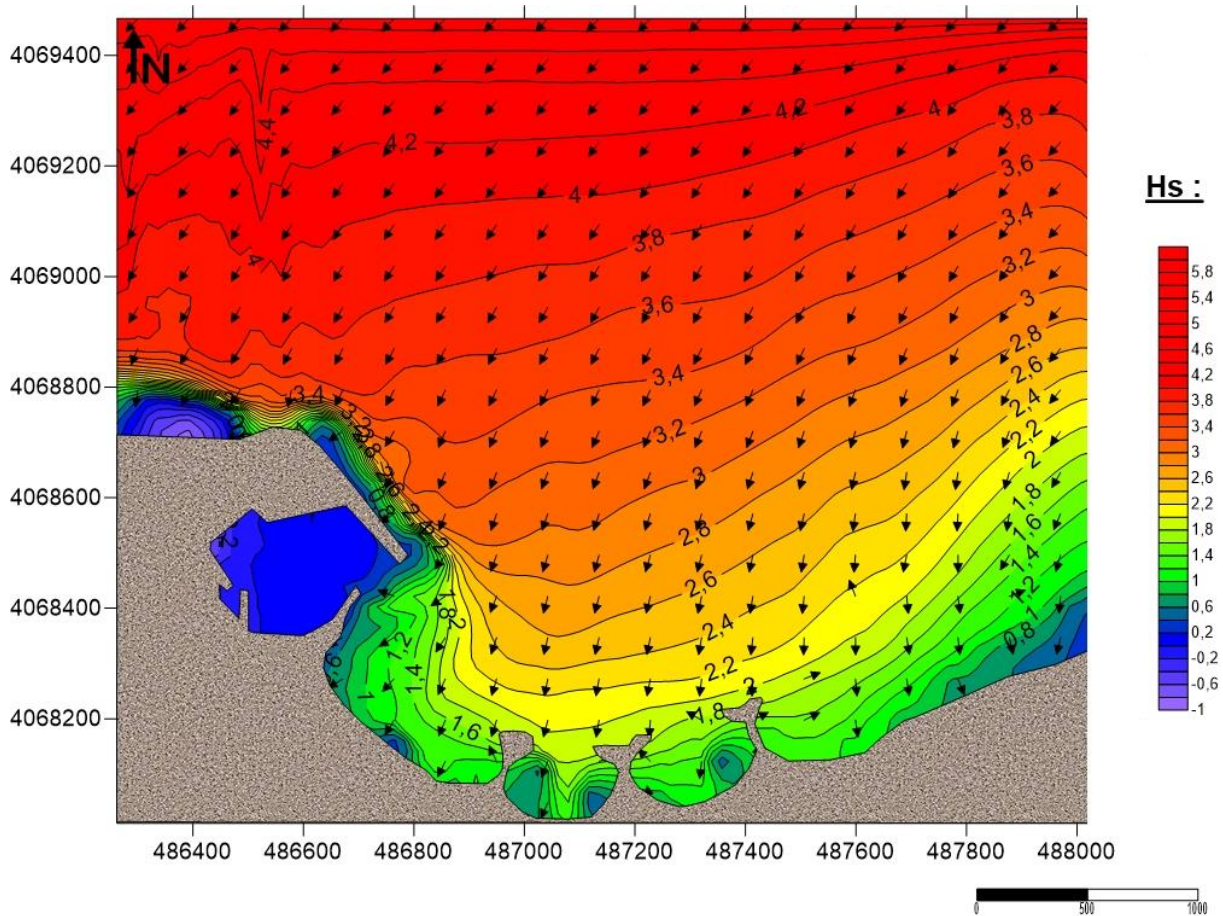


Figure 4.31 : Réfraction de la houle pour une direction  $45^{\circ}\text{N}$  et une période de 10s.

Commentaire :

Les figures (4.31 et annexe 2) représentent les résultats obtenus de l'étude de la réfraction de la houle de  $45^{\circ}\text{N}$  et cela pour différentes périodes (6s, 8s, 10s). Les résultats obtenus de la réfraction de  $45^{\circ}\text{N}$  connaît des hauteurs significatives qui varient de 0,4m à 1m pour une période de 6s, de 0,6m à 2,4m pour une période  $T=8\text{s}$  et de 0,8m à 4,4m pour une période de 10s.

Le coefficient de réfraction moyen pour une direction de  $45^{\circ}\text{N}$  est de 0,79 donc la houle ne perd que très peu de son énergie à l'approche de la cote et ne change généralement pas de direction. La dissipation de l'énergie se présente par un faible pivotement des orthogonales à l'approche de la cote.

La direction  $45^{\circ}\text{N}$  à une forte influence sur notre zone d'étude cela peut se voir au niveau de la figure annexe 2 ou la houle atteint la cote avec une hauteur significative d'environ 1,6m.

## 4.3 LES HOULES AU LARGE DE DIRECTION NORD

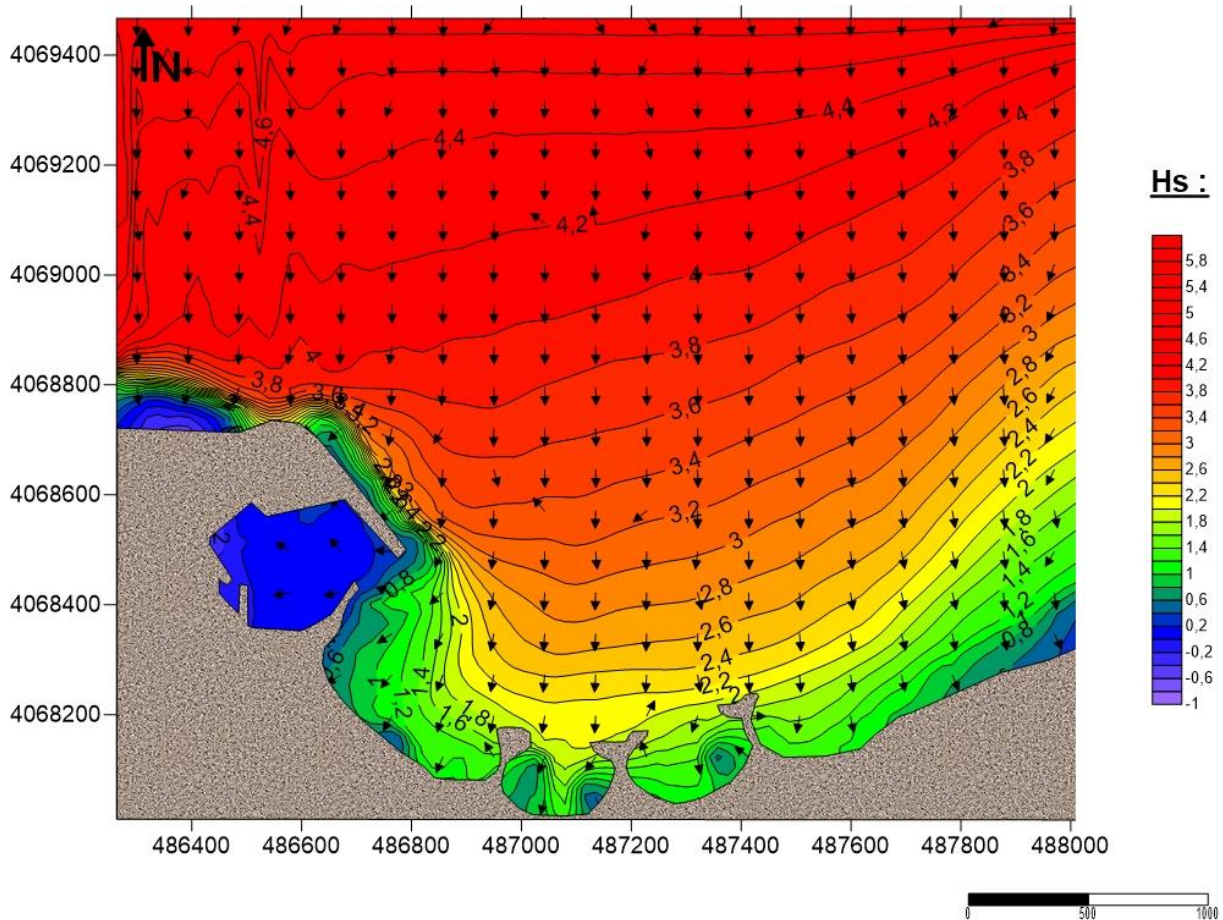


Figure 4.32 : Réfraction de la houle pour une direction  $360^{\circ}\text{N}$  et une période de 10s.

Commentaire :

Les figures (4.32 et annexe 2) représentent les résultats obtenus de l'étude de la réfraction de la houle de  $360^{\circ}\text{N}$  et cela pour différentes périodes (6s, 8s, 10s). Les résultats obtenus de la réfraction de  $360^{\circ}\text{N}$  connaît des hauteurs significatives qui varient de 0,4m à 1m pour une période de 6s, de 0,6m à 2,6m pour une période  $T=8\text{s}$  et de 0,8m à 4,6m pour une période de 10s.

Le coefficient de réfraction moyen pour une direction de  $360^{\circ}\text{N}$  est de 0,84 cela signifie que la houle ne perd que très peu de son énergie à l'approche de la cote et ne change généralement pas de direction. La dissipation de l'énergie se présente par un faible pivotement des orthogonales à l'approche de la cote de direction Nord-Ouest à Ouest.

Pour la direction  $360^{\circ}\text{N}$ , la propagation est quasi frontale cela pourrait avoir une influence sur notre zone d'étude.

#### 4.4 LES HOULES AU LARGE DE DIRECTION NORD-OUEST

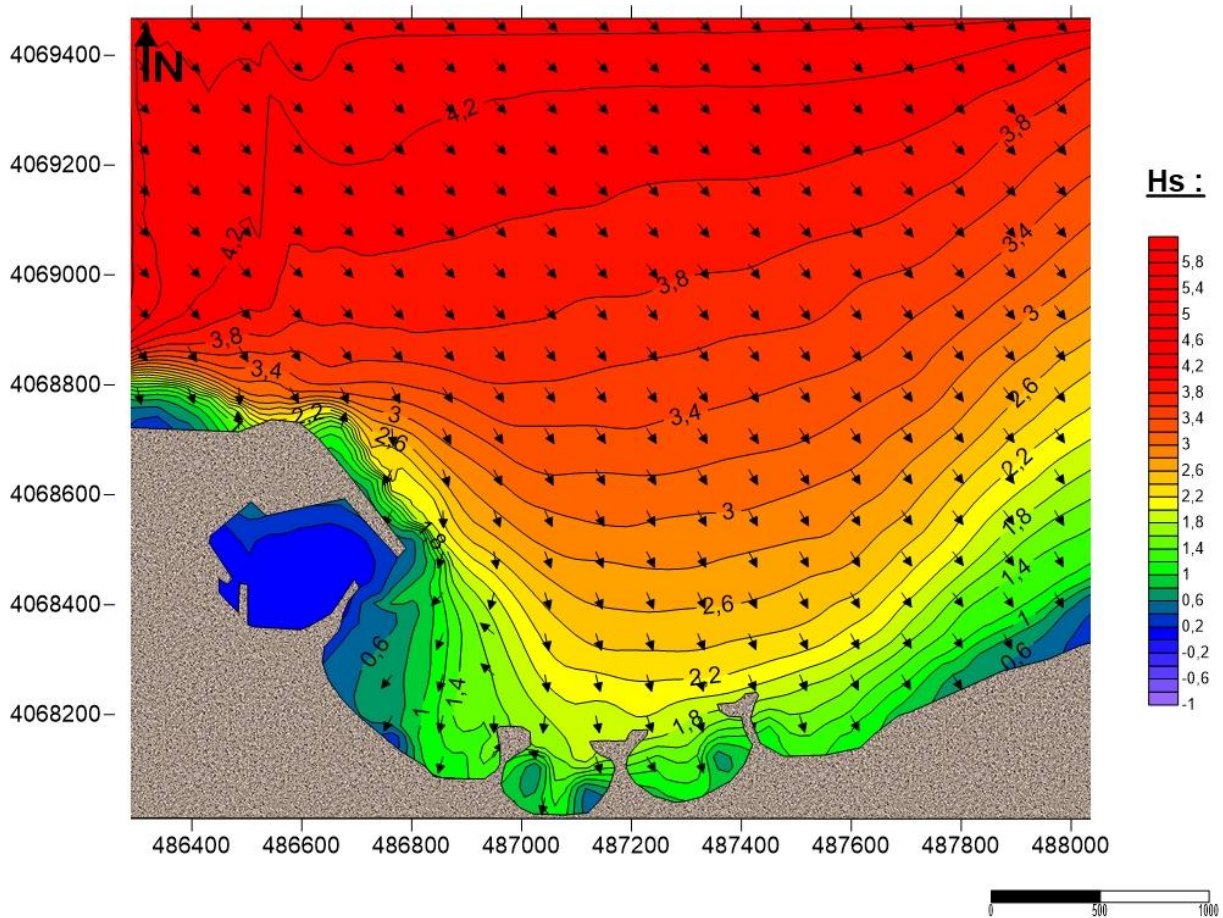


Figure 4.33 : Réfraction de la houle pour une direction 315°N et une période de 10s.

##### Commentaire :

Les figures (4.33 et annexe 2) représentent les résultats obtenus de l'étude de la réfraction de la houle de 315°N et cela pour différentes périodes (6s, 8s, 10s). Les résultats obtenus de la réfraction de 315°N connaît des hauteurs significatives qui varient de 0,2m à 1m pour une période de 6s, de 0,6m à 2,6m pour une période  $T=8s$  et de 0,6m à 4,2m pour une période de 10s.

Le coefficient de réfraction moyen pour une direction de 315°N est de 0,81 donc la houle ne perd que très peu de son énergie à l'approche de la cote et ne change généralement pas de direction. La dissipation de l'énergie se présente par un faible pivotement des orthogonales de l'ordre de 8° à l'approche de la cote.

## 5 MODELISATION DU TRANSPORT SEDIMENTAIRE

Dans notre cas, la modélisation du transport sédimentaire va se faire en utilisant le modèle GSTA (Grain Size Trend Analysis), qui est un modèle mathématique vectorielle développé par Gao et Collins pour connaître le schéma des mouvements sédimentaires résiduels qui s'opèrent le long d'une zone côtière données.

Le résultat obtenus du modèle GSTA après avoir été traité par le logiciel surfer est le suivant :

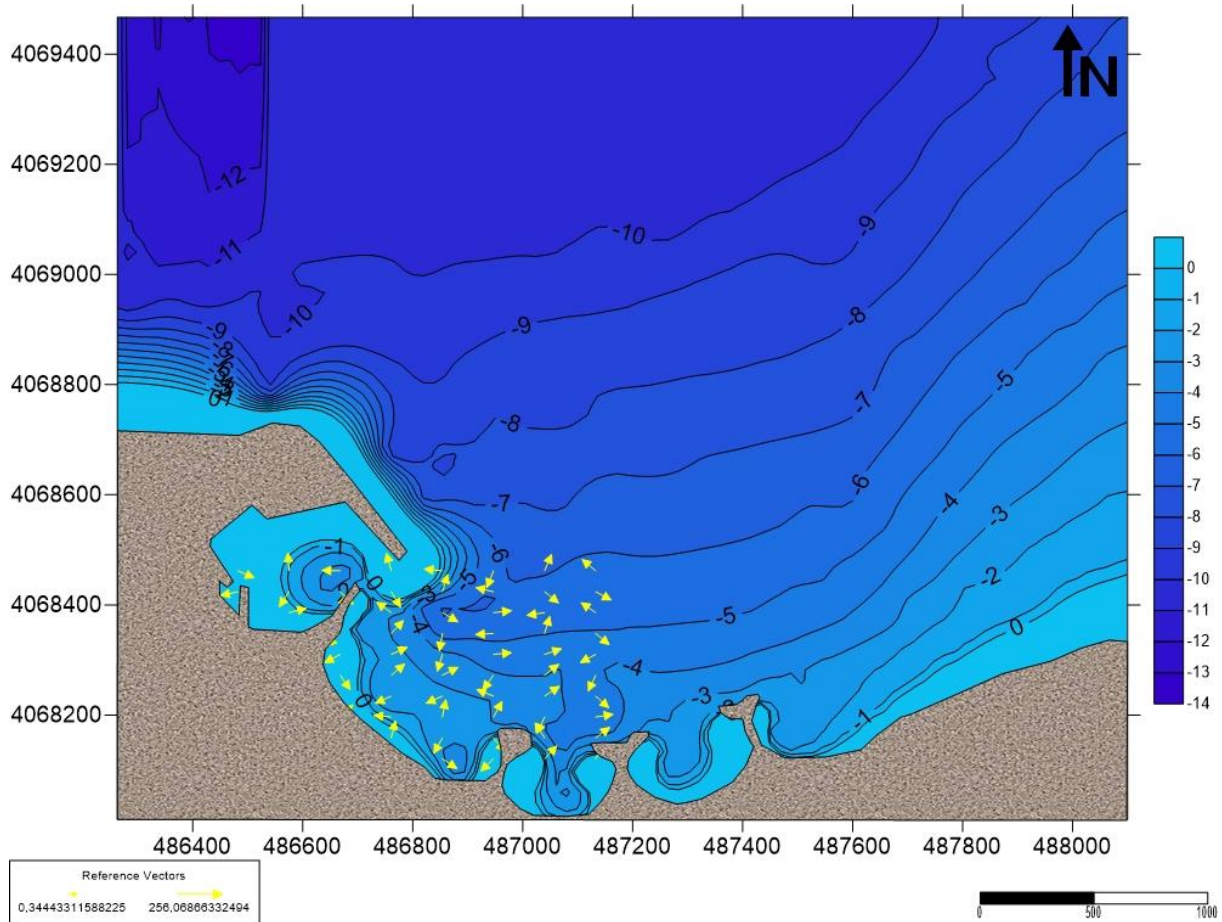


Figure 4.34 : Modélisation du transport sédimentaire dans la zone de Sidi-Fredj.

Commentaire :

A partir de la figure 4.34, on remarque des flèches allant vers la passe d'entrée du port cela explique l'ensablement du port qui pourrait être due à la perturbation du transit sédimentaire (implantation du port de Sidi-Fredj). Au voisinage du port au niveau de la plage Est de Sidi-Fredj, on remarque une accumulation cela vient confirmer le bilan sédimentaire. Au pieds de l'épis, on observe que les flèches se dirige vers le large cela peut expliquer l'érosion que connait la zone. L'usage des indices granulométriques (moyenne, indice d'asymétrie et indice de dispersion) nous permette d'obtenir des résultats plus pertinents sur le transport sédimentaire.

Impact des  
infrastructures  
sur le littoral  
de Sidi-Fredj

Les plages connaissent de nos jours un recul. Entre les pressions économiques et environnementales, la préservation du trait de côte est devenue un enjeu essentiel. Il faut pour cela avoir une meilleure compréhension des processus d'érosion. En effet la présence d'ouvrages maritimes en dur (jetées, cordons d'enrochement) a eu fil des années une influence négative sur l'environnement en plus de la pollution visuelle, ces ouvrages ne font que déplacer les problèmes d'érosion de quelques centaines de mètres. Dans de nombreuses régions du monde, le littoral est l'objet de nombreuses études consacrées aux traits de cote confirment que leur évolution est souvent causée ou accélérée par les interventions humaines.

## 1 PROBLEMATIQUE ET ENJEUX DE LA ZONE

---

La plage Est de Sidi-Fredj a été considérée comme stable jusqu'à 1950. Depuis cette date, elle a été le siège d'une importante érosion marine, qui s'est fait beaucoup sentir durant les années 1970 causant ainsi un recul important du trait de côte, la disparition des constructions, et ce jusqu'à l'effondrement de certaines d'entre-elles, ceci a réduit considérablement sa capacité balnéaire. Cet état de ruine n'a pas manqué d'attirer, dès 1990, l'attention des autorités communales de Sidi-Fredj, qui ont lancé une opération de protection à partir de 1997. La solution préconisée par le laboratoire des études maritimes (L.E.M), est réalisée, elle consiste en une protection de la plage par l'implantation d'une batterie d'épis. Cependant, ces dispositifs d'aménagement ne permettent pas à lui seul de la reconstituer, d'où s'impose l'idée d'un rechargement artificiel, mais qui nécessitera de ramener des quantités de sables provenant de l'embouchure de Oued Beni Messous.

## 2 EROSION DE LA PLAGE DE SIDI-FREDJ

---

Plusieurs facteurs contribuent à l'érosion de la plage Est de Sidi-Fredj, ces facteurs peuvent être naturels ou anthropique (Aini, 2012). Parmi ces facteurs on peut citer :

- L'action des houles provoque un transit littoral d'Est vers l'Ouest, créant ainsi une zone d'engraissement à l'abri de la jetée Est du port de Sidi-Fredj. En effet les houles d'été qui proviennent de Nord-Est engendrent un courant de dérive Est-Ouest c'est-à-dire vers le port provoquant ainsi l'engraissement de cette zone. En saison hivernale, la prédominance des houles du secteur Nord-Ouest engendrent une dérive littorale Ouest-est. Ce courant de dérive touche beaucoup plus la zone de Moretti que la zone située entre l'hôtel El Riad et la jetée sud du port de Sidi-Fredj.
- La construction du port de Sidi-Fredj a entraîné un changement de l'angle d'approche de la houle dominante NO, ce qui a accéléré la dérive littorale devant El Minzah, El Riad et Moretti, provoquant ainsi une zone d'érosion irréversible. Le sable arraché est charrié vers l'Est avant qu'il ne soit sédimenté sur la plage sous-marine.
- L'édification du village de Moretti sur la haute plage, a entraîné la réduction de la plage, de plus la construction d'un chemin de promenade soutenu par un muret vertical a provoqué l'intensification de l'attaque de la houle.
- Les extractions massives et importantes des sables à l'embouchure de l'Oued Beni Messous et au niveau de l'hôtel El Riad ont contribué au déficit sédimentaire du littoral.
- L'aménagement portuaire qui contribue à une perturbation de la sédimentation ainsi que la modification de l'évolution de la ligne de rivage.

- La pollution portuaire par l'intermédiaire des sédiments de dragage.

L'étude de ces facteurs nous permette de connaître le problème initial et de réfléchir à une solution pouvant réduire l'impact de l'érosion sur la frange littoral de Sidi-Fredj.

### 3 IMPLANTATION DU PORT DE SIDI-FREDJ

---

Avant 1969, c'est-à-dire avant la construction du port, le littoral subissait l'influence d'un double transit littoral : Ouest-Est et Est-Ouest. Le transport Est-Ouest était le plus important et se produisait sous l'effet des vents de Nord-Est qui génèrent des courants dirigés vers le port. Le transport Ouest-Est sous l'influence des houles Nord-Ouest permettait de stabiliser la plage par un retour des sédiments sur la partie Est.

Après la construction de la première phase du port, le transit Ouest-Est est arrêtée par la structure portuaire, parallèlement une érosion de plage apparaît entre l'hôtel El Riad et le front de mer de Moretti, suivie d'un engraissement progressif de l'anse Est au détriment de la zone de Moretti, formant ainsi un banc de 600m environ sur 50 à 200m de largeur (Aini, 2012).

### 4 IMPLANTATION D'OUVRAGES

---

Pour trouver une solution au problème d'ensablement du port et pour stabiliser les apports de sédiments résultants de la dérive littorale, Degiovani (1971) réalise un travail de la dynamique sédimentaire à la suite, il propose la construction d'un épi perpendiculaire au rivage, au point d'inflexion des zones d'érosion et d'ensablement. L'extrémité vers le large de cet épis sera légèrement concave vers l'Est. Cet ouvrage permettra ainsi de modifier le profil de plage qui se traduira par l'engraissement et devrait diminuer l'érosion devant Moretti.

Mais la cote de Sidi-Fredj ne bénéficiera des premiers aménagements qu'en 1985, qui consistent en l'implantation de trois épis (deux en forme de T et un en forme de L) d'une équidistance d'environ 150m (figure 5.1), avec un rechargement de la plage sableuse par les sables dragues dans le port de plaisance.

Le laboratoire d'étude maritime (LEM) à installer pour assurer une défense pour une attaque à double action (érosion et dérive littorale).

- Deux épis en T : Le premier a une longueur de 290m et le deuxième d'une longueur de 260m
- Un épis en L d'une longueur de 220 m.

L'implantation des ouvrages devrait permettre un effet de freinage de la dérive et piégeage du transit, on avait constaté juste après l'accomplissement du projet que la baie située entre l'hôtel et le port est une zone calme où sont accumulés les sédiments qui ne sont plus repris. L'engraissement s'est développé en direction du port formant ainsi une dune hydraulique dont l'épaisseur moyenne sédimentaire atteint 2m, (Boutiba, 1996), avait enregistré une avancée de 25m entre 1984 et 1993. Mais ces ouvrages ont déclenché un recul important sur la plage de Moretti où on a constaté des pertes en surface et en volumes très importants.

Ces ouvrages n'ont pas répondu aux résultats escomptes et l'érosion du trait de côte au milieu des alvéoles persiste toujours. L'épis crée une accumulation de sable du côté exposé au courant et une

érosion du cote protégé. Lorsque l'accumulation devient trop importante, le sable peut cependant passer par-dessus l'épis, subir l'érosion, s'accumuler sur l'épis suivant etc....un champ d'épis ne va donc pas empêcher la plage de se déplacer mais va retarder fortement ce déplacement.

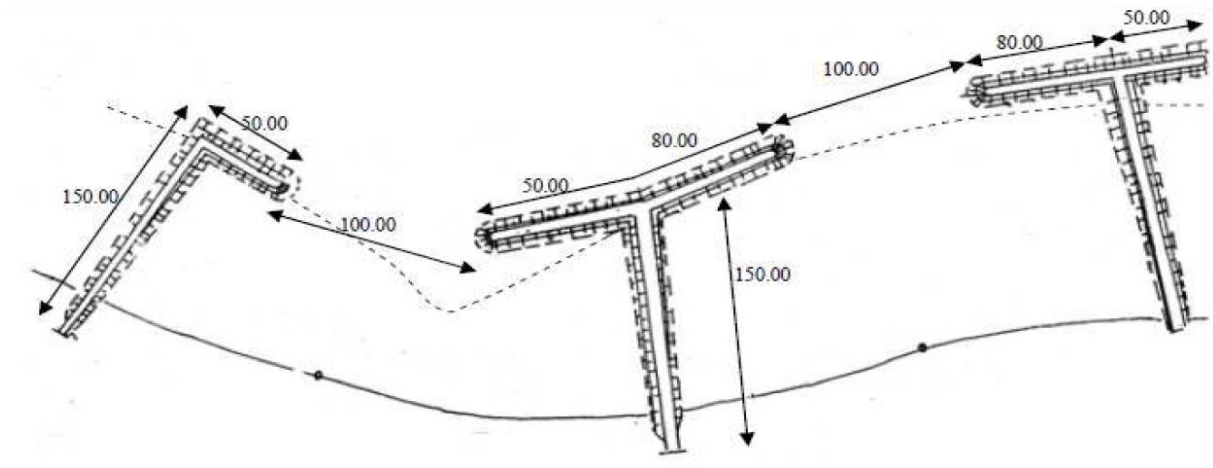


Figure 5.1 : Dimensionnement des ouvrages de protection (1985) du littoral Est de Sidi-Fredj (Mezouar, 2009).

## 5 RECOMMANDATION ET SOLUTION

Les techniques de défense contre la mer ont beaucoup évolué dans le temps et les formes traditionnelles de protection des côtes sont devenues beaucoup plus coûteuses.

Les méthodes rigides furent les premières méthodes appliquées dans le domaine de la protection des côtes. Elles consistent à mettre en place des structures solides telles que les épis et brises-lames dont l'action est de maintenir le trait de côte. Ces dernières années il y a eu apparition de techniques de plus en plus souples d'aménagement du littoral, tel que le rechargement artificiel des plages, la reconstitution des dunes et les systèmes de drainage de plage.

Aujourd'hui, on combine des méthodes souples et des méthodes rigides. D'une manière générale, l'élément le plus attractif dans l'aménagement et la réhabilitation des zones littorales est souvent une plage artificielle. Afin de minimiser les coûts d'entretien des plages artificielles, il est souvent nécessaire de réaligner l'orientation de ces plages par rapport à l'orientation naturelle du site d'intérêt. Ceci nécessite typiquement la réalisation d'une structure côtière afin de stabiliser la plage. Ainsi, dans le contexte de projet d'aménagement du littoral, l'objectif principal s'est déplacé de la simple protection côtière vers une action plus intégrée à l'environnement naturel avec la prise en compte des valeurs esthétiques et récréatives ceci pourrait être qualifié d'un aménagement du littoral avec prise en considération du développement durable. L'analyse des données hydrauliques et géomorphologiques a montré que la perte des sédiments devant Moretti est irréversible et, par conséquent, la plage ne pourra jamais s'auto reconstituer. Afin de remédier à cette situation nous proposons un rechargement de la plage par un apport sableux, (Boutiba, 1996), le rechargement artificiel de la plage de Sidi-Fredj est une solution à prendre en considération vu que la région a déjà connue des aménagements lourds qui ont eu un impact nocif sur la région.

# Conclusion



## CONCLUSION

---

Notre étude s'intitule « la modélisation de l'hydrodynamique sédimentaire soumise à l'action de la houle et des courantes applications a la cote de Sidi-Fredj », ce mémoire va se concentrer sur l'étude de la région, cela en utilisant un ensemble d'outils et de technique afin d'arriver à un diagnostic en bonne et due forme de l'état de la cote de Sidi-Fredj.

Tout d'abord, on a entamé le mémoire avec le chapitre généralité qui englobe un ensemble d'information, parmi ces informations on peut citer, le littoral et son approche systémique, les processus hydrosédimentaire ou on parle de l'hydrodynamique (vague, houle...etc.), le transport sédimentaire (modes de transport) et les différents facteurs influençant le transport sédimentaire, la morphologie des plages et des barres sableuses et enfin un petit aperçu sur l'érosion côtière et ces origines que ce soit naturelle ou anthropique.

Par la suite, on s'est intéressé à la zone d'étude Sidi-Fredj ou on a essayé de la présenter sous ces différentes formes autrement dit les différents caractéristiques de la zone que ce soit des caractéristiques géologiques et géomorphologiques, caractéristiques climatologiques, hydrologiques, océanographiques et enfin un aperçu sur l'aménagement intérieur du port de Sidi-Fredj.

Ensuite, on a entamé la partie matérielle et méthode, résultat et discussion ou on a présenté les résultats obtenus des différentes analyses, cela après avoir expliqué et énumérer les procédures d'échantillonnages et de récoltes. Parmi les études faites on peut citer :

L'étude au laboratoire qui réunit :

- Une étude granulométrique qui contient une analyse de la fraction fine, fraction grossière et une analyse modale. Cette étude nous renseigne sur la granulométrie de la zone que ce soit la granulométrie terrestre ou marine cela en réalisant des cartes (pélites, quantiles....etc.).
- Une étude calcimétrique qui nous a permis d'obtenir le pourcentage des  $\text{CaCO}_3$  dans chaque échantillon.
- Une étude de l'équivalent de sable qui nous a renseigné sur le degré de propreté de la plage de Sidi-Fredj qui est un sable très propre d'après les résultats obtenus.

L'étude bathymétrique nous renseigne sur le fond de la zone (présence de barre sableuse ou de fosse), au niveau de notre zone d'étude on remarque l'influence des infrastructures sur la morphologie sous-marine déséquilibre des profils bathymétriques.

L'évaluation du trait de côte nous a permis de connaître l'état de la zone d'étude (érosion, accumulation) et cela en estimant le trait de côte de 2015 grâce aux outils tel que le théodolite, par la suite à l'aide du logiciel ARCGIS on a pu connaître les zones qui subissent une érosion ou une accumulation et estimer le taux de cette variation. Après l'étude de l'évolution du trait de côte on est passé au bilan sédimentaire pour quantifier le taux de surface gagnée/perdue.

La modélisation de la réfraction de la houle, s'est faite en utilisant le modèle SWAN (Simulating Waves Nearshore), pour notre zone d'étude 04 directions ont été retenues : une direction

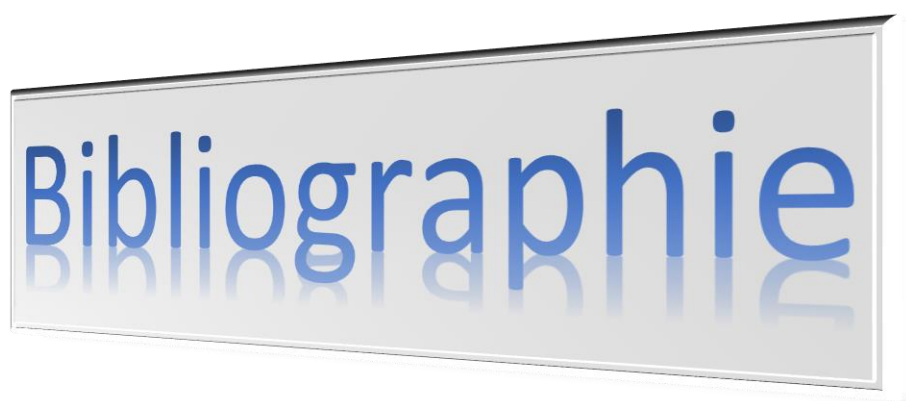
approximativement perpendiculaire à la côte ( $315^{\circ}\text{N}$ ), deux directions de houle à incidence oblique ( $270^{\circ}\text{N}$ ,  $360^{\circ}\text{N}$ ), une direction de ( $45^{\circ}\text{N}$ ) qui est plus au moins énergétique. Dans la zone Est de Sidi-Fredj, les houles proviennent des secteurs Est et Nord-Est ont une influence importante sur la plage de Sidi-Fredj.

Lors de la modélisation du transport sédimentaire, on utilise le modèle GSTA (Grain Size Trend Analysis) un modèle mathématique développé par GAO et COLLINS. Ce modèle nous a permis de modéliser le transport sédimentaire après la perturbation qu'a provoqué l'implantation des infrastructures et d'expliquer l'ensablement répétitif du port de Sidi-Fredj.

Enfin, le dernier chapitre « impact des infrastructures sur le littoral de Sidi-Fredj » nous donne un bref aperçu sur les différents aménagements qui ont été fait dans la région et leur impact. Parmi ces impacts on peut citer l'érosion côtière qui résulte de plusieurs facteurs naturels ou anthropiques et leurs interactions. Cette érosion est due en partie aux infrastructures plus précisément, à l'espacement trop important entre les ouvrages fait que les ondulations arrivent en force sur le trait de côte, la distance entre l'ouvrage et la cote est trop faible pour que la houle déferle complètement avant d'arriver à la côte. Parmi les solutions proposées étant donné que les aménagements lourds ont été déjà effectués le rechargement artificiel des plages qui est une solution à prendre en compte.

Donc toutes ces études nous ont permis de nous familiariser et d'approfondir nos connaissances avec les techniques d'analyse et de diagnostique mais étant donné la complexité du système littoral, la tâche est de plus en plus compliquée pour essayer de comprendre les phénomènes et proposer des solutions adéquates qui doivent être généralement sous forme d'un compromis entre la nature et l'homme.

# Bibliographie



## BIBLIOGRAPHIE

- AINI, A. (2012).** *Morphodynamique de la zone côtière Est de la presqu'île de Sidi-Fredj (Ouest d'Alger)*. Mémoire de Magister, U.S.T.H.B, Alger. p105-106.
- AMGHAR, L. & SAHRAOUI, E. (2005).** *Etude géologique et géotechnique d'un projet de complexe hôtelier à Staoueli (Alger)*. Mémoire d'ingénieur, U.S.T.H.B, Alger.
- ASSASSI, C. & OTMANI, H. (2010).** *Etude de protection de la zone de Club des Pins*. Mémoire d'ingénieur, ENSSMAL, Alger. p11-12.
- ASSELMAN, N. (1999).** Grain-size trends used to assess the effective discharge for floodplain sedimentation, River Waal, the Netherlands. *Journal of Sedimentary Research*. p51-61.
- BARUSSEAU, J. & SAINT-GUILY, B. (1981).** *Disposition caractères et formation des barres d'avant cote festonnées du golfe du lion*. *Oceanologica Acta* 4.
- BAYRAM & LARSON. (2000).** *Wave transformation in the nearshore zone : comparison between a boussinesq model and field data*. *Coast. Eng.*
- BELLAHSENE, Y. & MESSAOUDI, S. (2005).** *Etude bathymétrique, sédimentologique et pollution par les métaux lourds de la baie d'El Djamila*. Mémoire d'ingénieur, ISMAL, Alger. p19-41.
- BENALLAL & OURABI, K. (1989).** *Etude hydrogéologique et géotechnique de la zone côtière de Staoueli-Sidi Fredj (Ouest Algérois)*. Mémoire d'ingénieur, U.S.T.H.B, Alger.
- BENZOHR, M. (1993).** *Les structures hydrodynamiques le long des cotes Algérienne*. Centre d'Océnologie de Marseille, France. 33 p.
- BONNEFILLE. (1992).** *Cours d'Hydraulique Maritime. 3e éd.* Paris. 208 p.
- BONNETON. (2003).** *Dynamique non-linéaire des vagues en zone de surf interne*. *Revue Française de Génie Civil*.
- BONNETON et al. (2004).** *Wave transformation and energy dissipation in the surf zone : comparison between a non-linear model and field data*. *Journal of Coastal Research* SI 39.
- 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, Alger. p122-123.
- CARMENE, B. (2002).** *Modélisation numérique du transport sédimentaire sur une plae sableuse*. Ph.D, Université Grenoble I, France.
- CASTELLE, B. (2004).** *Modélisation de l'hydrodynamique sédimentaire au-dessus des barres sableuses soumises à l'action de la houle : application à la côte aquitaine*. Thèse de doctorat, Université Bordeaux 1, France. 342 p.
- COOK. (1970).** *The occurrence and geologic work of rip current off southern califonia*. *Marine Geology* 9.
- CORDIER, E. (2007).** *Dynamique hydrosédimentaire du récif frangeant de l'Hermitage/La Saline (La Réunion) : Processus physiques et flux sédimentaires*. Thèse de Doctorat, Université de la Reunion. 193 p.

- COWELL & THOM. (1994).** *Morphodynamics of coastal evolution. In: R.G.W., Carter & Woodroffe, C.D., (Ed.s), Coastal Evolution: Late Quaternary shoreline morphodynamics.* Cambridge University Press. p33-86.
- DE VRIEND et al. (1993).** *Approaches to long-term modelling of coastal morphology.* Coastal Engineering. p305-327.
- DESMAZES, F. (2005).** *Caractérisation des barres sableuses d'une plage de la côte aquitaine. Exemple de la plage du truc vert.* Thèse de doctorat, Université Bordeaux 1, France. 291 p.
- EMOD. (2015).** *European Marine Observation and Data Network* [en ligne]. Consulté le [12.03.2015]. Disponible à l'adresse < <http://portal.emodnet-bathymetry.eu/mean-depth-rainbow-colour-ramp-no-land-data>. >
- FREDSOE, J. & DEIGAARD, R. (1994).** *Mechanics of coastal sediment transport.* Vol. 3. Advanced Series on Ocean Engineering, World Scientific Edition.
- GAO, S. & COLLINS, M. (1994a).** Analysis of grain-size trends for defining sediment transport. *Journal of Coastal Research.* Vol. 10. p70-78.
- GAO, S. & COLLINS, M. (1994b).** Net sediment transport patterns inferred from grain-size trends, based upon definition of "transport vectors" reply. *Sedimentary Geology.* p157-159.
- GLANGEAUD. (1932).** *Etude géologique de la région littorale de la province d'Alger.* Bull. Série. Carte géologique. Alger.
- GLANGEAUD et al. (1952).** *Histoire géologique de la province d'Alger.* publ. XIX<sup>ème</sup> CGI. Monogr. Région, 1<sup>ère</sup> sér. Algérie. n° 25.
- GOLDSMITH, V. et al. (1982).** *Sequential stage development of crescentic bars : Hahoterim beach southeastern mediterranean.* Journal of Sedimentary Petrology. p147-175.
- GOUCEM, T. & REBHI, M. (2011).** *Port de Sidi Fredj : quantités de sédiments à draguer.* D.E.U.A., ENSSMAL, Alger.
- GOURLAY, M. (1968).** *Beach and dune erosion test.* Delft Hydraulics Laboratory.
- 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.
- GUIGO, M. (1991).** *Gestion de l'environnement et études d'impact.* Masson, coll., Paris.
- INMAN, D. et al. (1971).** *Mixing in the surf zone.* Journal of Geophysical Research 76 (C15).
- JAUD, M. (2011).** *Techniques d'observation et de mesure haute résolution des transferts sédimentaires dans la frange littorale.* Université de Bretagne occidentale, France. 31 p.
- JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N°10. (2002).** *Loi n° 02-02,* 18.
- KOMAR, P. (1998).** *Beach Processes and Sedimentation.* Prentice- Hall, USA.
- KRAUS. (2001).** *On equilibrium properties in predictive modeling of coastal change.* Proceedings of Coastal Dynamics'01. Suede. p1-15.
- KROON. (1994).** *Sediment transport and morphodynamics of the beach and nearshore zone, near Egmond, The Netherlands.* These de Doctorat, Université Utrecht (NL). 275 p.

- KULKARNI. (2002).** *Morphodynamique de zone de swash*. Thèse de doctorat, Université de Caen.
- LARSON & KRAUS. (1995).** *Prediction of cross-shore sediment transport at different spatial and temporal scales*. *Marine Geology*. p111-127.
- LIPPMANN, T. & HOLMAN, R. (1990).** *The spatial and temporal variability of sand bar morphology*. *Journal of Coastal Research*.
- LOSSON, B. & CORBONNOIS, J. (2006).** *Les modes de sédimentation détritique : nouvelle méthode de détermination appliquée à des remplissages endokarstiques*. *Geologica Belgica*, vol. 9, n° 3-4, Bruxelles.
- MC LAREN, P. & BOWLES, D. (1985).** The effects of sediment transport on grain-size distributions. *Journal of Sedimentary Petrology*. p457-470.
- MEZOUAR, K. (2009).** *Etude comparative entre les méthodes de protection des deux littoraux algérien et roumain*. Thèse de doctorat, Université Technique de Construction de Bucarest. 404 p.
- MILLOT, C. (1987).** *Circulation in the western Mediterranean sea*. *Oceanologica Acta*. Vol 10.
- MILLOT, C. et al. (1990).** The Algerian eddies. *Earth Scienc Reviews*. p203-219.
- MUNK. (1949).** *Surf beat*. *Eos Trans*.
- OTMANI, H. (2014).** *Impact des infrastructures maritimes sur le littoral : cas du port de Cap Djinet*. Thèse de magister, ENSSMAL, Alger. p31-40.
- RIVIERE, A. (1977).** *Méthodes granulométriques, techniques et interprétations*. Paris : Masson. 167 p.
- RUSSINK & VAN ENCKEVORT. (2000).** *The behavior of nearshore bars on the time scale of years : a conceptual model*. *Marine Geology*.
- RUSSINK & KROON. (1994).** *The behavior of a multiple bar system in the nearshore zone the netherlands*. *Marine Geology*.
- S.S.M.O. (1963-1970).** Tome II Zone Algérienne.
- SHAFER, H. et al. (1993).** *A boussinesq model for waves breaking in shallow water*. *Coast. Eng.* 202 p.
- SHORT, A. (1999).** *Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics*. USA : Wiley.
- SUNAMURA, T. (1988).** *Beach morphologies and their changes*. University of Tokyo Press.
- TUCKER. (1950).** *Surf beats : sea waves of 1 to 5 min. period*. *Philos. London : Trans. R. Soc.*
- VAN RIJAN. (1998).** *Principles of Coastal Morphology*. Aqua Publications, Amsterdam.
- WOLFT. (1997).** *Hydrodynamics sediment transport and daily morphological development of a bar-beach system*. University Utrecht.
- WRIGHT & SHORT. (1984).** *Morphodynamic variability of surf zone and beaches : a synthesis*. *Marine Geology*. p412-459.
- ZEMENZER, S. (2004).** *Ensemblement du port par transport sédimentaire simulation et application du modèle de Gao et Collins (1994) au port de Sidi Fredj*. Mémoire d'ingénieur, ISMAL, Alger. p 31-41.

# Annexes



## Prélèvement et échantillonnage

### Prélèvement a la cote « piège à sédiment »



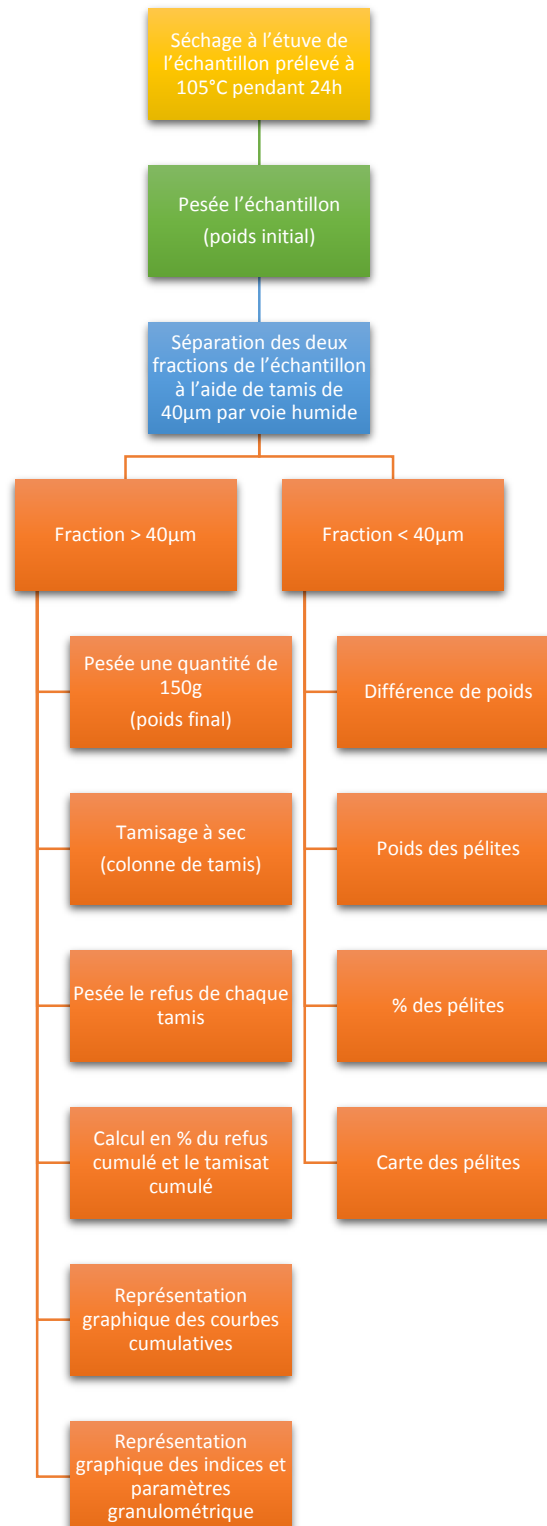
**Photo :** Les 3 pièges à sédiments



**Photo :** Numérotation des différentes nacelles du piège a sédiments

## Etude au laboratoire

### Etude granulométrique



**Figure :** Schématisation des différentes étapes à suivre lors d'une analyse granulométrique



Photo : Application des différentes étapes de l'étude granulométrique



**Photo :** Utilisation des différents appareils au laboratoire

## Etude de l'évolution du trait de cote

### Logiciel « ARCGIS »

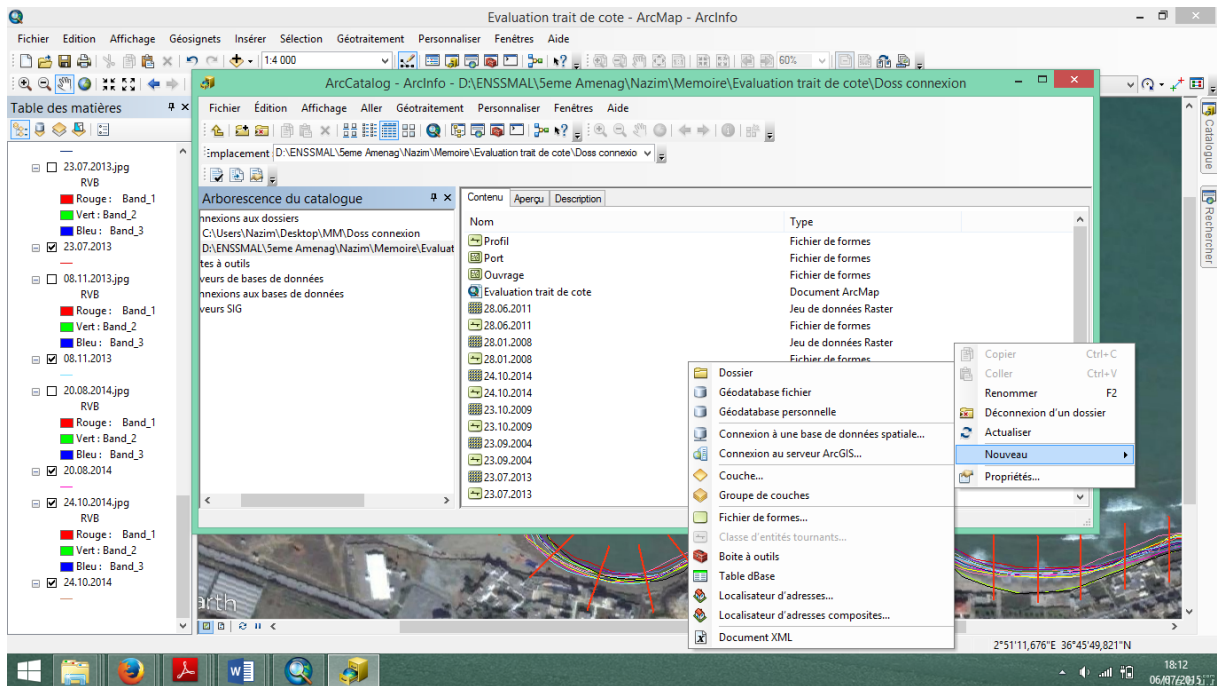


Figure : Ajout de fichier de forme

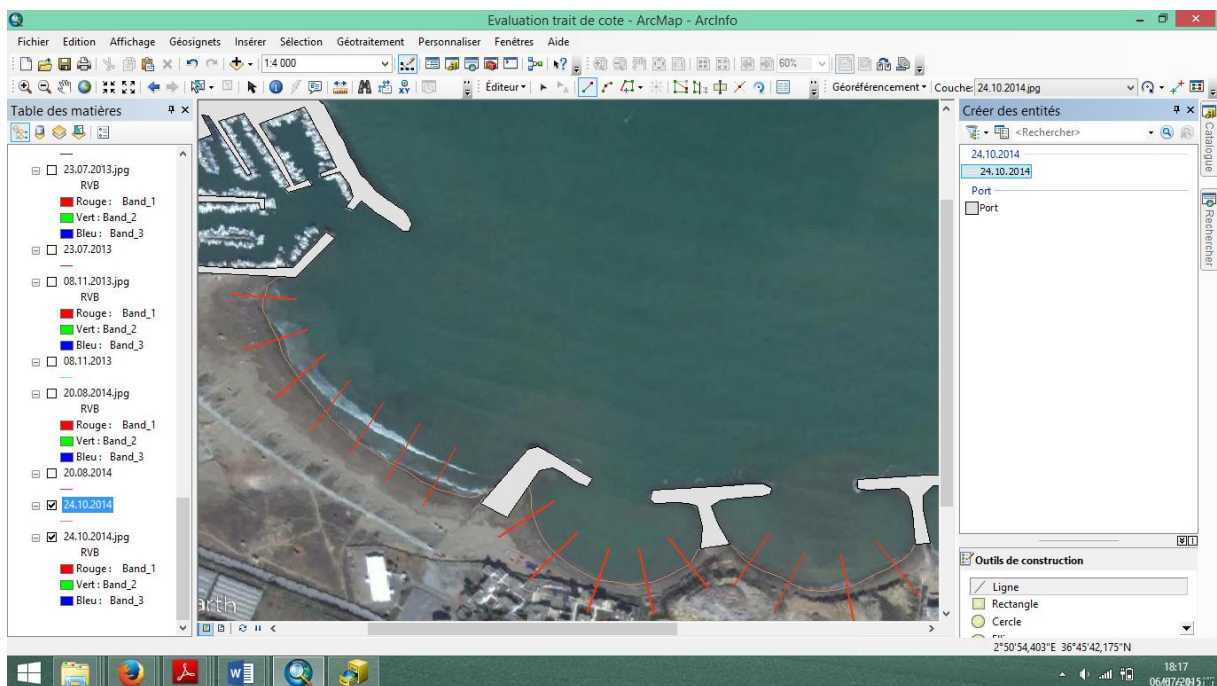


Figure : Digitalisation du trait de côte du 24.10.2014

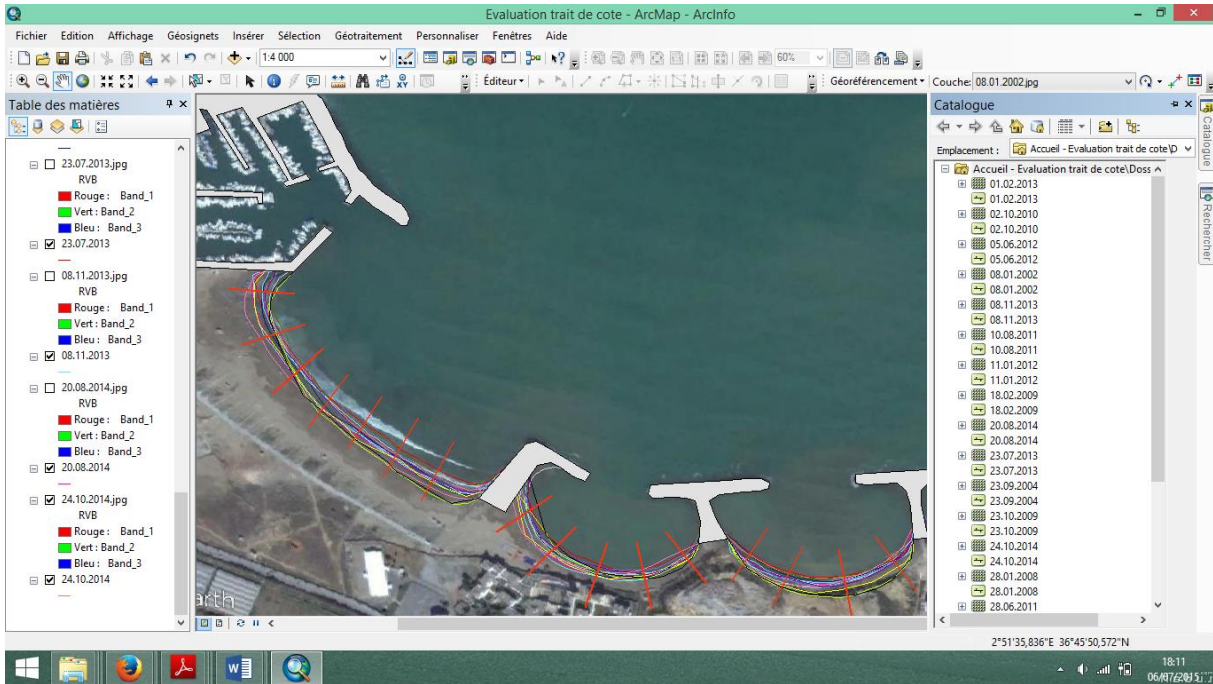


Figure : Superposition du trait de côte des différents périodes

## Modélisation de la réfraction de la houle SWAN (Simulating Waves Nearshore)

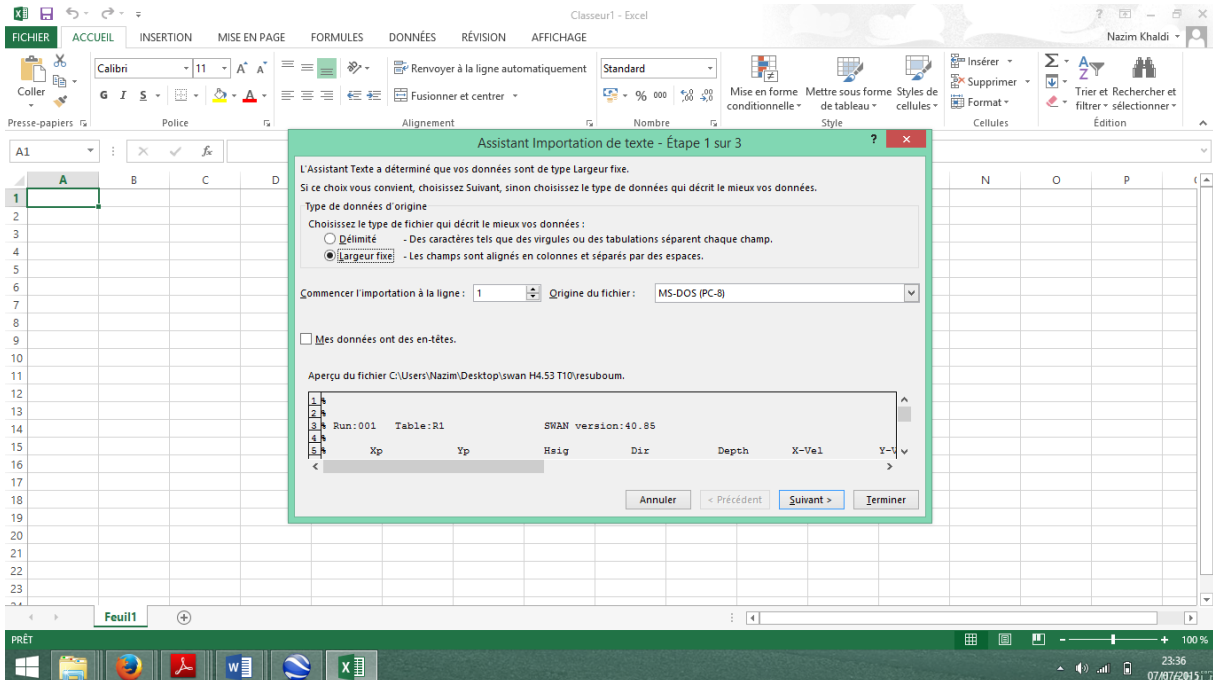


Figure : Préparation de la grille sous Excel

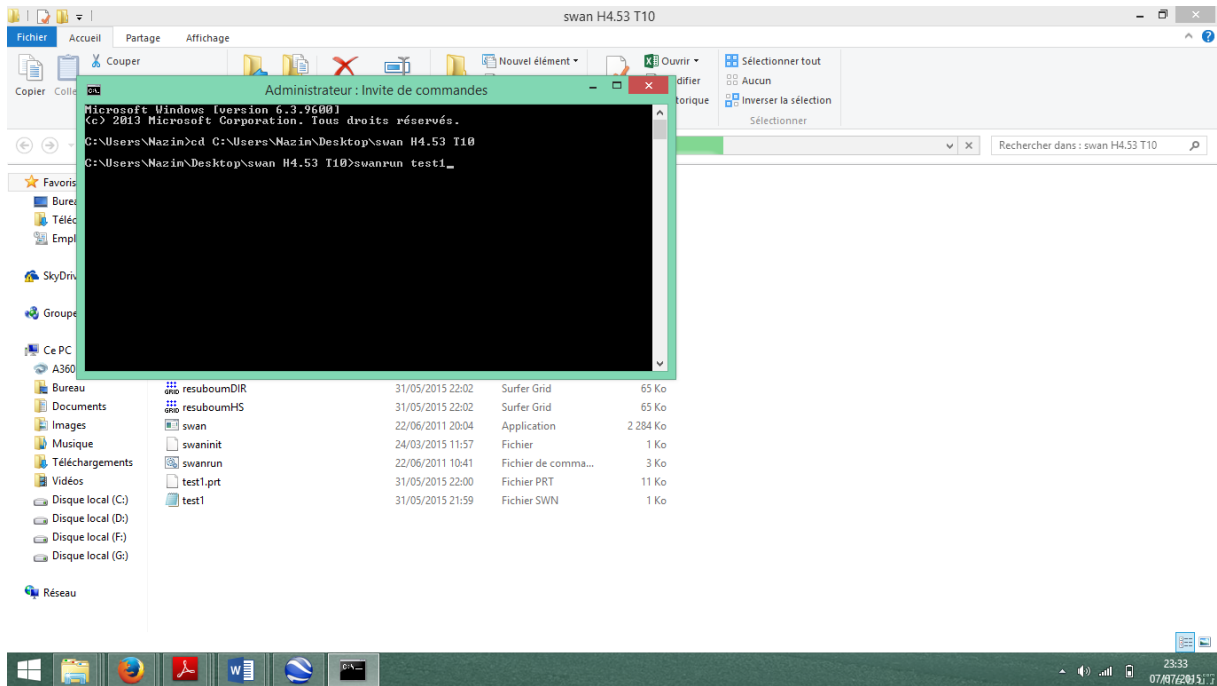


Figure : Lancement de l'exécution de SWAN (swanrun)

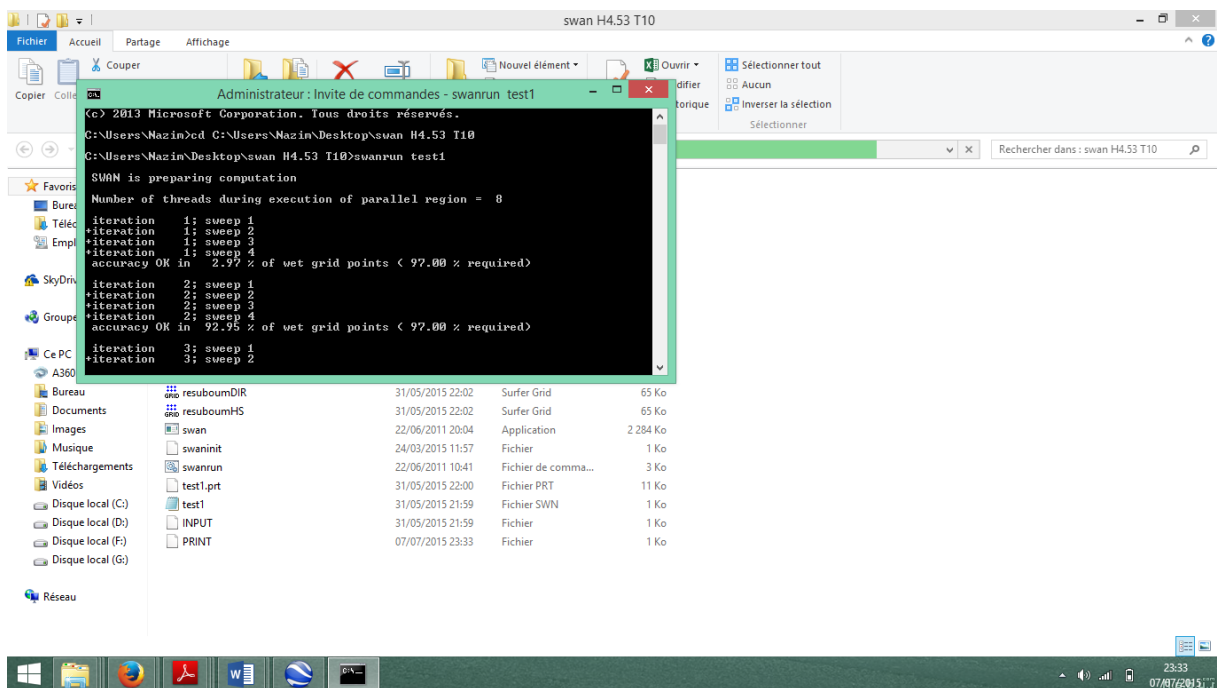


Figure : Exécution de SWAN

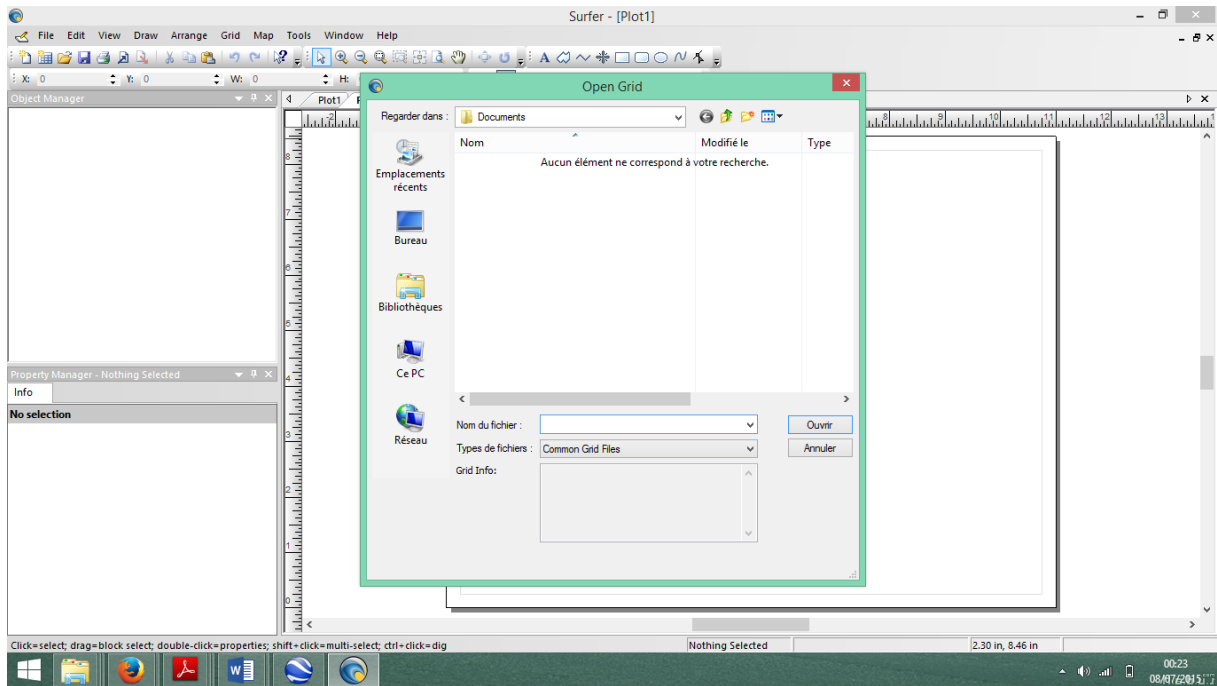


Figure : Représentation des résultats par le logiciel (Surfer 11)

## Modélisation du transport sédimentaire GSTA (Grain Size Trend Analysis)

GSTA exige que le fichier d'entre soit en format (.dat), le logiciel surfer permet de convertir le fichier de (.xls) au format (.dat).

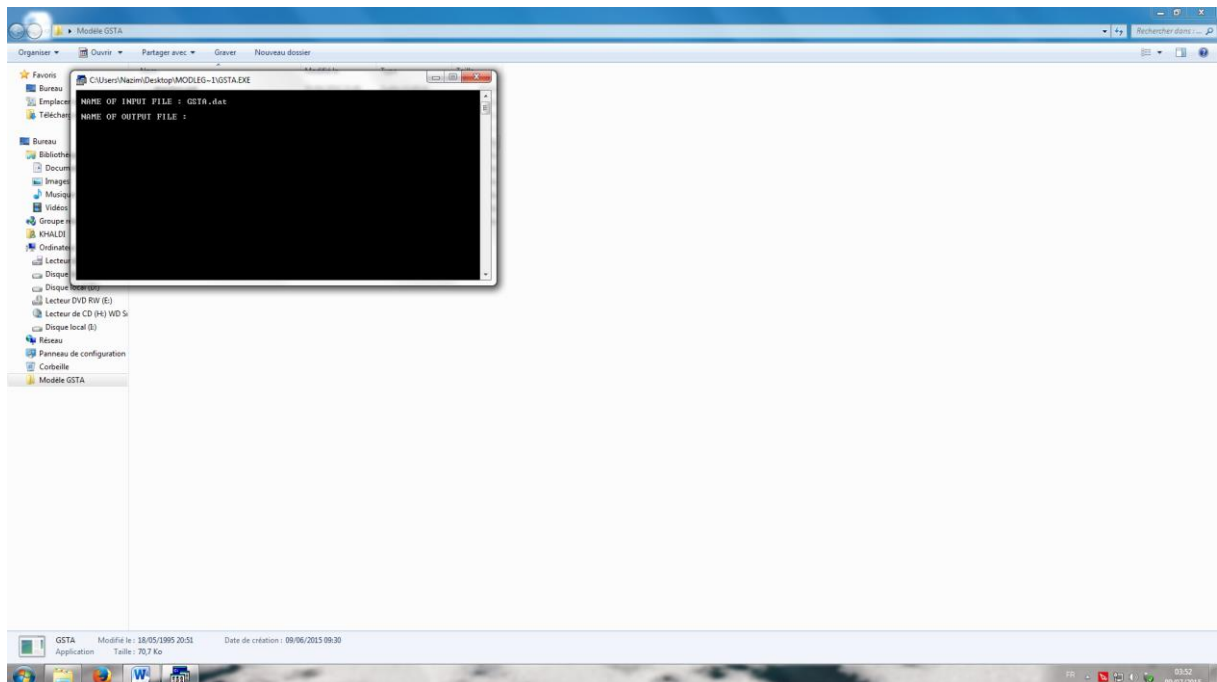


Figure : Lancement de GSTA

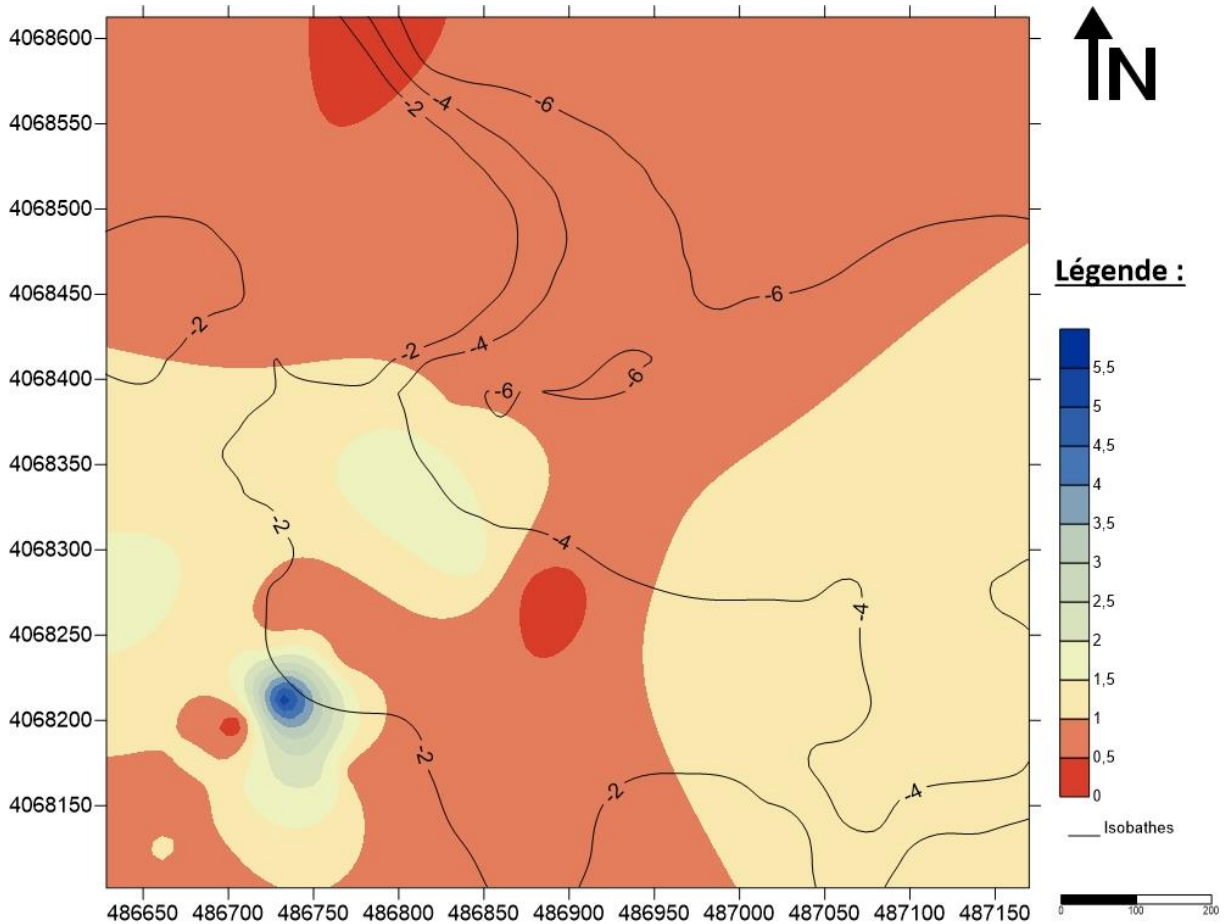
Les résultats obtenus peuvent être représentés graphiquement à l'aide du logiciel surfer.

## Etude au laboratoire

## Etude granulométrique

## Prélèvement en mer « benne preneuse »

## Analyse de la fraction fine



**Figure :** Répartition des pélites dans la zone de prélèvement

## Analyse de la fraction grossière

## LES PARAMETRES DE POSITION

## LES QUANTILES

D10 (décile inférieur) :

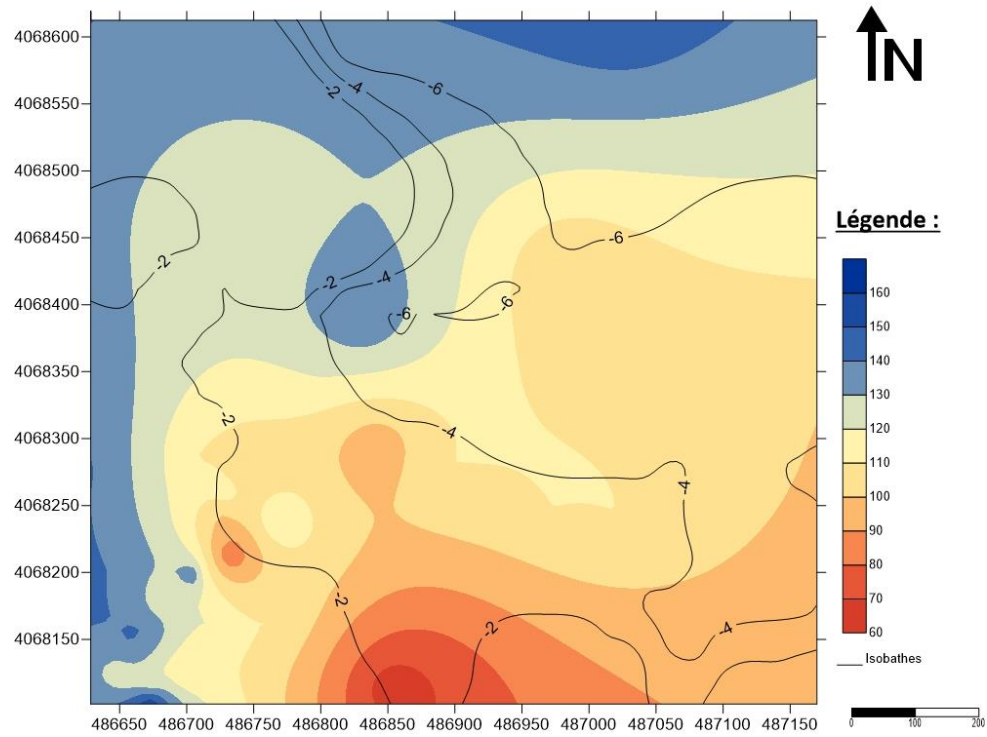


Figure : Répartition des D10 dans la zone de prélèvement

Q1 (quartile inférieur) :

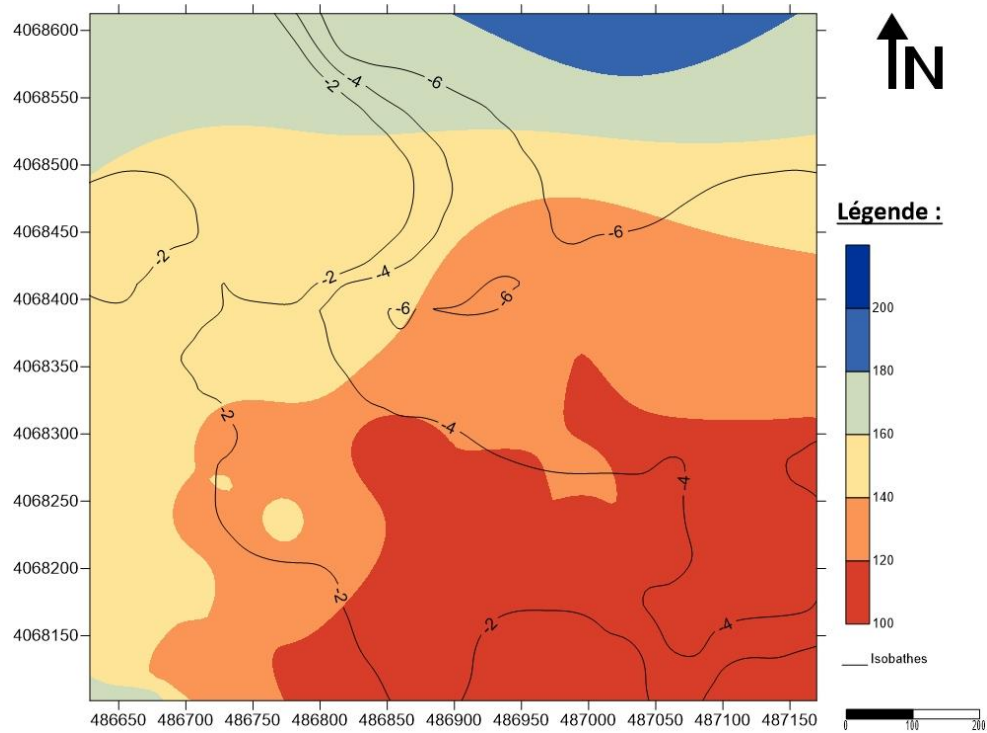


Figure : Répartition des Q1 dans la zone de prélèvement

D50 (médiane) :

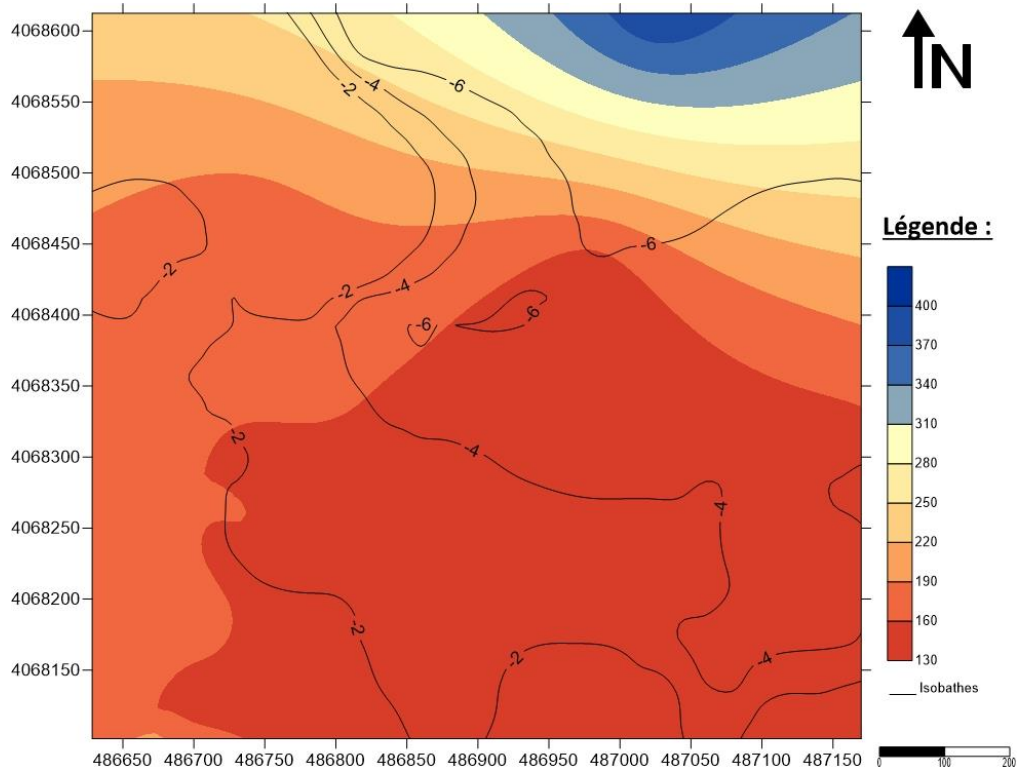


Figure : Répartition des D50 dans la zone de prélèvement

Q3 (quartile supérieur) :

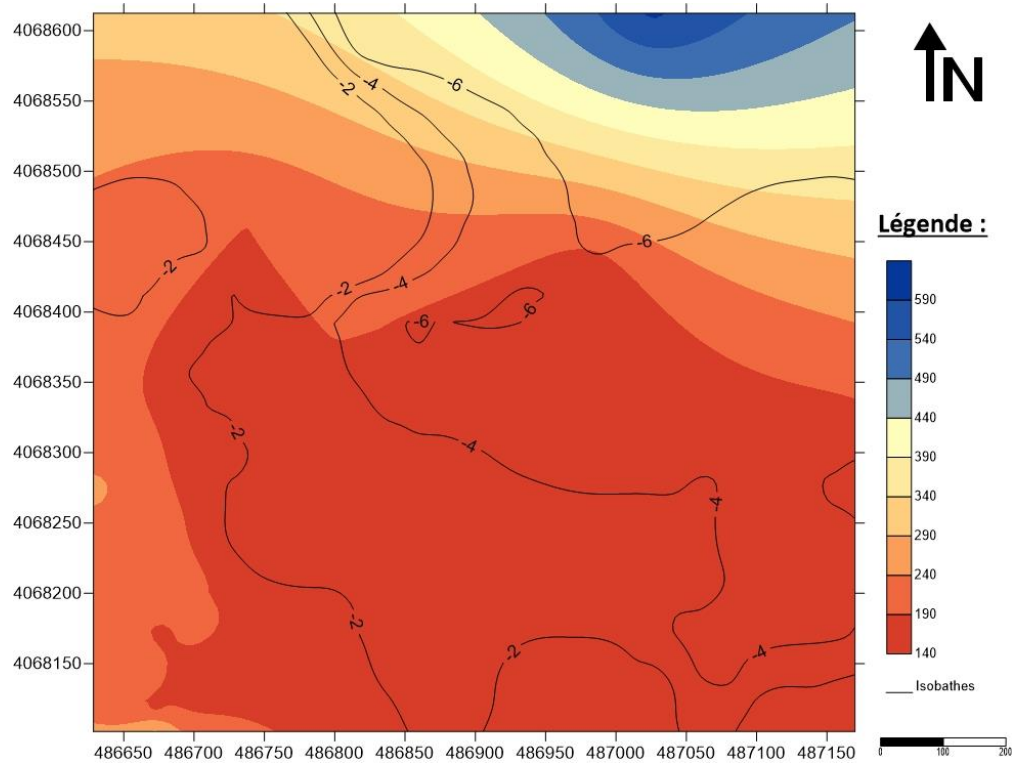


Figure : Répartition des Q3 dans la zone de prélèvement

D90 (décile supérieur) :

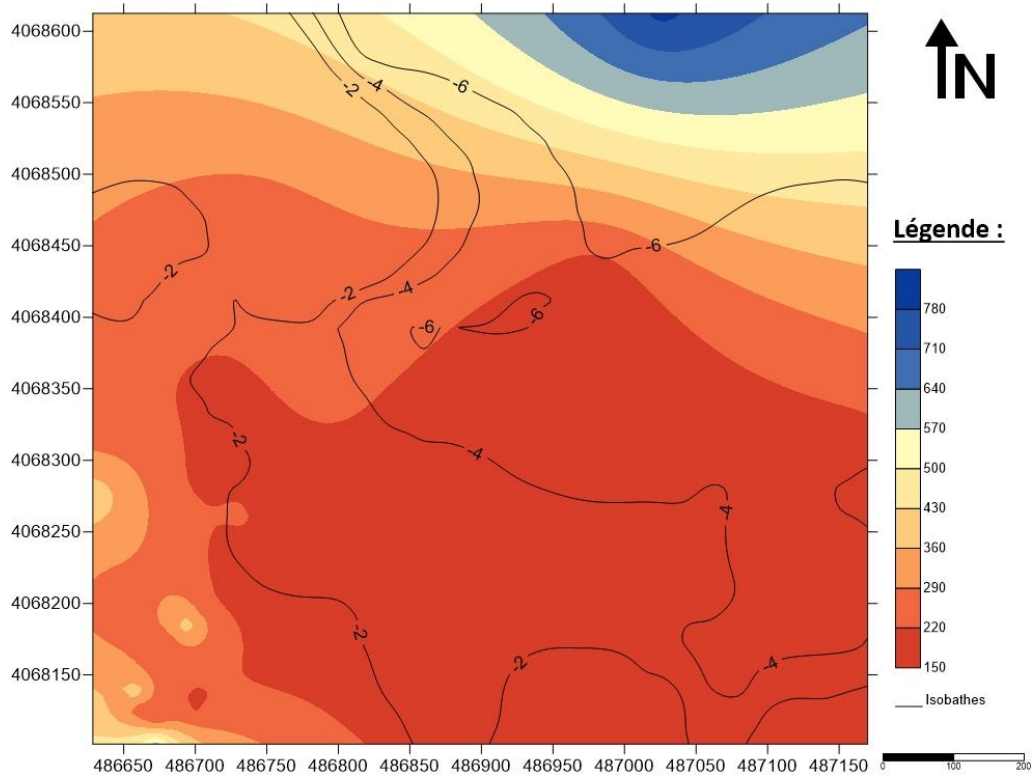


Figure : Répartition des D90 dans la zone de prélèvement

Diamètre moyen Mz :

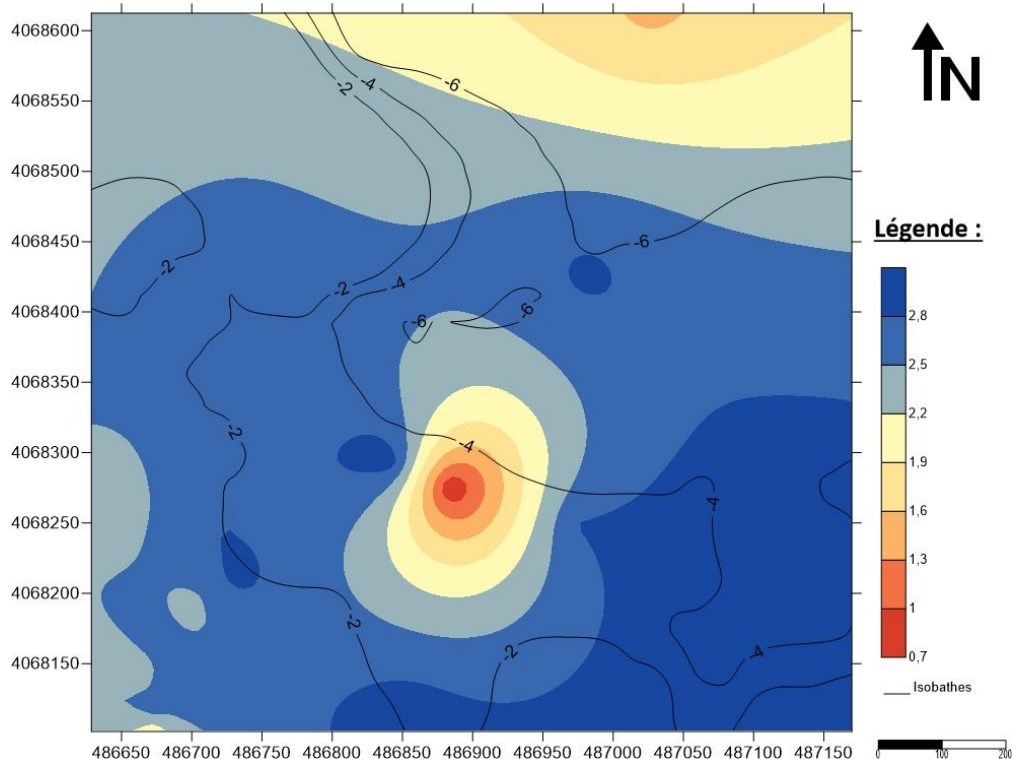


Figure : Répartition du diamètre moyen dans la zone de prélèvement

## Analyse modale

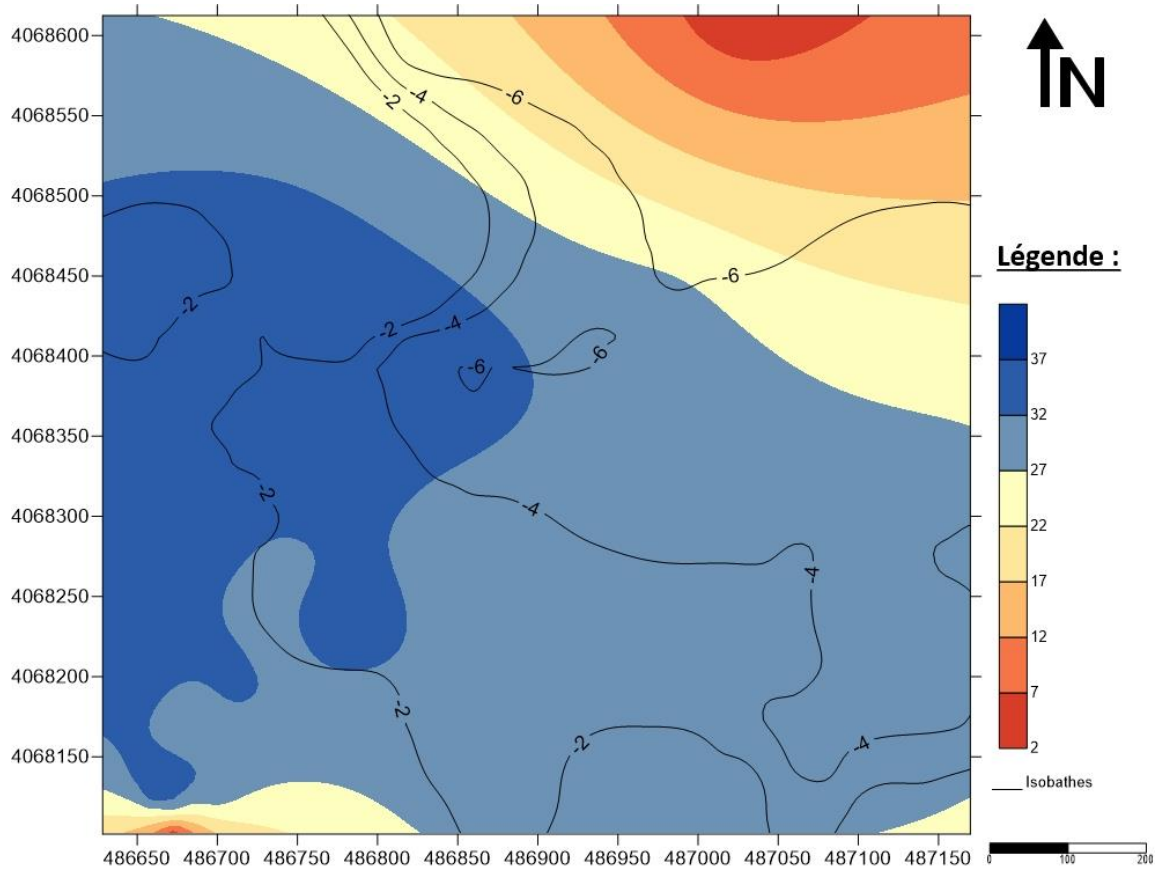
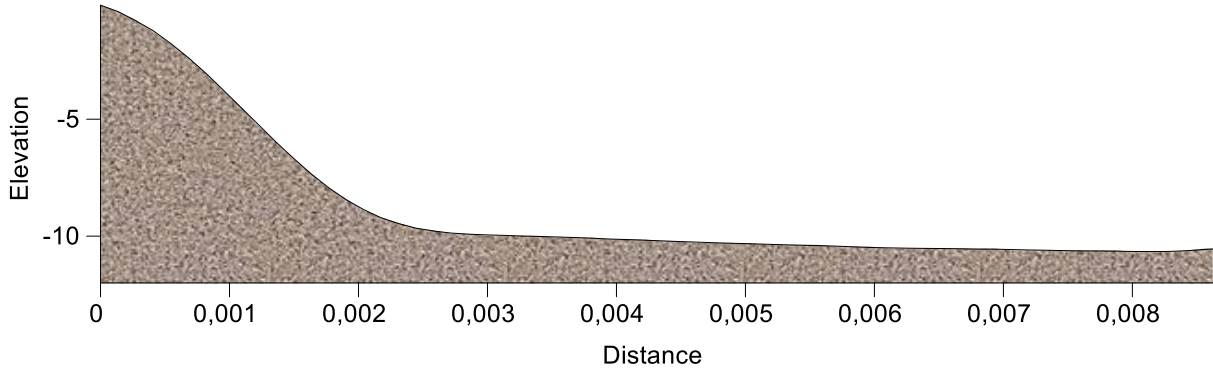


Figure : Répartition du mode dans la zone de prélèvement

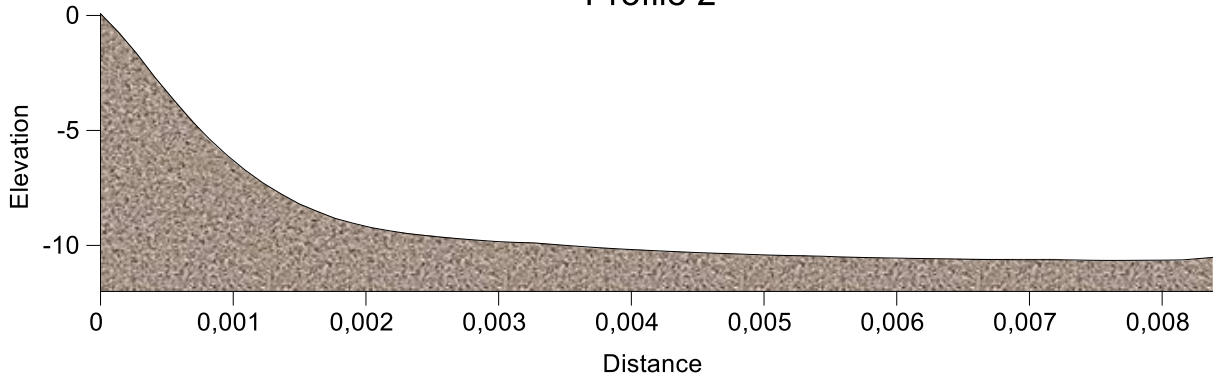
## Etude bathymétrique

### Profils bathymétriques

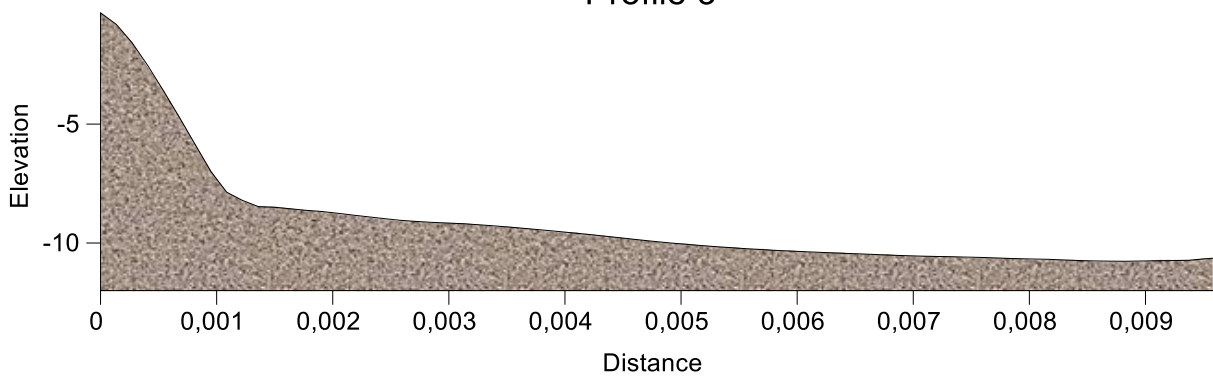
Profile 1



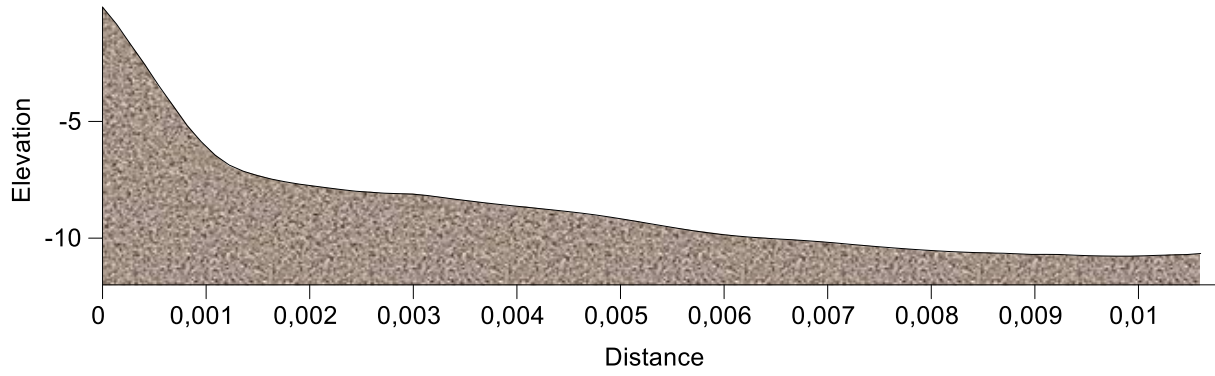
Profile 2



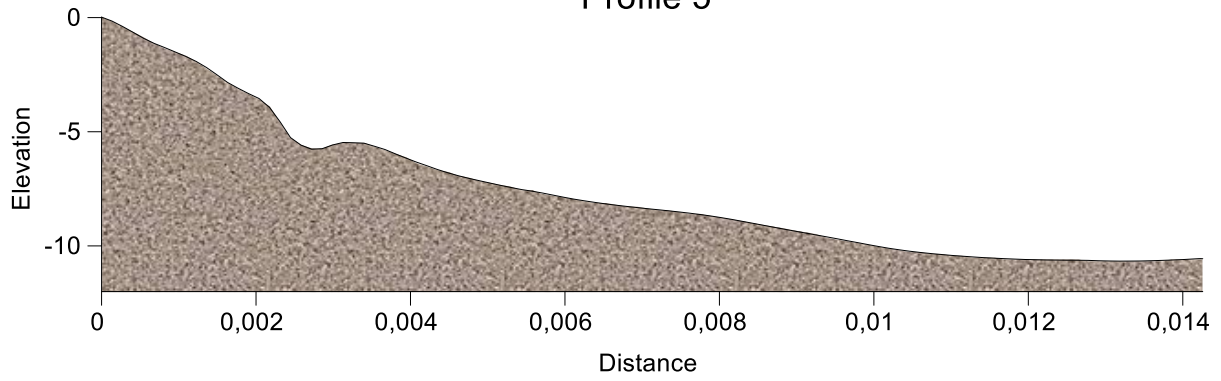
Profile 3



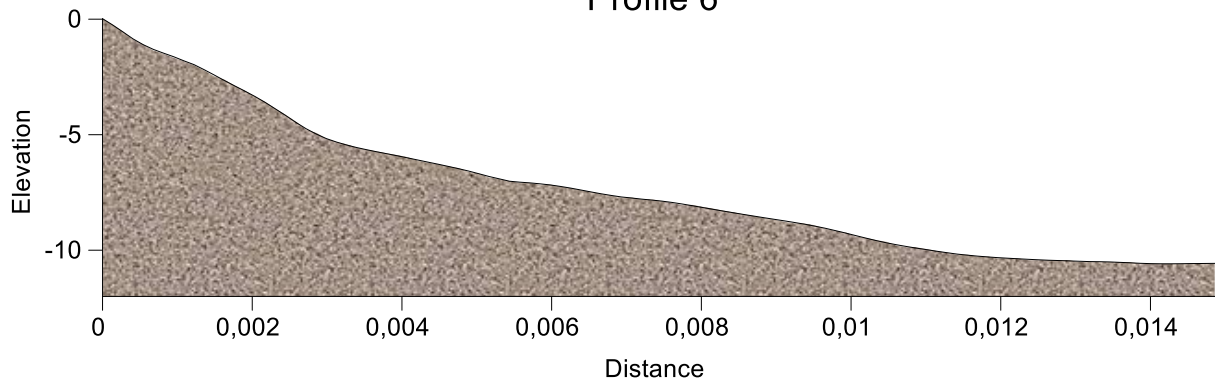
Profile 4



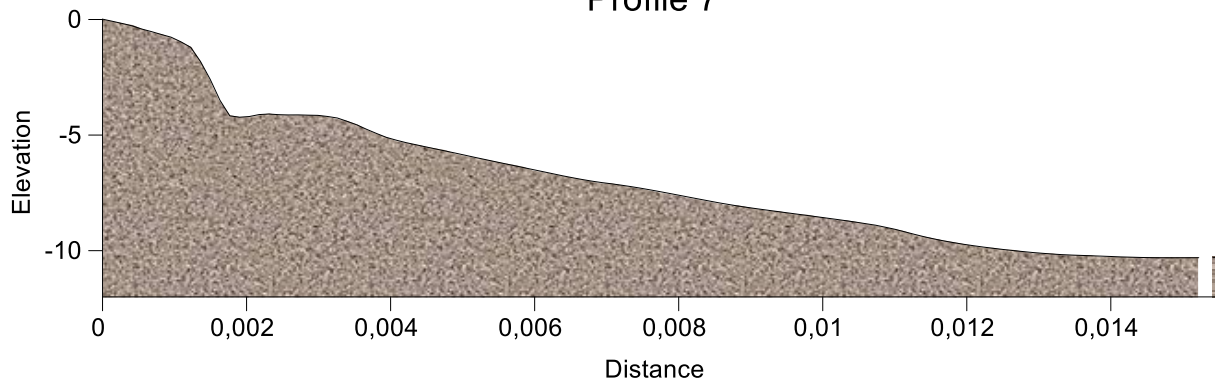
Profile 5



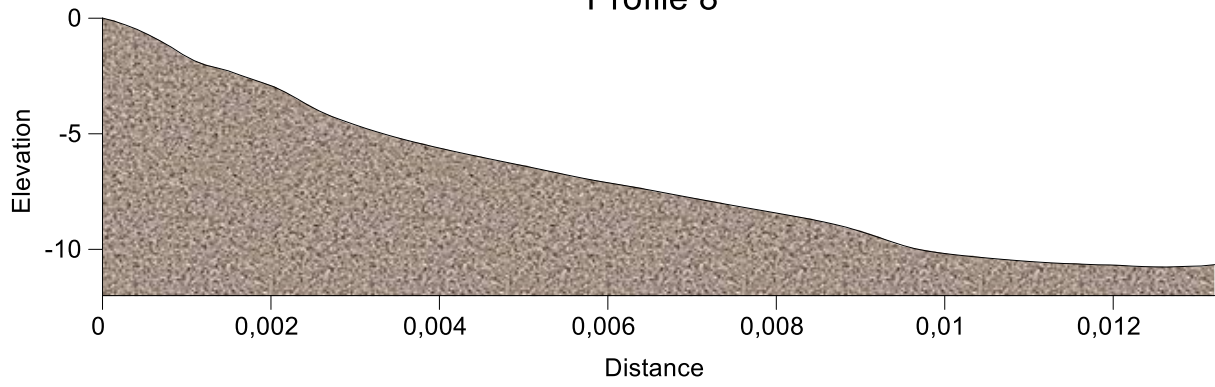
Profile 6



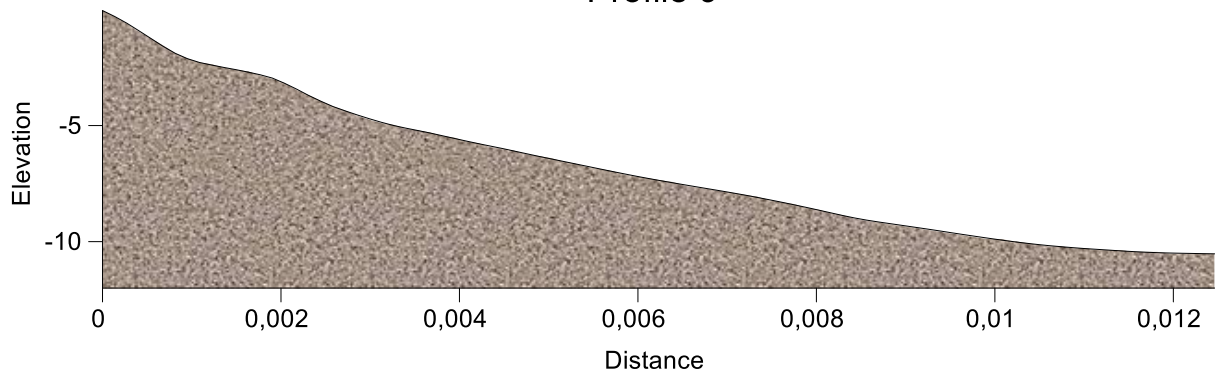
Profile 7



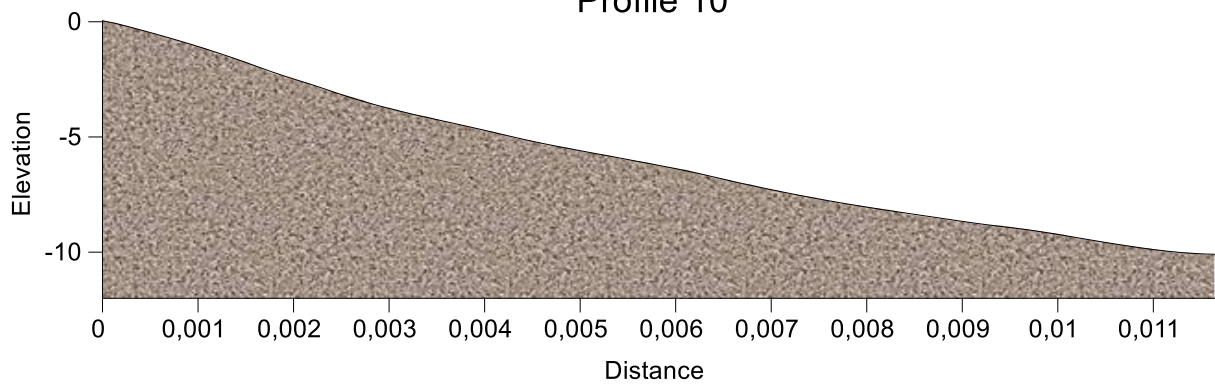
Profile 8



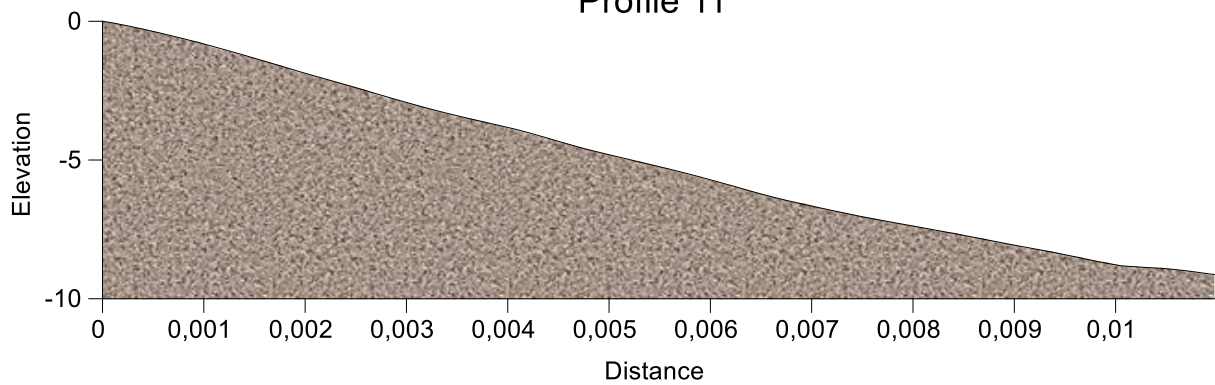
Profile 9

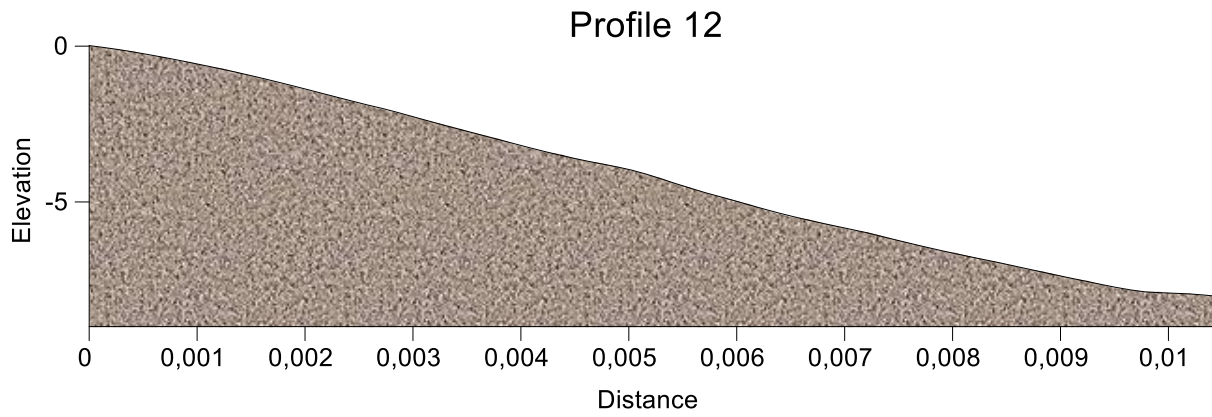


Profile 10



Profile 11





## Modélisation de la réfraction de la houle

	Direction de la houle au large							
	N 270°		N 315°		N360°		N45°	
Période	Kr	Dir (degré)	Kr	Dir (degré)	Kr	Dir (degré)	Kr	Dir (degré)
6s	0,65	285,95	0,86	307,05	0,93	282,41	0,89	40,32
8s	0,65	286,82	0,84	307,35	0,88	280,20	0,84	44,88
10s	0,54	288,12	0,71	308,47	0,70	237,99	0,65	47,04
Moyenne	0,61	286,96	0,81	307,62	0,84	266,87	0,79	44,08

NB :

Kr : coefficient de réfraction

Dir : direction

## Les houles au large de direction Ouest

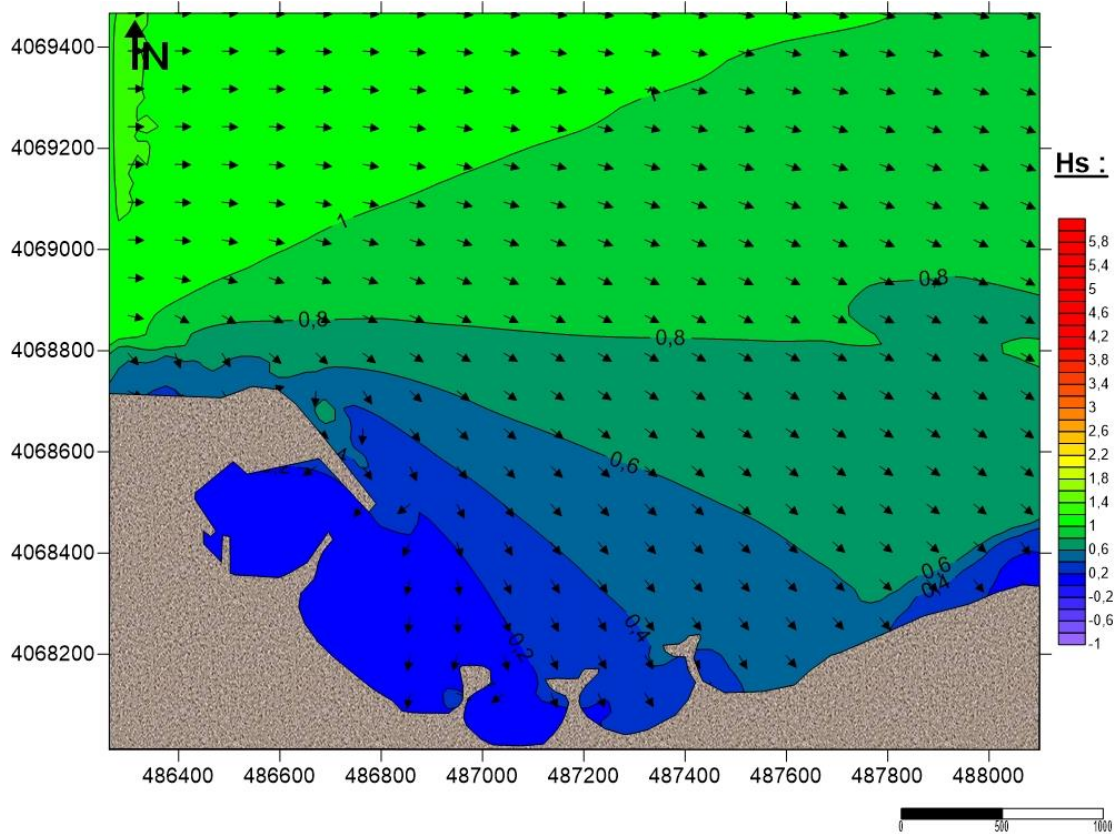


Figure : Réfraction de la houle pour une direction  $270^{\circ}\text{N}$  et une période de 6s

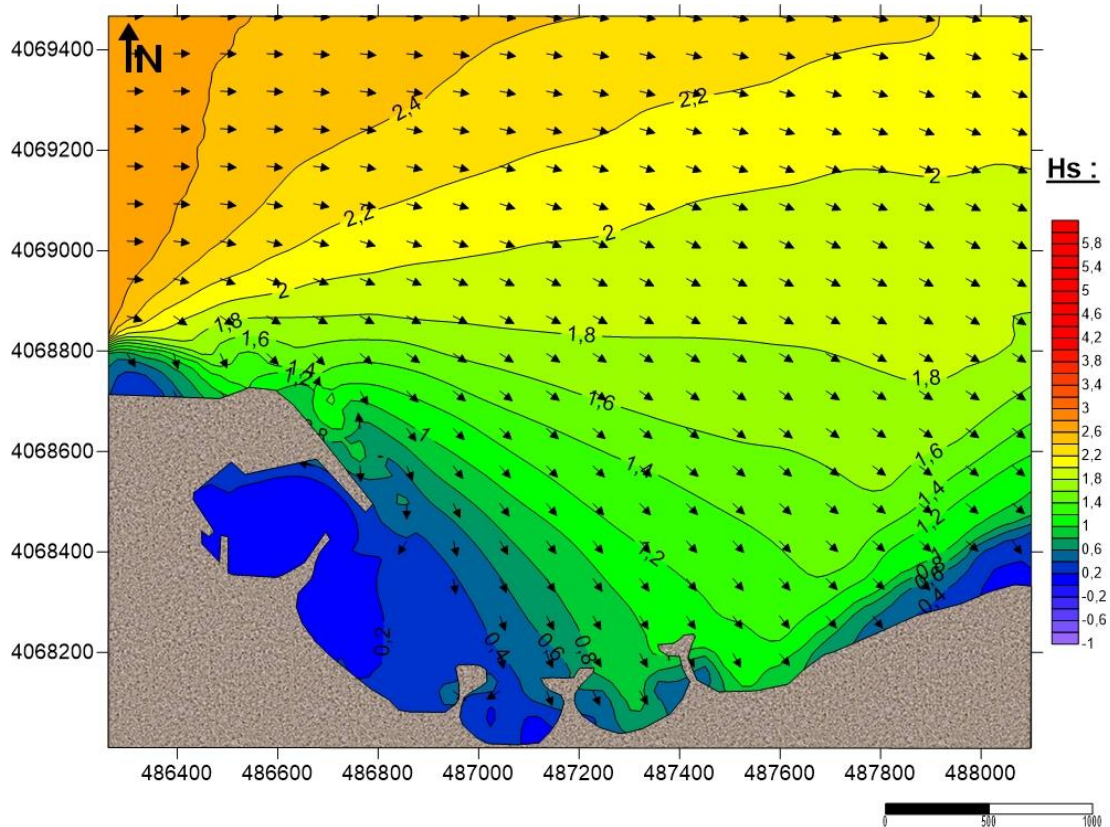


Figure : Réfraction de la houle pour une direction  $270^{\circ}\text{N}$  et une période de 8s

## Les houles au large de direction Nord-Est

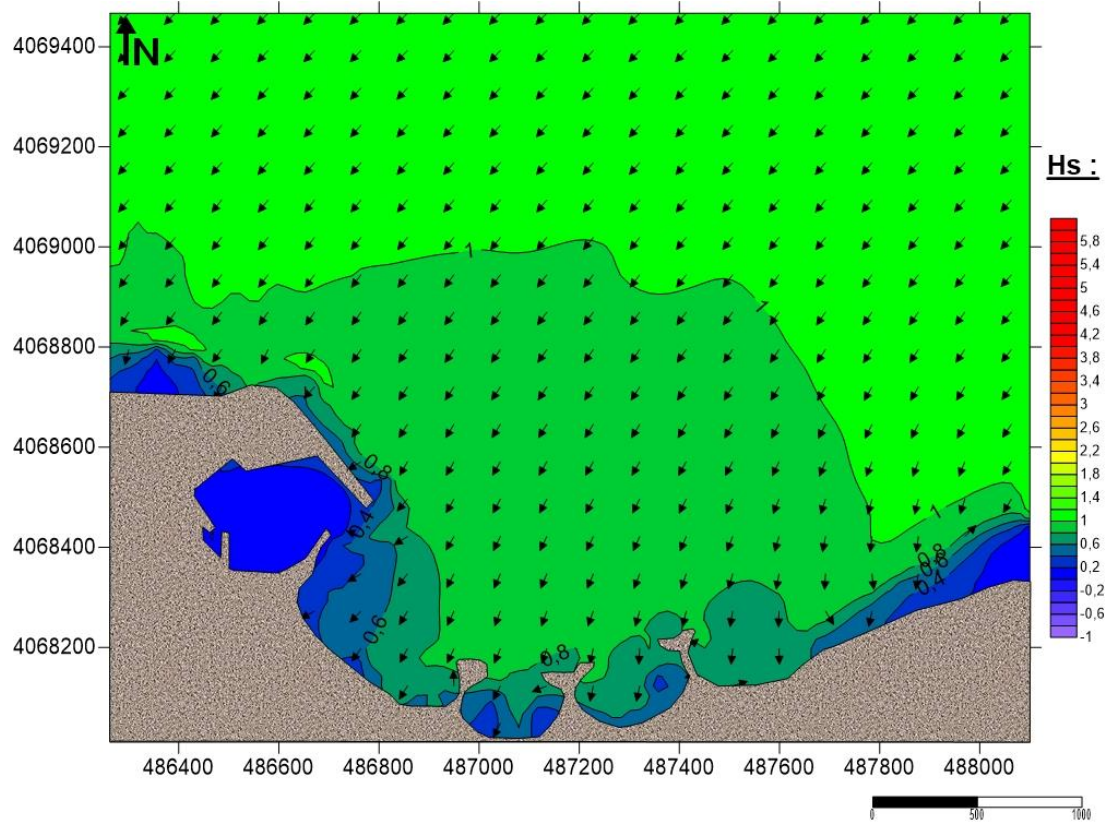


Figure : Réfraction de la houle pour une direction  $45^{\circ}\text{N}$  et une période de 6s

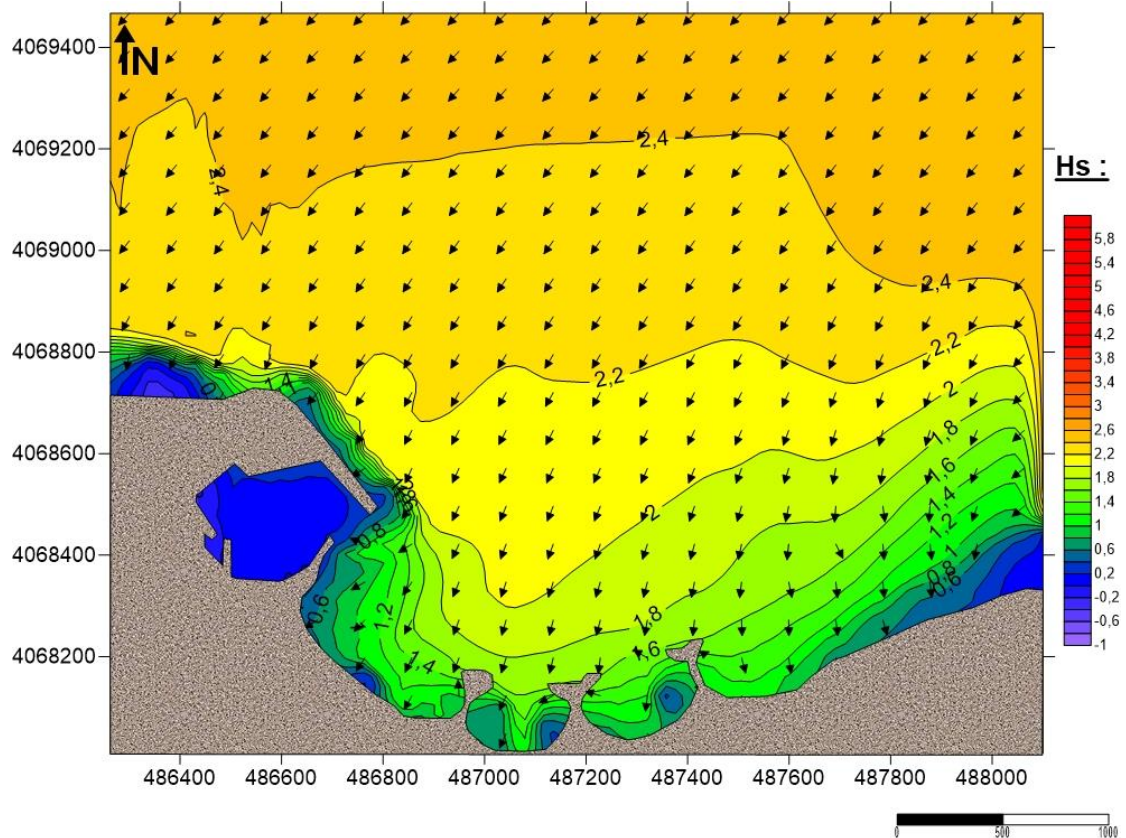


Figure : Réfraction de la houle pour une direction  $45^{\circ}\text{N}$  et une période de 8s

## Les houles au large de direction Nord

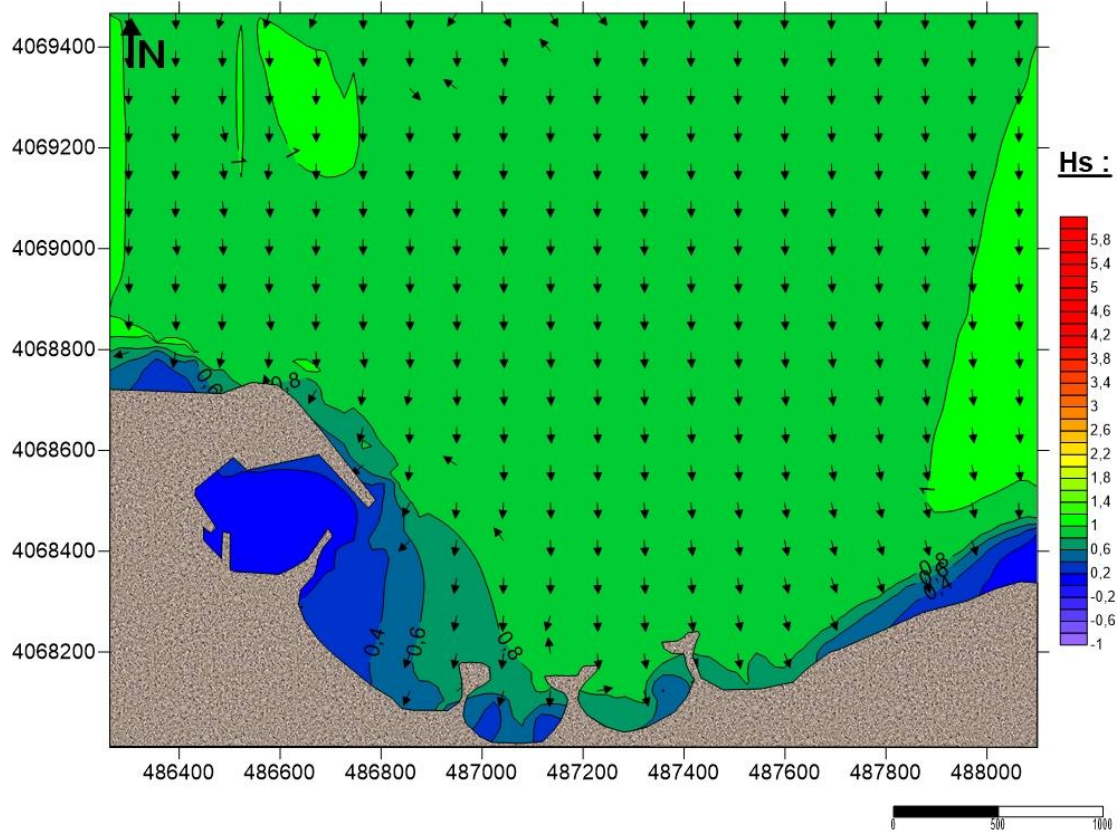


Figure : Réfraction de la houle pour une direction  $360^{\circ}$ N et une période de 6s

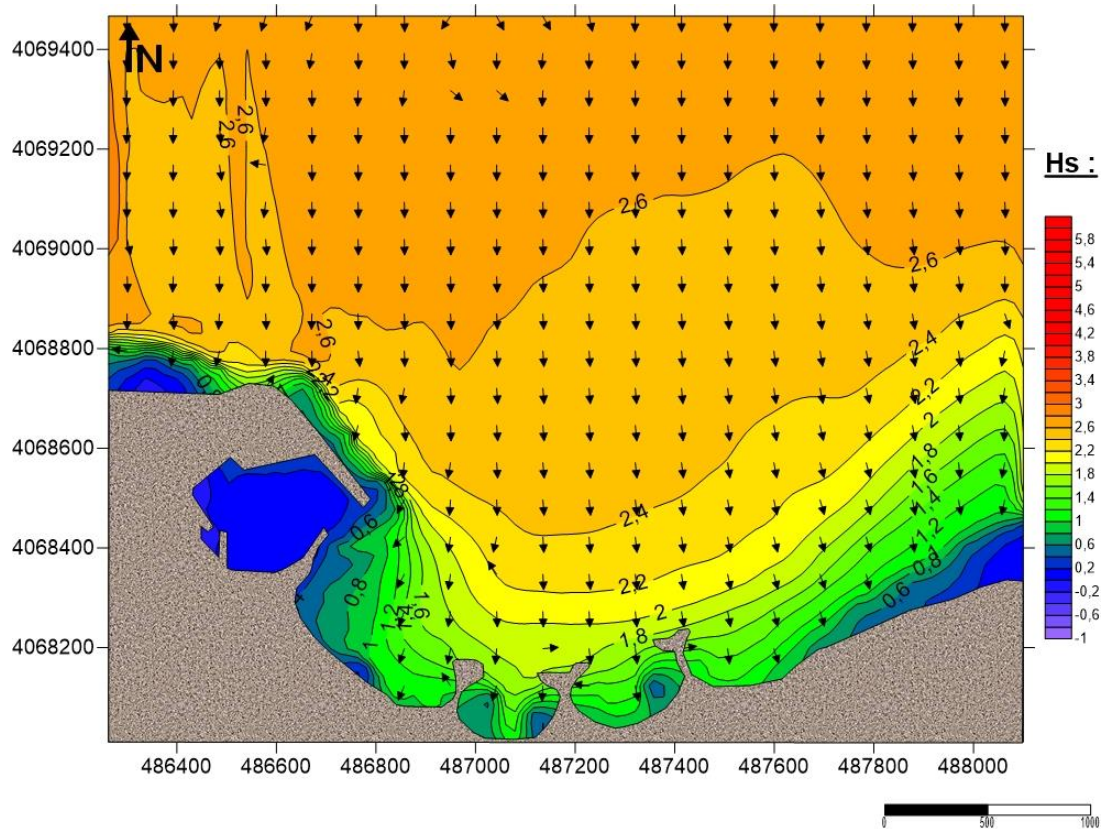


Figure : Réfraction de la houle pour une direction  $360^{\circ}$ N et une période de 8s

## Les houles au large de direction Nord-Ouest

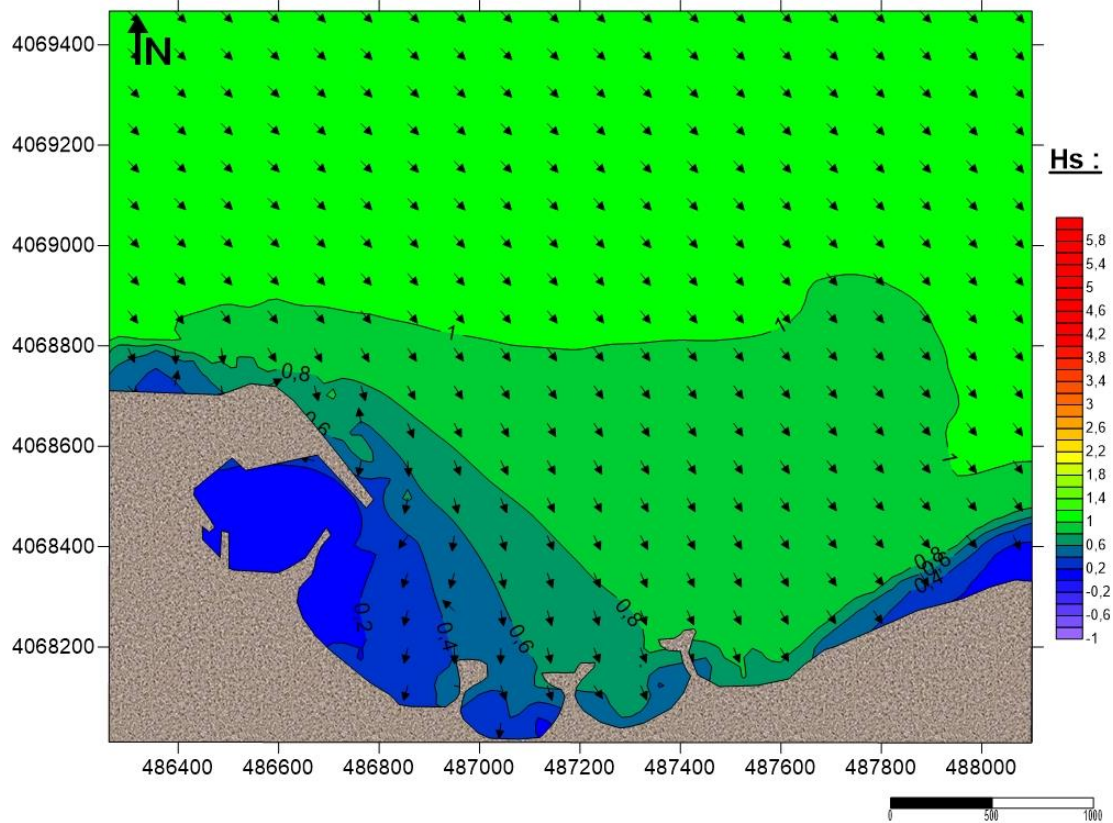


Figure : Réfraction de la houle pour une direction  $315^{\circ}\text{N}$  et une période de 6s

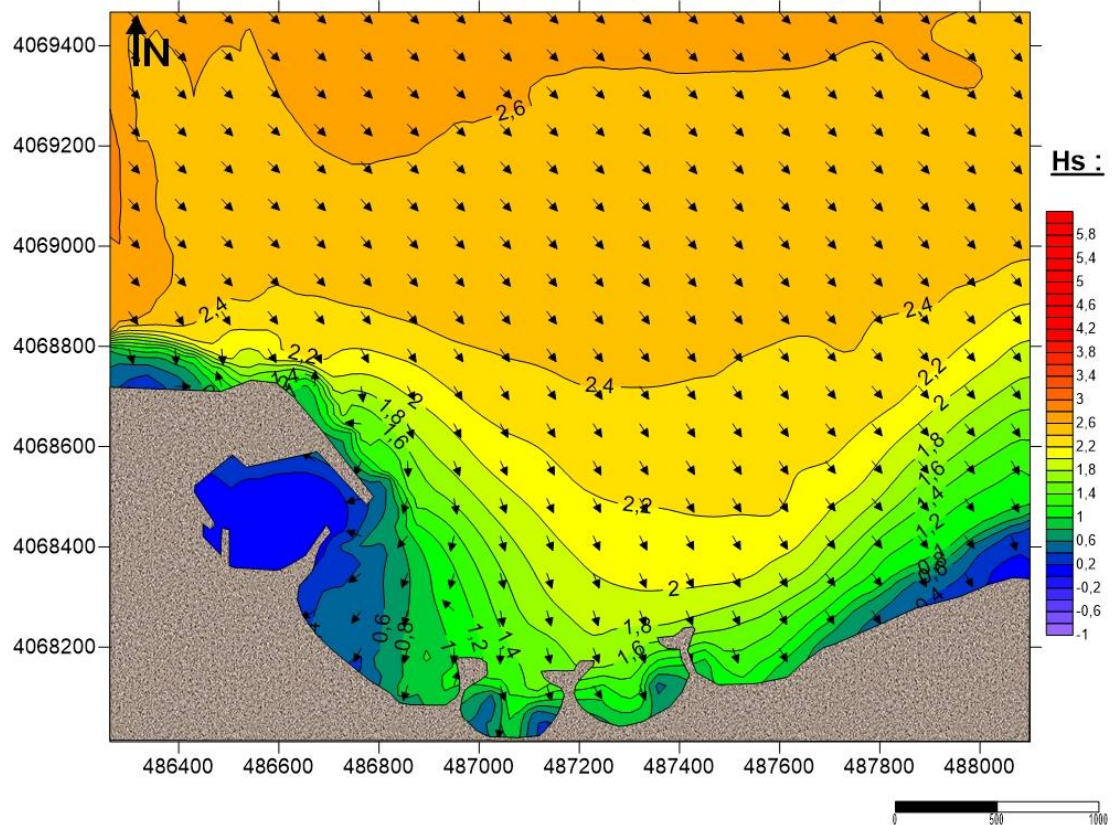


Figure : Réfraction de la houle pour une direction  $315^{\circ}\text{N}$  et une période de 8s