

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

École Nationale Supérieure des Sciences de la Mer
et de l'Aménagement du Littoral



Mémoire de Fin d'Études

En vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'état en Sciences de la Mer

Option : Aménagement du littoral

Thème :

Modélisation numérique de la
morphodynamique d'une côte sableuse
soumise à l'effet des vagues et des houles
cas : Plage Est de SIDI Fredj

Présenté par :

❖ NADIR Mohammed

Soutenu le 29 Septembre 2016, devant le jury composé de :

Mr SOUKANE S.	Maître de conférences A	(ENSSMAL)	Président
Mr OTMANI	Maître assistant B	(ENSSMAL)	Examineur
Mme MEHDID S.	Maîtresse assistante A	(ENSSMAL)	Examinatrice
Mr MEZAOUR K.	Maître de conférences A	(ENSSMAL)	Promoteur
Mr KESALI	Ingénieur	(ONM)	Co-Promoteur

Promotion 2015/2016

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, j'adresse le grand remerciement à mon Dieu (**ALLAH**), qui m'a guidé au chemin du savoir et m'a donné la volonté et la force tout au long de mes études.

Je voudrais exprimer ma reconnaissance à mon promoteur **MEZAOUR Khoudir**, mon Co promoteur **KESALI** qui ont contribué à alimenter ma réflexion et mon savoir-faire, et aussi aux membres du jury :

- **Mr SOUKANE**, d'avoir accepté de présider le jury de cette soutenance.
- **Mme MOKHBI**, d'avoir acceptée d'examiner ce modeste travail.
- **Mme MEHDID**, d'avoir acceptée d'examiner ce modeste travail, et pendant son enseignement, elle m'a appris l'honnêteté scientifique et beaucoup de morales.

Je désire aussi à remercier les agents de la bibliothèque **Mohammed** et **Fatima**, et toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin, à me motiver et s'enrichir mes modestes connaissances.

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail à :

A mes parents, Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour Dont ils ne cessent de me combler et aussi par ses prières et ses bénédictions m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études. Que dieu leur procure bonne santé et longue vie.

A mes frères et mes sœurs.

A mes amis.

A tous ceux qui, par un mot ou une prière, m'ont donné la force de continuer.....

قال تعالى:

﴿ وَمَا تَوْفِيقِي إِلَّا بِاللَّهِ عَلَيْهِ تَوَكَّلْتُ وَإِلَيْهِ أُنِيبُ ﴾

[هود من الآية:88]

ALLAH a dit :

﴿Et ma réussite ne dépend que d'Allah. En Lui je place ma confiance, et c'est
vers Lui que je reviens repentant﴾

[HUD du verset:88]

LISTE DES FIGURES

Liste des figures :

Figure 1.1 : Profil schématique d'une côte sableuse et terminologie anglo-saxonne équivalente (Faye, 2010).....	24
Figure 1.2 : Morphodynamique côtière : influence réciproque de l'hydrodynamique et de la morphologie de la plage (Stepanian, 2002).....	25
Figure 1.3 : Synthèse non-exhaustive des paramètres influençant l'évolution morphologique des côtes (GRASSO, 2009).....	26
Figure 1.4 : Grandeurs caractéristiques des vagues (GRASSO, 2009).....	26
Figure 1.5 : Types d'ondes de surface, montrant la relation entre les fréquences, la cause de leur génération et la quantité relative d'énergie de chaque type (Denamiel, 2006).....	27
Figure 1.6 : Les trois modes de transport sédimentaire (Chauchat, 2007).....	29
Figure 2.1 : Situation géographique de la zone d'étude (Google earth, 2016).....	31
Figure 2.2 : Carte géologique régionale de la zone algéroise (INCT, 2016).....	33
Figure 2.3 : Répartition sédimentologique de la baie d'El Djamila (INCT, 2016).....	35
Figure 2.4 : Roses récapitulatives saisonnières des fréquences d'apparition du vent au large en fonction de leurs vitesses faites par le logiciel HYDROGNOM.....	36
Figure 2.5 : Répartition annuelle des vents en pourcentage (%) (ONM, Dar-El-Beida, 1995-2015).....	37
Figure 2.6 : réseau hydrographique de la baie d'EL Djamila).....	38
Figure 2.7 : Roses récapitulatives de direction des houles au large du secteur (275°-55°) (Source: K.N.M.I in Zemenzer 2004).....	39
Figure 2.8 : Rose récapitulative de direction des houles au large du secteur (270°-45°) faite par le logiciel HYDROGNOM.....	39
Figure 2.9 : Rose des vagues au large de la côte Algérienne hiver-été (HMI, 2016).....	40
Figure 2.10 : Répartition des énergies des houles en fonction de la direction et des périodes les plus courantes. Source : K.N.M.I in (Zemenzer, 2004).....	41
Figure 3.1: des Cartes de levée bathymétrique de la zone de Sidi Fredj et la baie d'El Djamila (HMI, 2016).....	45
Figure 3.2 : capture d'écran présente l'interface et la barre d'outils du Global mapper.....	46
Figure 3.3 : Carte topo bathymétrique du littoral de SIDI Fredj.....	47
Figure 3.4 : emplacement des profils bathymétriques du littoral de SIDI Fredj.....	48
Figure 3.5 : Profil bathymétrique n°4.....	48
Figure 3.6 : Profil bathymétrique n°5.....	49

LISTE DES FIGURES

Figure 3.7 : Profil bathymétrique n°6.....	49
Figure 3.8 : Profil bathymétrique n°7.....	50
Figure 3.9 : Profil bathymétrique n°8.....	50
Figure 4.1 : prélèvement des sédiments de la plage aérienne de SIDI Fredj.....	53
Figure 4.2 : GPS, Echosondeur et Benne preneuse de type « Van-Veen ».....	54
Figure 4.3 : Etuve et balance de précision.....	55
Figure 4.4 : une colonne de tamis de type AFNOR et une tamiseuse.....	57
Figure 4.5 : diagramme de R.PASSEGA.....	60
Figure 4.6 : carte de positionnement des points de prélèvement sur la plage aérienne de SIDI Fredj (Google earth, 2016).....	62
Figure 4.7 : carte de répartition des pélites dans la plage aérienne.....	63
Figure 4.8 : carte de répartition des D50 dans la plage aérienne.....	63
Figure 4.9 : carte de positionnement des points de prélèvement dans la plage sous-marine de SIDI Fredj (Google earth, 2016).....	64
Figure 4.10 : carte de répartition des pélithes dans la plage sous-marine.....	65
Figure 4.11 : carte de répartition de D10 dans la plage sous-marine.....	65
Figure 4.12 : carte de répartition de D25 dans la plage sous-marine.....	66
Figure 4.13 : carte de répartition de D50 dans la plage sous-marine.....	67
Figure 4.14 : carte de répartition de D75 dans la plage sous-marine.....	67
Figure 4.15 : carte de répartition de D90 dans la plage sous-marine.....	68
Figure 4.16 : L'histogramme et la courbe unimodale (échantillon 32).....	69
Figure 4.17 : L'histogramme et la courbe bimodale (échantillon 35).....	69
Figure 4.18 : L'histogramme et la courbe plurimodale (échantillon 37).....	70
Figure 4.19 : carte de répartition de Mz dans la plage sous-marine.....	70
Figure 4.20 : Relation entre l'indice de classement et la médiane D50.....	71
Figure 4.21 : Relation entre l'indice d'asymétrie et la médiane D50.....	71
Figure 4.22 : diagramme de la déviation standard de Soulsby.....	72
Figure 4.23 : carte de distribution du facteur hydrodynamique.....	73
Figure 4.24 : diagramme de R.PASSEGA.....	73
Figure 4.25 : Histogramme d'apparition des modes les plus représentatifs des échantillons.....	74
Figure 5.1 : Barre d'outils de DSAS.....	78
Figure 5.2 : Evolution du trait de côte selon différentes périodes 2002, 2008, 2012, et 2016.....	78

LISTE DES FIGURES

Figure 5.3 : Evolution du trait de côte selon différentes périodes et profils.....	79
Figure 5.4 : illustration du rythme d'évolution du trait de côte en m/an entre 2002 et 2008.....	80
Figure 5.5 : illustration du rythme d'évolution du trait de côte en m/an entre 2008 et 2012.....	81
Figure 5.6 : illustration du rythme d'évolution du trait de côte en m/an entre 2012 et 2016.....	81
Figure 5.7 : illustration du rythme d'évolution du trait de côte en m/an entre 2002 et 2016.....	82
Figure 5.8 : représentation de LPR selon chaque profil entre 2002, 2008, 2012, 2016.....	83
Figure 5.9 : analyse de taux d'évolution en surface entre 2002 et 2016.....	83
Figure 5.10 : bilan sédimentaire de SIDI Fredj entre 2002 et 2016.....	84
Figure 5.11 : représentation graphique de la régression linéaire avec son équation selon certains profils de la plage entre 2002, 2008, 2012, 2016.....	85
Figure 6.1 : Domaine de calcul et la bathymétrie à l'échelle régionale.....	90
Figure 6.2 : Domaine de calcul avec les codes de chaque limite.....	90
Figure 6.3 : Champs de houles (MWD=45°) sur la plage Est de Sidi Fredj.....	93
Figure 6.4 : Champs de houles (MWD=360°) sur la plage Est de Sidi Fredj.....	94
Figure 6.5 : Champs de houles (MWD=315°) sur la plage Est de Sidi Fredj.....	96
Figure 6.6 : Champs de houles (MWD=270°) sur la plage Est de Sidi Fredj.....	97
Figure 6.7 : Champs des courant et capacité de transport solide sur la plage de SIDI Fredj pour : MWD= 45°, Hs=2.56m, T=8s.....	99
Figure 6.8 : Champs des courant et capacité de transport solide sur la plage de SIDI Fredj pour : MWD= 360°, Hs=2.67m, T=8s.....	101
Figure 6.9 : Champs des courant et capacité de transport solide sur la plage de SIDI Fredj pour: MWD= 315°, Hs=2.64m, T=8s.....	103
Figure 6.10 : Champs des courant et capacité de transport solide sur la plage de SIDI Fredj pour : MWD= 270°, Hs=2.67m, T=8s.....	105
Figure 6.11 : les bords du domaine de calcul pour le modèle SWAN.....	109
Figure 6.12 : Champs de houles pour différentes périodes du mois d'Avril pour toute la côte algérienne du modèle WW3.....	111
Figure 6.13 : Champs de houles (Dir=314.4°) sur la plage Est de Sidi Fredj.....	112
Figure 6.14 : Champs de houles (Dir=347.1°) sur la plage Est de Sidi Fredj.....	113
Figure 6.15 : Champs de houles (Dir=275°) sur la plage Est de Sidi Fredj.....	115

LISTE DES FIGURES

Figure 6.16 : Champs de houles (Dir=41°) sur la plage Est de Sidi Fredj.....	116
Figure 7.1 : Plan des dimensions des différents ouvrages dans la zone de SIDI Fredj fait par le logiciel SkETCHUP.....	121
Figure 7.2: la structure et la configuration d'un brise lame narval.....	123

LISTE DES TABLEAUX

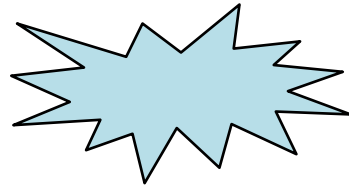
Liste des tableaux :

Tableau 2.1: Fréquence saisonnière des houles au large par direction en pourcentage et par des classes des hauteurs significatives (instruction nautique D6.Afrique, côte Nord - 2008).....	36
Tableau 2.2: Distribution fréquentielle du vent à la station météorologique de Dar El Beida selon 4 classes de vitesses et 16 directions (période 1 ^{er} Janvier 1995 au 31 Décembre 2015, ONM).....	37
Tableau 2.3: Caractéristiques du bassin versant de l’oued Beni Messous (Dheewa, 2011).....	38
Tableau 2.4: Amplitudes des houles en fonctions des directions et leurs périodes de retour (SSMO, 1963-1970).....	40
Tableau 2.5: Répartition des états de mer par période (SSMO, 1963-1970).....	41
Tableau 4.1: Définitions granulométriques pour les graviers, galets et blocs (non publié, modifié de Blair et McPherson, 1999).....	52
Tableau 4.2: Les valeurs adoptées pour S0 pour le tri.....	59
Tableau 4.3: Les valeurs adoptées pour Ski pour l’Asymétrie.....	59
Tableau 4.4: Les valeurs adoptées pour MZ pour l’Indice central.....	59
Tableau 4.5: Les valeurs adoptées pour FH pour l’Indice Hydrodynamique.....	60
Tableau 6.1: Les valeurs de la houle au large (SSMO).....	91
Tableau 6.2: Résultats du calcul de la houle de récurrence annuelle avec MWD=45°	93
Tableau 6.3: Résultats du calcul de la houle de récurrence annuelle avec MWD=360°	95
Tableau 6.4: Résultats du calcul de la houle de récurrence annuelle avec MWD=315°	95
Tableau 6.5: Résultats du calcul de la houle de récurrence annuelle avec MWD=270°	97
Tableau 6.6 : les paramètres de sortie du WW3 qui vont être intégrés dans les bords du domaine de SWAN.....	111
Tableau 7.1: Les caractéristiques du port de Sidi Fredj.....	119
Tableau 7.2 : Les dimensions des ouvrages de protection.....	120
Tableau 7.3: Caractéristiques d’un brise lame narval.....	122

LISTE DES ABREVIATIONS

Liste des Abréviations :

- DHI** : Danish Hydraulic Institute
- DSAS** : Digital Shoreline Analysis System
- EPR** : End Point Rate
- ESRI** : Environmental Systems Research Institute
- GPS** : Global Positioning System
- HD** : Hydrodynamic
- HMI** : Hydro Marine Ingénierie
- INCT** : Institut National de la Cartographie et la Télédétection
- KNMI** : Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
- LEM** : Laboratoire d'Etude Maritime
- LPR** : Linear Regression Rate-of-change
- MNP** : Modèles Numériques de Profondeur
- MNT** : Modèle Numérique de Terrain
- MWD** : Mean Wave Direction
- NSM** : Net Shoreline Movement
- ONM** : Office National de la Météorologie
- PEHD** : polyéthylène haute densité
- SCE** : Shoreline Change Envelope
- SHFM** : Service Hydrographique des Forces Navales
- SIG** : Système d'Information Géographique
- SSMO** : Summary of Synoptic Meteorological Observation
- ST** : Sand transport
- SW** : Spectral Wave
- SWAN** : Simulating Wave Nearshore
- WW3** : Wavewatch 3



*Table des
matières*

TABLE DES MATIERES

Remerciements.....	i
Dédicaces.....	ii
Citation.....	iii
Liste des figures.....	iv
Liste des tableaux.....	v
Liste des abréviations.....	vi
Introduction générale.....	18

CHAPITRE 1

Contexte général

1	Le littoral, système complexe.....	22
2	Profil général d'une côte sableuse.....	23
3	Concepts en morphodynamique côtière.....	24
4	Forçage hydrodynamique.....	26
4.1	Les vagues.....	26
4.2	La houle.....	27
4.3	Les courants.....	27
5	Les interactions entre les vagues et les courants.....	27
6	Transport sédimentaire en milieu côtier.....	28
6.1	Les différents modes de transport des sédiments.....	29

CHAPITRE 2

Présentation de la zone d'étude

1	Situation géographique.....	31
1.1	Baie d'El Djamila.....	31
1.2	Site d'étude.....	31
2	Caractéristiques géologiques et géomorphologiques.....	31
2.1	Géologie régionale.....	31
2.2	Géologie locale.....	32
3	Dynamique sédimentaire.....	33
4	Cadre climatologique.....	35
4.1	L'étude des vents.....	36
5	Caractéristique hydrologique.....	38

TABLE DES MATIERES

6	Cadre océanographique.....	39
6.1	Mer du vent et houle.....	39
6.2	Les courants.....	42
6.3	La marée.....	42

CHAPITRE 3

Etude bathymétrique

1	Introduction.....	44
2	Techniques et appareillage.....	44
2.1	Travail sur terrain.....	44
2.2	Travail numérique.....	44
2.3	Traitement numérique des données.....	46
2.3.1	Aperçu du logiciel Global mapper.....	46
2.4	Présentation et analyse des résultats.....	47
2.4.1	Cartes topo bathymétriques.....	47
2.4.2	Analyse des profils bathymétriques.....	47

CHAPITRE 4

I. Etude sédimentologique préliminaire

1	La granulométrie.....	52
1.1	Principe du tamisage à sec et du tamisage sous eau.....	52
1.2	Définitions granulométriques et classes de taille.....	52
2	Prélèvements sur le terrain.....	53
2.1	Pour l'analyse granulométrique.....	53
2.1.1	Le prélèvement au niveau des unités émergées.....	53
2.1.2	Le prélèvement au niveau des unités immergées.....	53
3	Matériel et traitement des échantillons.....	55
4	Traitement des données.....	57
4.1	Représentation graphique traditionnelle.....	57
4.1.1	Courbe granulométrique.....	57
4.2	Méthode des percentiles.....	57
4.2.1	Les paramètres de position.....	57
4.2.2	Indices granulométriques.....	58

TABLE DES MATIERES

4.3	Représentation graphique récentes.....	60
4.3.1	Aperçu général du logiciel Surfer	61

II. Etude sédimentologique analytique

1	Etude sédimentologique de la plage de SIDI Fredj.....	62
1.1	L'échantillonnage au niveau des unités émergées.....	62
1.2	Analyse de la fraction fine.....	63
1.3	Analyse de la fraction grossière.....	63
1.3.1	D50 (médiane).....	63
1.4	L'échantillonnage au niveau des unités immergées.....	64
1.5	Analyse de la fraction fine.....	64
1.6	Analyse de la fraction grossière.....	65
1.6.1	Les paramètres de position (les quantiles).....	65
1.6.2	Les courbes granulométriques.....	69
1.6.3	Représentation graphique des indices granulométriques.....	70
1.7	Analyse modale.....	74

CHAPITRE 5

Evolution du trait de côte

1	Introduction.....	76
2	Difficultés de représentation.....	76
2.1	Aperçu du logiciel ArcGis 10.2.....	76
2.2	Aperçu de l'extension DSAS.....	77
2.2.1	Barre d'outils de DSAS.....	77
3	Les variations de la ligne de côte de Sidi-Fredj entre 2002 et 2016.....	78
3.1	Volet cartographique.....	78
3.2	Volet graphique et statistique.....	78
3.3	Les indicateurs, concept.....	79
3.4	Résultat du volet statistique.....	79
3.5	Résultat du volet graphique.....	80
3.5.1	Scénario tendanciel évolutif.....	80
4	Analyse du bilan sédimentaire.....	83
4.1	Analyse du bilan sédimentaire de Sidi-Fredj entre 2002 et 2016.....	83

TABLE DES MATIERES

4.1.1	Scénario tendanciel prospectif.....	84
-------	-------------------------------------	----

CHAPITRE 6

I. Modélisation hydrodynamique 1

1	Introduction.....	87
2	Echelle locale.....	87
2.1	La grille de calcul initiale.....	87
2.2	La bathymétrie initiale.....	88
3	Choix des modèles couplés.....	89
3.1	Description des modèles de MIKE.....	89
4	Modélisation de propagation de la houle, champs des courants et le transport sédimentaire.....	89
4.1	Domaine.....	89
4.2	Conditions aux limites.....	90
4.2.1	Scénario annuel.....	91
4.3	Calibration.....	91
5	Résultats de la simulation numérique.....	92
5.1	Le modèle SW.....	92
5.2	Le modèle HD et ST.....	98

II. Modélisation hydrodynamique 2

1	Les modèles numériques hydrodynamiques.....	106
2	Choix des modèles.....	106
2.1	Description du modèle (WaveWatch III).....	106
2.1.1	Caractéristiques du modèle.....	106
2.2	Description du modèle d'onde (SWAN).....	107
2.2.1	Principe.....	108
2.2.2	Données d'entrées.....	108
3	Implémentation spatiale.....	109
3.1	Couplage multi-grille (one way).....	109
3.2	Méthode de travail.....	110
4	Résultats des modèles de vagues.....	110
4.1	Scénario mensuel.....	110

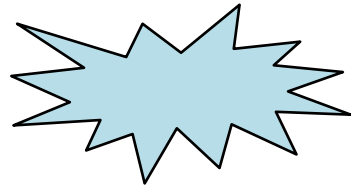
TABLE DES MATIERES

4.1.1	Le modèle Wavewatch 3.....	110
4.1.2	Le modèle SWAN.....	112

CHAPITRE 7

Impact des infrastructures et propositions des solutions

1	Introduction.....	118
2	Problématique et enjeux de la zone.....	118
3	Travaux maritimes.....	119
3.1	La construction du port.....	119
4	Techniques et solutions dures de protection du littoral.....	120
4.1	Méthodes dures déjà mises en œuvre.....	120
4.1.1	La construction des ouvrages de protection.....	120
4.2	Méthode et solutions envisageables.....	121
4.2.1	Stabilisateurs des fonds.....	121
5	Techniques et solutions souples de protection du littoral.....	121
5.1	Méthodes souples déjà mises en œuvre.....	122
5.1.1	Le rechargement de plage.....	122
5.2	Méthode et solutions souples envisageables.....	122
5.2.1	Le « by-passing » ou le rétablissement du transit littoral.....	122
5.2.2	Les Brises lames narval.....	122
5.3	Solutions de gestion durable du littoral.....	123
5.3.1	La gestion intégrée des zones côtières, concept.....	123
	Conclusion générale.....	126
	Bibliographie.....	130
	Annexes.....	136
	Résumé.....	142



Introduction
générale

Introduction générale :

Le littoral n'est pas seulement le rivage des océans, c'est aussi le point de contact entre les trois compartiments terrestres que sont l'hydrosphère, la lithosphère et l'atmosphère. En ce point, les lois physiques de chacun des compartiments se cumulent et interagissent, l'étude de ce milieu en devient complexe. C'est aussi un milieu très dynamique, la force des vagues et la vigueur des courants en témoignent, et le rendent parfois hostile et dangereux pour l'Homme. Pour cela, des études et des recherches sont alors entreprises pour une meilleure compréhension du fonctionnement du système littoral, prenant en considération la complexité des pressions qu'il les soumet et leurs influences sur les différents patrimoines de ce domaine (**Certain, 2002**).

Le littoral, zone de transition entre la mer et le continent, est soumis à une double action des agents dynamiques (houle et courants associés, vent et marée) et de la pression anthropique. Donc il est en perpétuel mouvement.

Les interactions de ces agents avec le substrat génèrent une grande diversité de courants et de flux conditionnant des mouvements sédimentaires qui se manifestent à plusieurs échelles spatio-temporelles. Ces interactions définissent la disponibilité du sédiment et sa dynamique de dépôt/ érosion. Le budget sédimentaire du littoral influence in fine les fluctuations de la ligne de rivage (**Amrouni, 2008**).

L'étude présentée ici, focalisée sur la morpho-hydrodynamique littorale actuelle, sous l'effet de l'hydrodynamisme côtier. Le cadre d'étude est le littoral de la presqu'île de SIDI-Fredj (elle est localisée à l'ouest d'Alger à environ 25Km), qui a fait l'objet d'un programme de construction d'un port en 1969-1971 et l'implantation de plusieurs stations balnéaires directement érigées sur le cordon dunaire (hôtel El Riad, hôtel El Minzah...etc.), dans le cadre d'un projet touristique faisant intervenir plusieurs acteurs à différents échelles.

Une partie de cette zone constitue une plage sableuse très sollicitée à la protéger ou se trouve l'hôtel El Riad ; à cause de l'impact de ces ouvrages qui ont provoqué des déséquilibres naturels, autrement dit, des modifications de sens des courants côtiers et aussi des transits sédimentaires qui ont touchés en général presque toute la zone du port jusqu'à la plage Moretti, traduites par un recul de la ligne de rivage (la plage de l'hôtel El Riad) et une progradation remarquable au niveau des ouvrages et la plage Est de SIDI-Fredj.

Objectif d'étude

Notre étude a pour but :

- de mieux comprendre les processus morpho-hydrodynamiques qui régissent le secteur d'étude.
- de déterminer, détailler et évaluer l'influence des agents conditionnant la dynamique sédimentaire du littoral et responsables de ses variations spatio-temporelles.
- de proposer un schéma de circulation générale au niveau de la presqu'île de SIDI-Fredj, en précisant les zones d'érosion et d'accumulation. Ce diagnostic sera utile pour les aménagistes dans le cadre des travaux de réhabilitation des plages.

INTRODUCTION GENERALE

- essayer de faire sortir quelques décisions et des solutions envisageables pour orienter l'évolution de la situation vers un état durable.

Plan de l'étude

Le déroulement de ce travail de mémoire s'est appuyé sur deux approches : les sorties sur terrain qui ont été effectuées en juin 2016 et aussi le traitement de données en laboratoire. La méthodologie s'articule en trois étapes qui concourent à mettre en évidence les caractères de la morphodynamique sédimentaire:

- Les mesures topo-bathymétriques : réalisation d'une campagne topométrique du haut de plage et du cordon dunaire, et de deux campagnes bathymétriques de la plage sous-marine (jusqu'à -7 m).
- La caractérisation sédimentologique: caractérisation des dimensions des sédiments, ainsi que le calcul des différents indices spécifiques et la détermination de son évolution spatiale et temporelle.
- Simulation de la propagation des houles dominantes, les champs des courants et les capacités de transport solide.

Organisation du mémoire

Ce présent mémoire s'articule en sept chapitres :

Le premier chapitre concerne le contexte des concepts et les outils théoriques permettant de comprendre et d'expliquer le système côtier sableux, prenant en compte le forçage hydrodynamique, le transport sédimentaire et le phénomène d'érosion, ainsi qu'un bref état de l'art, pour prendre des idées concernant comment on va traiter cette thématique.

Le second chapitre est consacré au cadre général de la région et à la présentation de ses sites, afin de situer la zone d'étude dans différents contextes : géologique, géomorphologique, climatologique, dynamique sédimentaire.....etc.

Le troisième chapitre porte sur l'étude topobathymétrique, intégrant la méthodologie de mesure et les moyens mis en œuvre pour réaliser, ainsi que les résultats obtenus à partir de ce travail.

Le quatrième chapitre est consacré à l'étude granulométrique, parlant sur tout le processus par enchaînement depuis le prélèvement des échantillons jusqu'à la cartographie des résultats, en détaillant sur la méthodologie et les matériels utilisés, intégrant l'ensemble des résultats obtenus à toutes les échelles, ainsi que des discussions de ces résultats pour chaque unité d'une échelle spécifique.

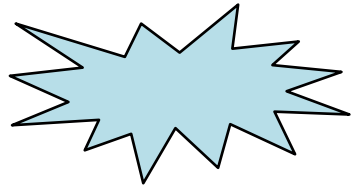
Le cinquième chapitre étudie la morphodynamique de la plage, tenant en compte de l'évolution annuelle de la dynamique de plage entre 2002 et 2016, et la quantification des volumes déplacés pour la compréhension des échanges produites à cette bande littorale, à l'aide des outils numériques et des logiciels.

INTRODUCTION GENERALE

Le sixième chapitre est basé sur l'analyse du choix de modèle mathématique pour l'application au cas de SIDI Fredj et décrira la création d'une petite base de données qui sera utilisée dans le modèle. Certains modules du logiciel MIKE 21 sont choisis et appliqués à l'étude des processus hydrodynamiques, y compris les problèmes de transport sédimentaire.

En addition l'application d'un modèle couplé, régional et autre local, ce modèle est unidirectionnelle représenté par le WW3 et SWAN pour réaliser une simulation de la réfraction des houles.

Le septième chapitre fait l'objet de l'orientation des études préalables, les problèmes existants, leur mise en œuvre et aussi leur impact sur le littoral de Sidi-Fredj, en tentant de dégager quelques recommandations, concepts et des solutions qui pourraient être envisageables.



Contexte

général

1. Le littoral, système complexe :

Le littoral se situant à l'interface de la lithosphère, de l'atmosphère et de l'hydrosphère, influence continentale au travers des caractéristiques de la structure géologique (disposition et résistance des roches, topographie de l'arrière-pays), l'influence marine par l'action des facteurs hydrodynamiques (niveau moyen de la mer, houle, marée et courants associés) et l'influence atmosphérique, à savoir l'action des agents et des processus d'érosion subaériens qui participent à la météorisation du littoral et de l'intérieur des terres. A ces trois influences, il est nécessaire d'ajouter les actions humaines qui sont d'importance.

L'évolution des littoraux est donc fonction de toutes ces interactions, variables à diverses échelles de temps et d'espace. La compréhension de ce milieu dynamique nécessite donc une approche systémique (et pluridisciplinaire) au travers d'une analyse par emboîtement d'échelles spatiales et temporelles.

Dans l'étude des milieux littoraux, cette approche systémique incontournable fait appel à trois idées clés que sont la complexité, le rôle essentiel des interactions et l'organisation de l'espace (homo- ou hétérogénéité spatiale). L'application de la théorie des systèmes complexes dans l'analyse des littoraux est fréquente et repose sur quatre principes fondamentaux :

- **Le principe de totalité**, selon lequel les différents éléments qui constituent le système ne peuvent s'appréhender qu'au niveau de la totalité, et non au niveau des éléments pris séparément. Les systèmes représentent davantage que la somme de leurs composants. Toutefois, cette analyse des éléments n'est pas inutile si la reconstruction globale du système et les mises en relation entre chaque élément sont l'objectif final ;
- **le principe d'interaction**, selon lequel chaque élément constitutif du milieu peut agir sur l'état des autres, relations entre plage subaérienne et sous-marine ; relations entre falaise et plate-forme d'érosion marine; relation plus ou moins directe, instantanée ou différée, entre formes et processus ;
- **le principe d'homéostasie**, est la capacité d'un système à réagir à toute modification d'origine interne ou externe pour revenir ou tenter de revenir à son état initial (variations saisonnières du profil de plage) ;
- **le principe d'équifinalité**, signifie qu'un même résultat peut être obtenu par des voies et des conditions initiales différentes, ou encore que deux phénomènes différents peuvent aboutir à des résultats similaires. Par ailleurs, l'étude d'un système oblige à en définir les limites (vers le large, latéralement et vers l'intérieur des terres), ses composants principaux et secondaires, ses réservoirs (stocks de sédiments), les flux d'énergie qui les traversent, ses délais, ou encore les boucles de rétroactions. (**Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, 2011**).

Par conséquent, cette approche permet aux chercheurs de comprendre le fonctionnement général du système et de hiérarchiser les niveaux d'organisation et d'interrelation qui pourront ensuite être validés et approfondis par la modélisation et la simulation (étude du comportement du système dans le temps). À ce titre, il convient de garder à l'esprit que la

modélisation et la simulation, qui constituent de réels outils d'aide à la compréhension et à la décision, permettent seulement de dégager des tendances générales du comportement d'un système. En effet, les modèles prennent difficilement en compte les changements d'échelle, l'efficacité des relais et des combinaisons de processus ou le poids des héritages. Ces phénomènes sont pourtant à l'origine du fonctionnement non-linéaire, dans le temps et l'espace, des systèmes complexes que sont les littoraux. De fait, il existe de périodes charnières pendant lesquelles les systèmes évoluent soit par phénomène d'ajustement (résilience), soit par phénomène de rupture (bifurcation), qui mènent le système à prendre deux évolutions différentes. Les relations de causes à effets n'étant que très rarement directes, il convient de s'interroger sur les sources de non-linéarité de fonctionnement du système, telles que les phénomènes de dépassement de seuils (seuil de plasticité des matériaux, contrainte de cisaillement, etc.), d'effets cumulatifs (importance des conditions initiales), de saturation ou d'épuisement, de rétroactions positives et négatives, d'hystérésis (effet retard par rapport aux causes).

Cette perception des milieux a permis d'apporter des éléments de réponse sur la dynamique des espaces littoraux et leurs interdépendances, sur les interactions entre les formes et les processus, sur les temporalités des dynamiques et leurs répartitions initiales spatiales. Cette perception est à l'origine du développement des approches morpho dynamiques et hydro sédimentaires, qui sont devenues fondamentales dans l'étude du fonctionnement des évolutions des milieux littoraux. L'objectif de cette section est de fournir quelques repères terminologiques conceptuels et méthodologiques nécessaires à l'approche systémique (**Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, 2011**).

2. Profil général d'une côte sableuse :

Les plages sont des accumulations littorales de sédiments meubles, qui vont des sables fins (de 0.063 à 0.2 mm) aux blocs (supérieurs à 20 cm), susceptibles d'être mobilisés par le passage régulier des eaux marines ; on parle de grève lorsqu'elles sont constituées de galets. Les matériaux des plages proviennent des sédiments continentaux apportés par les fleuves, ils sont remaniés par l'action des houles et des dérives littorales qui peuvent les transporter vers le large. Ainsi, il se forme une plage dès lors que le volume de sédiments disponibles est supérieur au volume transporté. Les plages ont un profil transversal en pente douce, à allure faiblement concave. Leur pente varie en fonction du calibre des sédiments qui les constituent et des caractéristiques des vagues qui y déferlent. Le profil est abrupt quand les sédiments sont grossiers (**Faye, 2010**).

Dans le détail, on distingue, vers l'amont, l'arrière-plage (Backshore) partie de la plage qui est sujette à l'action des vagues uniquement durant les tempêtes. En absence de tempête le sable peut être remobilisé par les facteurs éoliens.

Vers la mer, la plage subaérienne (l'estran, espace intertidale ou foreshore) soumise à l'action des vagues pendant les conditions non-tempétuelles. Subdivisée en trois parties :

- Haut de plage : sous forme de bourrelets, qui sont dus à l'accumulation des matériaux par les mers les plus hautes ;

- Moyenne plage : marquée par une ligne de réflexion à partir de laquelle la pente diminue brusquement.
- Bas de plage : submergé à chaque marée. Sa partie aval montre parfois une alternance de bancs surbaissés et de gouttières ou bâches.

Et enfin, l'avant-plage (nearshore) constamment immergée et accidentée de barres et de rides, qui sont parallèles et parfois obliques au trait de côte et se forment quand la pente est douce et les sédiments abondants, et de sillons pré-littoraux (Faye, 2010).

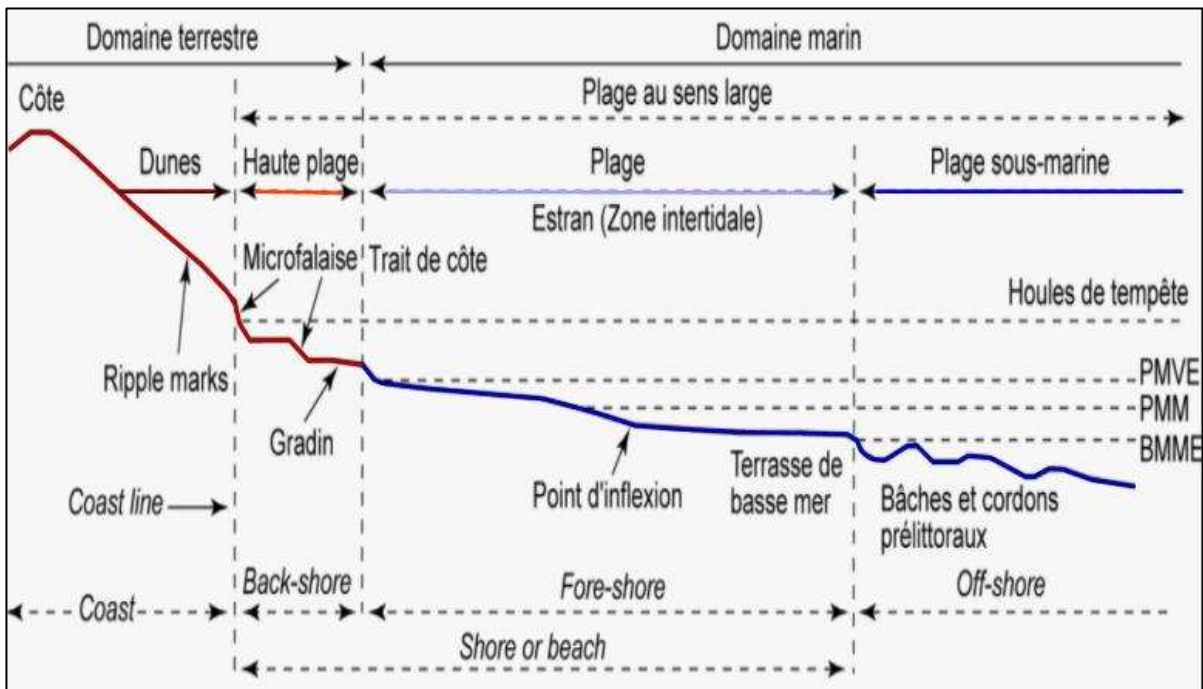


Figure 1.1 : Profil schématique d'une côte sableuse et terminologie anglo-saxonne équivalente (Faye, 2010).

3. Concepts en morphodynamique côtière :

Les littoraux sont des environnements dynamiques soumis à un large spectre de forçage (tectonique, eustatique et hydrodynamique). L'étude de l'évolution morphodynamique des littoraux consiste à relier les forçages hydrodynamiques, les processus de transport sédimentaire et le développement morphologique à toutes les échelles de temps (Stepanian, 2002).

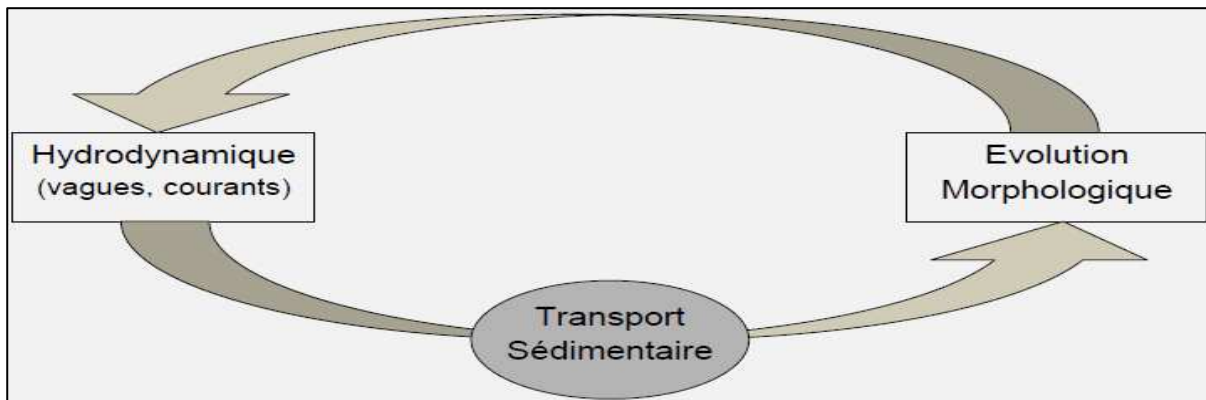


Figure 1.2 : Morphodynamique côtière : influence réciproque de l'hydrodynamique et de la morphologie de la plage (Stepanian, 2002).

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. Une modification des forçages génère une modification de la dynamique des fluides, et du transport sédimentaire. L'interaction de ces processus avec la morphologie initiale est à l'origine de la construction d'une nouvelle morphologie.

De ce fait, l'évolution morphodynamique d'un système côtier est une transformation graduelle et réversible par des états morphologiques successifs interdépendants.

Ainsi, en fonction des caractéristiques de la houle (hauteur, cambrure et période), il est possible d'observer alternativement des périodes plus ou moins longues pendant lesquelles le profil connaît un abaissement (érosion / démaigrissement), puis un relèvement (engraissement), et aussi l'apparition et la disparition des barres sur l'avant-plage (Stepanian, 2002).

Pendant les périodes de forts coups de vents ou de tempêtes soufflants vers la côte, les vagues sont dites destructrices. Les sédiments qui se trouvent en haut de plage ont tendance à migrer vers le bas de plage. En effet, la grande efficacité de la nappe de retrait du moment génère un départ de sédiments vers le bas de plage pour les cordons de galets et vers l'avant plage pour les sables afin de former les barres de déferlement (Grasso, 2009).

Cet ajustement morphologique réduit l'efficacité de l'attaque de la houle sur le haut de plage en générant son déferlement plus au large. Avec les houles dites de beau temps, les vagues moins hautes et moins cambrées vont déferler plus près du rivage, induisant un jet de rive plus efficace que la nappe de retrait. Les sédiments vont progressivement remonter sur l'estran dont le profil se relèvera jusqu'à atteindre pratiquement la situation morphologique antérieure (Grasso, 2009).

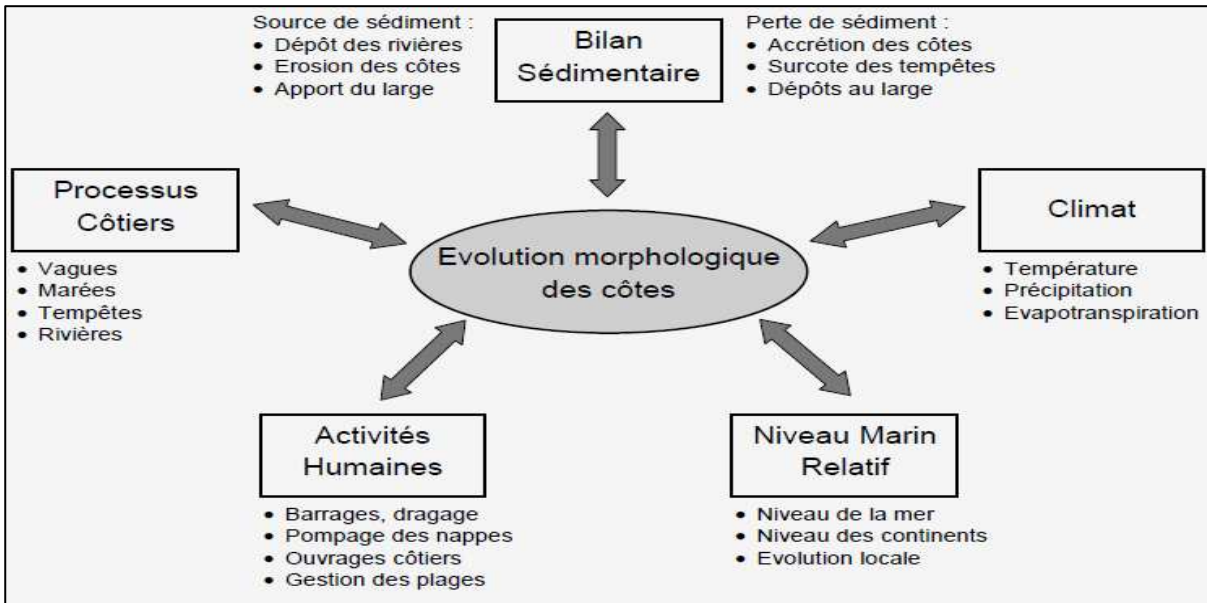


Figure 1.3 : Synthèse non-exhaustive des paramètres influençant l'évolution morphologique des côtes (Grasso, 2009).

4. Forçage hydrodynamique :

4.1. Les vagues :

Les vagues sont des ondes mécaniques qui se propagent à la surface de contact entre l'eau et l'air. Elles sont générées par des forces résultant du mouvement relatif entre les deux couches de fluide, par exemple un vent soufflant à la surface de l'océan, ou par des forces externes qui déforment le fluide. Ces ondulations sont caractérisées par leur amplitude et leur périodicité, qui peut aussi être caractérisée par la longueur d'onde L .

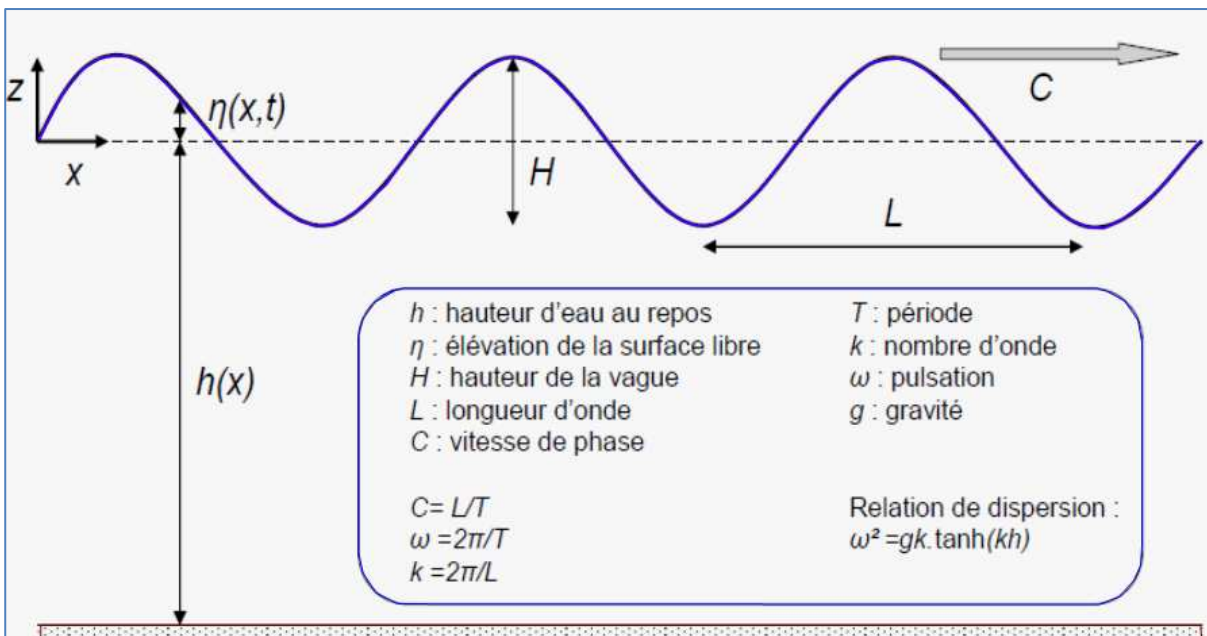


Figure 1.4 : Grandeurs caractéristiques des vagues (Grasso, 2009).

4.2. La houle :

Elle représente les restes des vagues de vent qui ont quitté la zone où elles ont été générées. Parce que la houle est composée de longues vagues transportant beaucoup d'énergie, elle peut parcourir de longues distances et met des jours avant de disparaître. La période d'une houle varie de 5 à 30 secondes (**Denamiel, 2006**).

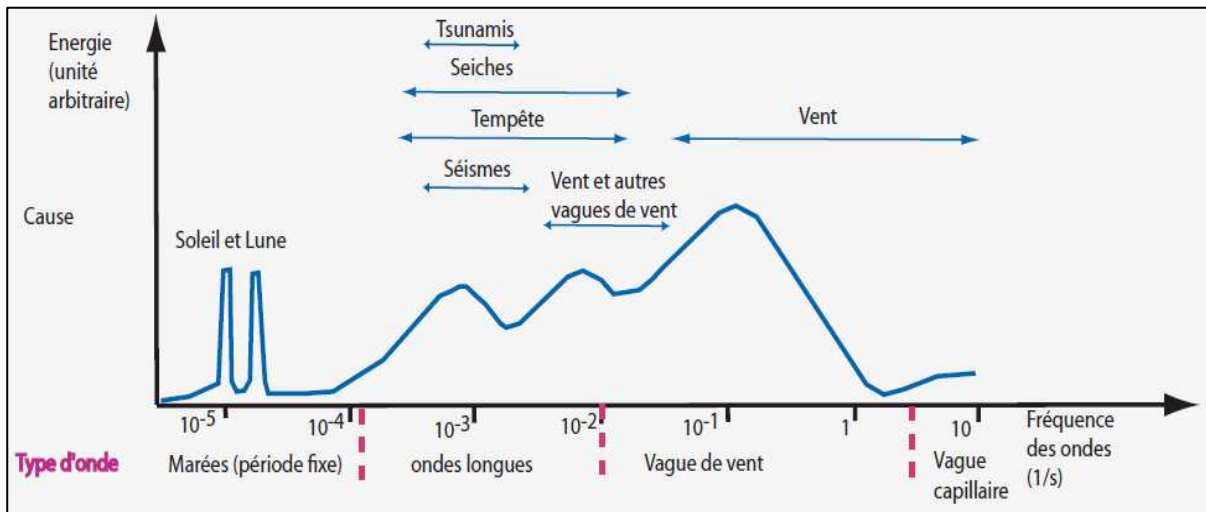


Figure 1.5 : Types d'ondes de surface, montrant la relation entre les fréquences, la cause de leur génération et la quantité relative d'énergie de chaque type (**Denamiel, 2006**).

4.3. Les courants :

Le courant marin, par définition, est une masse d'eau qui se déplace sur de très longues distances, à la surface ou en profondeur des mers et des océans. Dans son déplacement le courant est susceptible de transporter des sédiments et de modeler le paysage littoral (**Senechal, 2003**).

5. Les interactions entre les vagues et les courants

Dans la partie suivante, nous décrirons plus en détail les interactions entre les vagues/- houles et le courant, et nous présenterons l'état de l'art des théories sur ces couplages. Par commodité pour la suite, nous désignerons par le terme de vague, la houle et les vagues de vent. Ces couplages se présentent traditionnellement comme d'un côté l'impact des courants sur l'évolution des vagues, et d'un autre le forçage des vagues sur la circulation (**Michaud, 2011**).

5.1 Influence du courant sur les vagues :

Parmi leurs effets, les courants ont la capacité de réfracter les vagues. Ainsi, les Variations de courant modifient la vitesse de phase des vagues et induisent une réfraction. La direction de propagation est alors modifiée et n'est plus perpendiculaire aux crêtes mais s'oriente parallèlement au courant. La forme des vagues est aussi modifiée. Les courants peuvent aussi bloquer les vagues lorsque leur direction de propagation est opposée à la direction des courants, et quand l'intensité du courant est supérieure à leur vitesse de groupe. Les vagues sont alors stoppées (**Michaud, 2011**).

5.2. Influence des vagues sur le courant :

Les vagues ont de multiples effets sur les courants. Elles agissent sur la couche limite de surface par l'ajout d'une tension de cisaillement supplémentaire par la modification de l'énergie cinétique turbulente et de la rugosité surfacique. Sur la couche limite de fond, la dissipation des vagues par le fond perturbe également l'énergie turbulente et la rugosité de fond est modifiée par la présence des vagues en eaux peu profondes. Enfin, un flux de moment est transféré des vagues aux courants, modifiant ainsi les profils des courants (Michaud, 2011).

5.3. Influence des vagues sur la couche du fond :

En zone côtière, la dynamique sédimentaire est liée à l'action combinée des vagues et du courant. Leur interaction peut avoir pour effet une augmentation des contraintes de cisaillement sur le fond. Vagues et courants interagissent de façons non linéaires dans la couche de fond, où prédominent des processus de turbulence. En zone peu profonde, le courant de la couche de fond perçoit la couche limite des vagues comme une contribution supplémentaire de la rugosité de fond, ce qui tend à augmenter la friction de fond et à modifier les courants moyens. Ainsi, la tension de cisaillement du fond, associée à ces deux phénomènes combinés, est plus grande que la somme des tensions de cisaillement de chacun des phénomènes séparés. De nombreuses mesures en laboratoire et en mer ont été effectuées tant l'enjeu est crucial pour une bonne compréhension du transport sédimentaire (Michaud, 2011).

6. Transport sédimentaire en milieu côtier :

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 sableuse, on va donc se concentrer sur le transport sédimentaire au niveau des plages sableuses (Dreano, 2009).

6.1. Les différents modes de transport des sédiments :

En fonction de l'intensité du courant et de la taille des particules, il existe trois principaux modes de transport sédimentaire : le roulement ou charriage, la saltation et la suspension. Ces trois modes peuvent être simultanés et les particules concernées par chaque mode dépendent des conditions d'écoulement (i.e. contrainte de cisaillement sur le fond).

- **Le transport par roulement ou charriage** concerne les grains de la couche superficielle des sédiments non-cohésifs qui roulent sur le fond dans le sens de l'écoulement jusqu'à trouver une nouvelle position d'équilibre. Ce mode de transport se produit essentiellement lorsque la contrainte de frottement est proche de la contrainte critique de mouvement.

- **Le transport par saltation** apparaît lorsque le seuil de mouvement est dépassé. L'impulsion fournie par le fluide fait sauter les particules au-dessus du fond suivant une trajectoire balistique. La hauteur maximale atteinte par les grains est de l'ordre de grandeur du diamètre de celle-ci.
- **Le transport en suspension** (ou suspended load) se produit lorsque l'écoulement est suffisamment fort pour maintenir en suspension les particules sans que celles-ci ne se redéposent. Les particules concernées par ce mode de transport sont les sables, les silts et les argiles. La taille et le poids des particules transportées sont en relation directe avec l'intensité de l'écoulement (**Chauchat, 2007**).

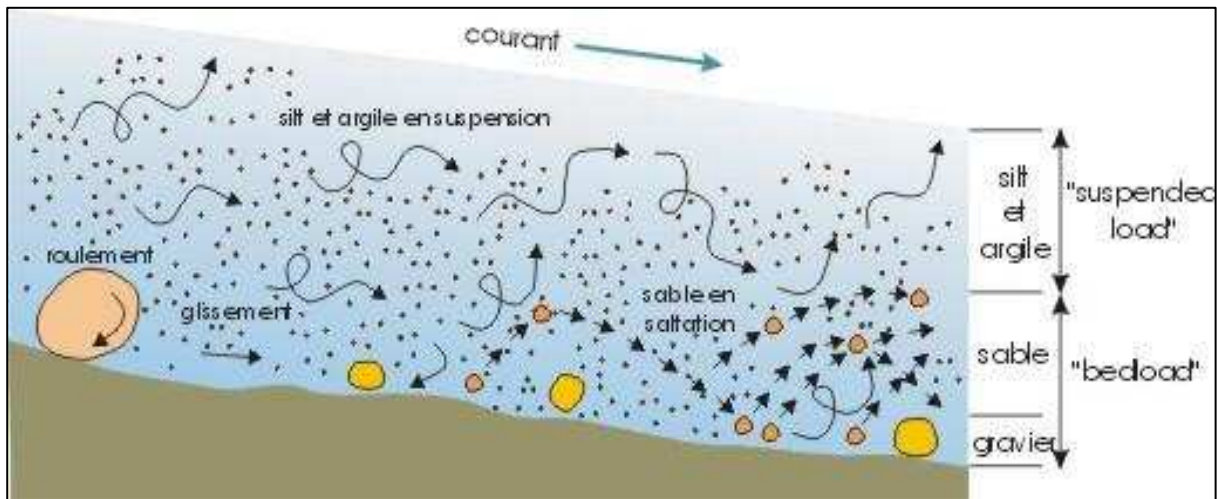
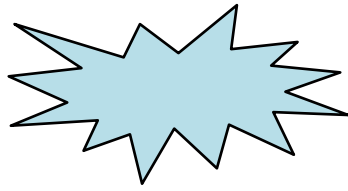


Figure 1.6: Les trois modes de transport sédimentaire (Chauchat, 2007).

D'après **Bagnold (1973)**, la distinction principale se fait entre le transport en suspension et le transport par charriage sur le fond (bed load) comprenant le roulement et la saltation. Dans le cas du transport par roulement et par saltation, l'impulsion fournie par le fluide est sur l'horizontale contrairement au transport en suspension.

Les sédiments non-cohésifs peuvent être transportés par ces trois modes, charriage sur le fond, saltation et transport en suspension. Par contre, les sédiments cohésifs sont principalement transportés en suspension (suspended load) et leur érodabilité varie en fonction de l'état de consolidation des dépôts de vase sur le fond.



*Présentation
de la zone
d'étude*

1. Situation géographique :

1.1. Baie d'El Djamilia:

La baie d'El Djamilia est une baie qui se situe à 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 limitée à l'est par Ras Acrata et à l'ouest par la presqu'île de Sidi Fredj.

Ses coordonnées sont les suivants (voir figure 2.1):

- 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 Djamilia est une cote sableuse avec un linéaire de 6Km.

1.2. Site d'étude :

Sidi Fredj est considérée comme une presqu'île qui se situe à l'ouest de la baie d'El Djamilia 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, 2016).

2. Caractéristiques géologiques et géomorphologique :

2.1. Géologie régional :

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 2.2 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 pélitique 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). Il 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 (**Glangeaud, 1932**).

- **Le Quaternaire :**

Il comporte plusieurs faciès lithologiques d'origine marine et continentale (**Glangeaud et al, 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 grès coquilliers) et les dépôts dunaires occupant la majeure partie du littoral algérois sous forme de dunes friables à consolidées.

2.2. Géologie local :

Le littoral de la baie d'El Djamila 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 Djamila, de nombreux bancs rocheux affleurent au niveau de l'estran et se poursuivent sous l'eau.

Au niveau de la plage El Djamila, 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 (voir figure 2.2).

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 et Messaoudi, 2005).

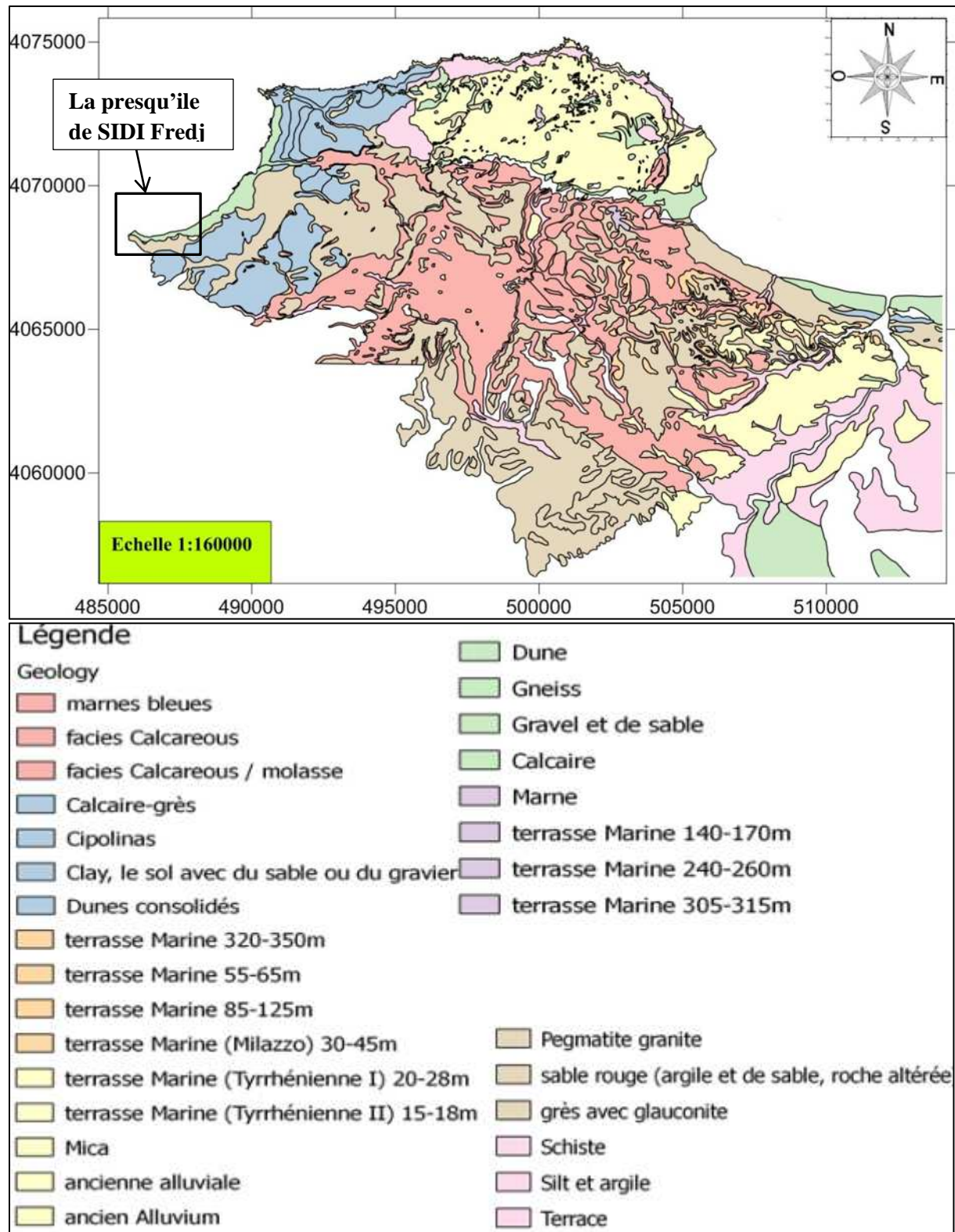


Figure 2.2 : Carte géologique régionale de la zone algéroise (INCT, 2016).

3. Dynamique sédimentaire :

La dynamique sédimentaire est la résultante d'actions hydrodynamiques (ou fluides) et solides, réagissant l'un sur l'autre. Son équilibre est très sensible à tout changement pouvant entraver son processus. On note une dominance du sable grossier surtout au voisinage du port d'El Djamila et une dominance du sable fin au niveau de la zone de SIDI Fredj, ces sédiments sont bien classés (**Al Sid chikh, 2009**).

Au niveau de la côte à l'est du port d'El Djamila, le dynamisme est important, provoqué par l'intensité des houles de l'Ouest, Nord – Ouest et Ouest – Nord – Ouest. Ces houles ont contribué au démantèlement de la falaise du Ras Acrata et du platier rocheux. Ces houles de secteur Ouest – Nord–Ouest sont d'incidence frontale sur le site, engendrant un courant de retour qui prend les sédiments de la côte et les dispersent au large. Ainsi les sédiments les plus fins se déposent au large. Ces houles provoquent ainsi bien l'érosion de la cote située à l'Ouest du port d'El Djamila (Zéralda, Sidi Fredj, Moretti, Staouéli, etc....) que le charriage des apports de l'Oued Mazafran. L'incidence oblique des houles du secteur Ouest engendre une dérive littorale qui entraîne les matériaux sableux vers l'Est dans le domaine infralittoral. La dérive littorale s'écoulant de l'Ouest présente un impact très important en charriant les sédiments vers l'Est. (**Houma, 2009**).

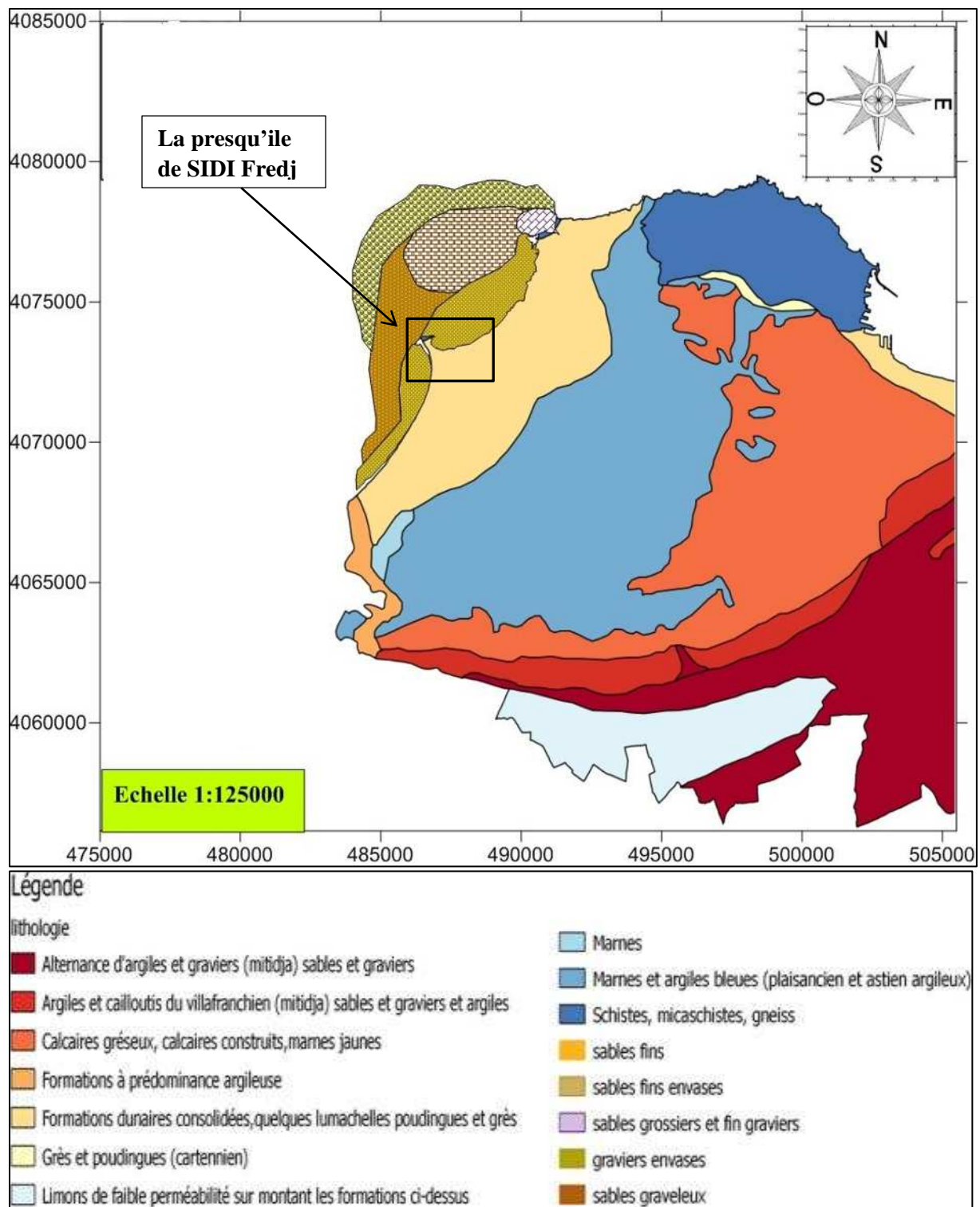


Figure 2.3 : Répartition sédimentologique de la baie d'El Djamilia (INCT, 2016).

4. Cadre climatologique :

La détermination du caractère de climat est très importante pour mieux apprécier les régimes hydrodynamiques qui régulent et transforment les fonds marins et la zone côtière de notre zone d'étude. Les données de climat local sont fournies par O.N.M : Observations allant de 1995 jusqu'à 2015.

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

4.1. L'étude des vents :

4.1.1. Au large :

Les côtes sont toujours plus ventées que leur arrière-pays immédiat parce que les vents qui les abordent en venant du large n'ont pas été freinés par des obstacles topographiques. Par leur fréquence et leur force, les vents qui soufflent sur les littoraux peuvent avoir des actions morphogéniques importantes. On a déjà dit qu'un vent parallèle à un rivage est capable, suivant sa direction, de renforcer ou de ralentir la dérive littorale. Un vent marin perpendiculaire à une plage accroît la cambrure des vagues, d'où une agressivité accrue quand elles déferlent et un démaigrissement de la plage. S'il s'agit d'un vent de terre, il diminue la hauteur des vagues, réduit leur cambrure, ralentit leur avancée, d'où un engraissement de la plage. On peut constater de tels phénomènes. Dans la baie d'El Djamila où la répartition des vents est parfaitement liée au régime annuel des houles. Les données recueillies par le service hydrographique des forces navales qui sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 2.1 : Fréquence saisonnière des houles au large par direction en pourcentage et par des classes des hauteurs significatives (SHFM, 2016).

Période saisonnière	Secteur du vent	Direction dominante	Fréquence d'apparition	Classes des vitesses (kt) et leurs pourcentages		
				17 nœuds	17-33 Nœuds	33 nœuds
Période hivernale	Nord-ouest à Sud-ouest	Ouest	60 à 80 %.	55%	40%	05%
Période estivale	Nord-est à Nord	Est-nord-est	45 à 75%	74%	25%	01%

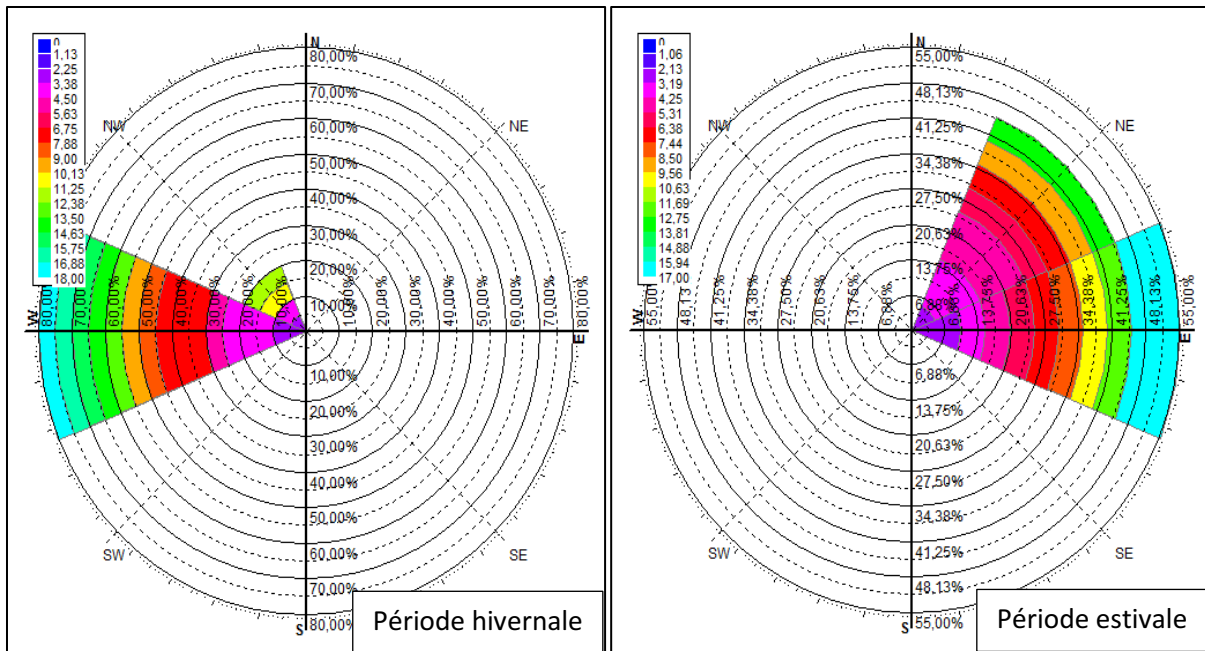


Figure 2.4 : Roses récapitulatives saisonnières des fréquences d'apparition du vent au large en fonction de leurs vitesses faites par le logiciel HYDROGNOM.

4.1.2. 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.

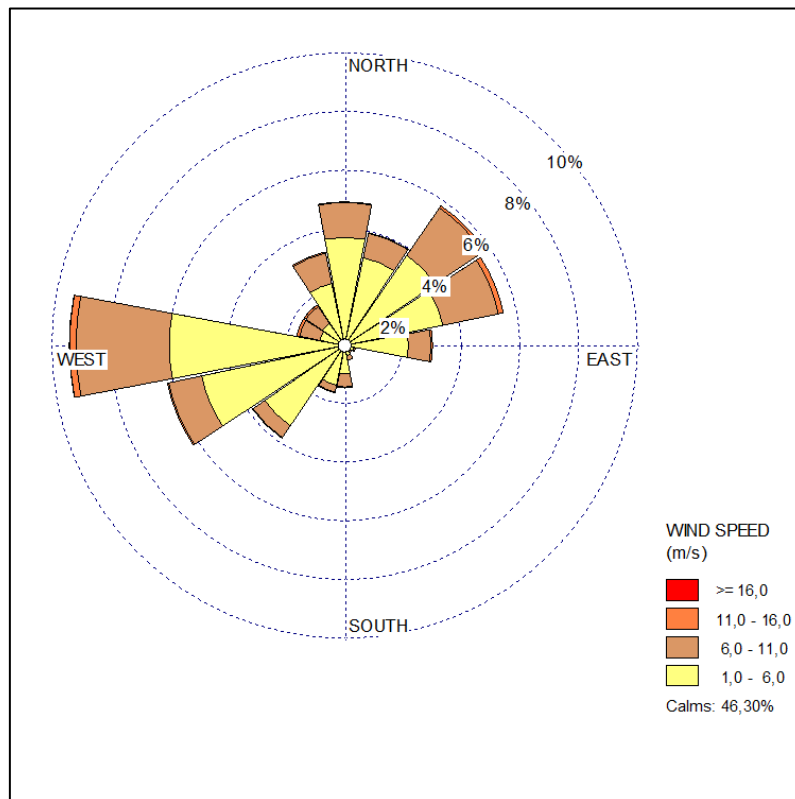


Figure 2.5 : Répartition annuelle des vents en % (ONM, Dar-El-Beida, 1995-2015).

Tableau 2.2: Distribution fréquentielle du vent à la station météorologique de Dar El Beida selon 4 classes de vitesses et 16 directions (période 1^{er} Janvier 1995 au 31 Décembre 2015, ONM).

Mois	Annuel				
Directions	Classes de Vitesses (m/s)				Total (%)
	01-05	05-10	10-15	>= 15	
N	3%	2%	0%	0%	5%
NNE	3%	2%	0%	0%	4%
NE	3%	3%	0%	0%	7%
ENE	2%	2%	0%	0%	5%
E	2%	1%	0%	0%	2%
ESE	0%	0%	0%	0%	1%
SE	0%	0%	0%	0%	1%
SSE	1%	0%	0%	0%	1%
S	1%	1%	0%	0%	2%
SSW	2%	0%	0%	0%	2%
SW	4%	1%	0%	0%	5%
WSW	5%	2%	0%	0%	7%
W	4%	4%	0%	0%	9%
WNW	1%	1%	0%	0%	2%
Mois	Annuel				
Directions	Classes de Vitesses (m/s)				Total (%)
	01-05	05-10	10-15	>= 15	
NW	1%	1%	0%	0%	2%
NNW	2%	2%	0%	0%	4%
Calme					43%
Total (%)	33%	22%	2%	0%	57%

5. Caractéristique 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 m³/an (0.245 m³/s) (Benallaoua, (2013)).

Tableau 2.3: Caractéristiques du bassin versant de l'oued Beni Messous (Dheewa, 2011).

Surface bassin versant (km ²)	Longueur (km)	Pente (%)	Altitude			perméabilité	
			min	max	perméable	Semi-perméable	Imperméable
33	11.50	3	00	360	7km ² 21.2%	11km ² 33.3%	15km ² 45.5%

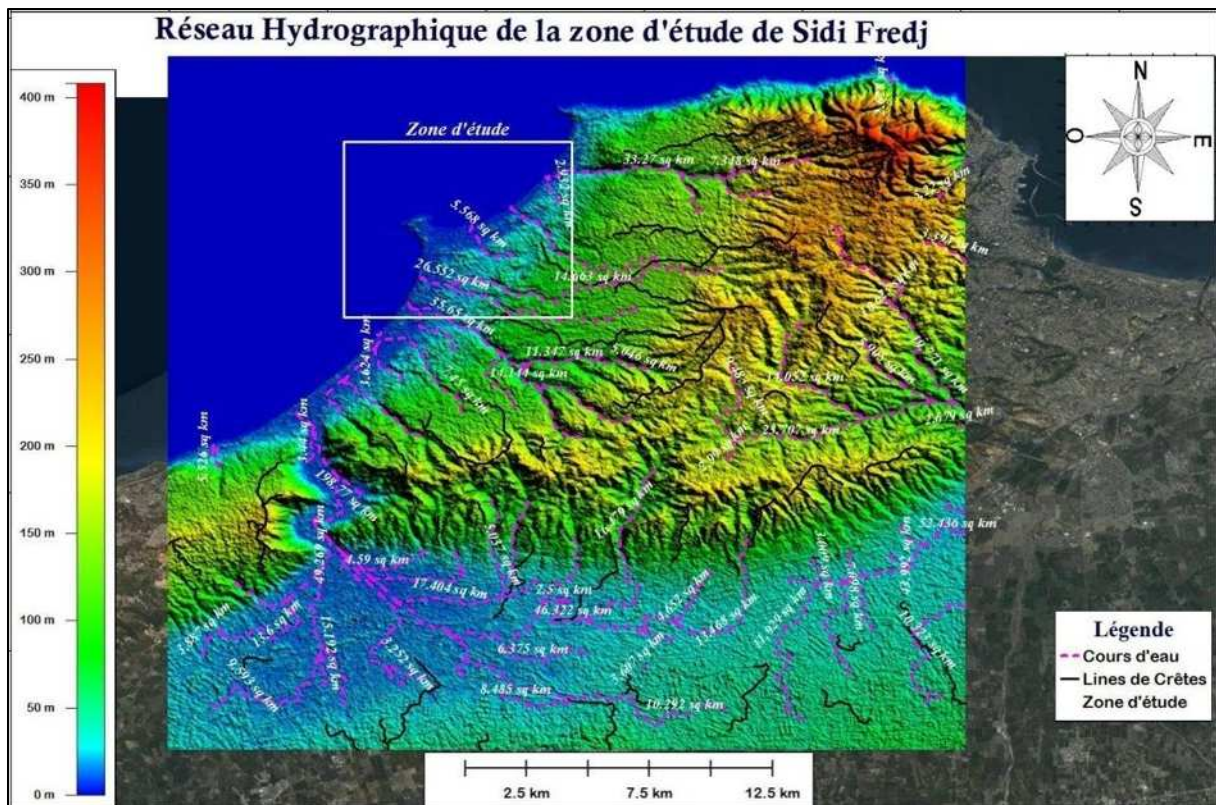


Figure 2.6: réseau hydrographique de la baie d'EL Djamilia.

6. Cadre océanographique :

6.1. Mer du vent et houle :

Notre zone d'étude, de par sa position géographique, se trouve dans le sillage des perturbations d'Ouest, de Nord-ouest et subit principalement les influences des perturbations méditerranéennes (Baléares et Golfe de Gènes). Les houles qui parviennent ainsi à la côte, se propagent suivant des directions bien définies (Ouest, Nord-ouest, Nord, Nord-est et Est), mais avec des prépondérances qui se différencient selon les saisons.

Les houles d'amplitudes élevées se distinguent nettement pendant la saison d'hiver. En revanche, l'été apporte une baisse de fréquence de fortes houles qui sont beaucoup moins susceptibles de se produire.

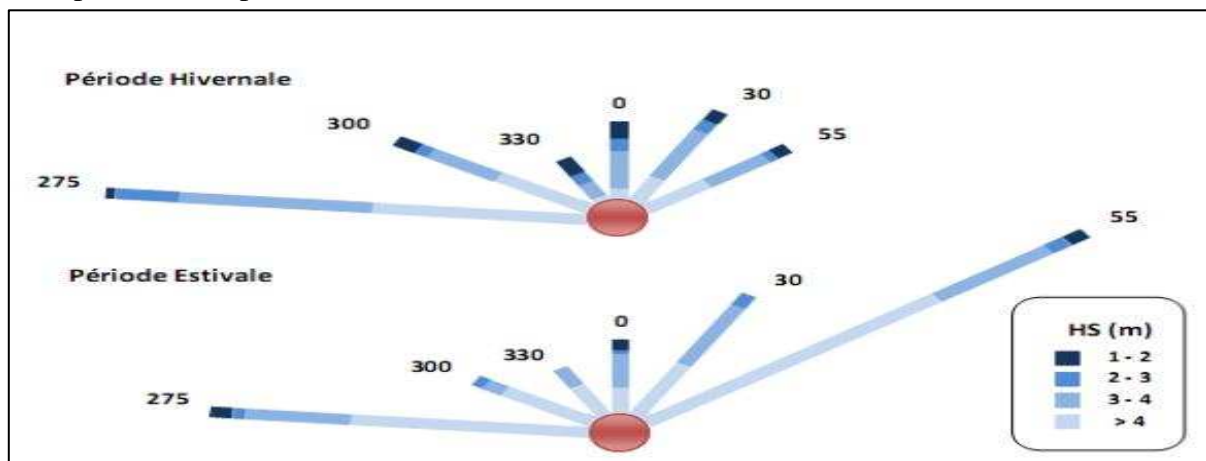


Figure 2.7: Roses récapitulatives de direction des houles au large du secteur (275°-55°) (Source: K.N.M.I in Zemenzer 2004).

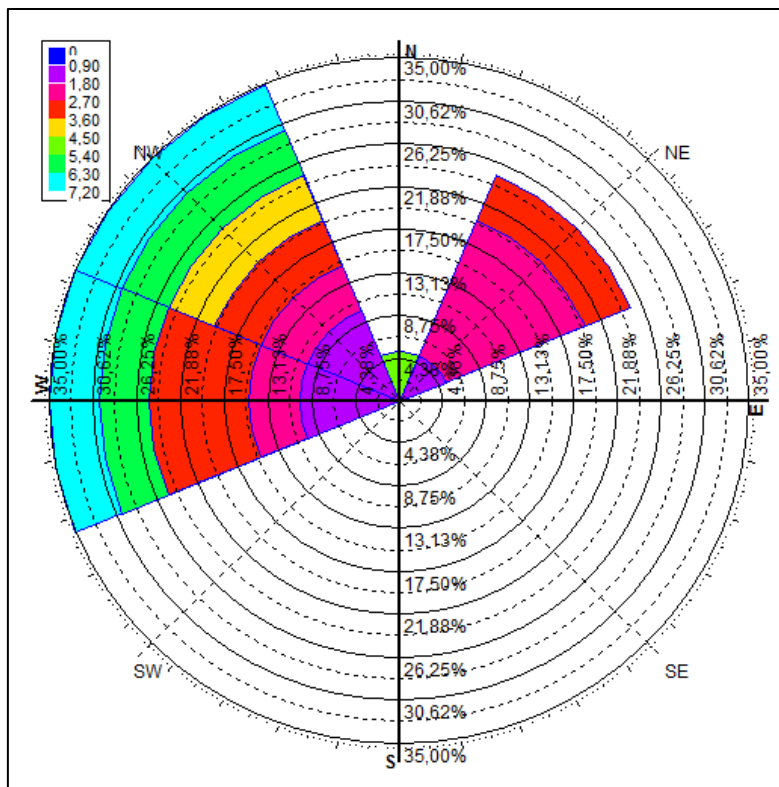


Figure 2.8 : Rose récapitulative de direction des houles au large du secteur (270°-45°) faite par le logiciel HYDROGNOM.

L'examen de ces données renseigne sur la répartition des vagues et de la houle qui est globalement concordante avec le régime des vents (Figure 2.5). Les statistiques des houles dans la région de Sidi Fredj, font apparaître deux régimes :

- ✓ **En hiver** : Les houles d'Ouest dominant avec la majorité des amplitudes sont entre 1 et 3 m pouvant atteindre les 5m, elles engendrent des courants de retour qui entraînent les sédiments vers le large.
- ✓ **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.

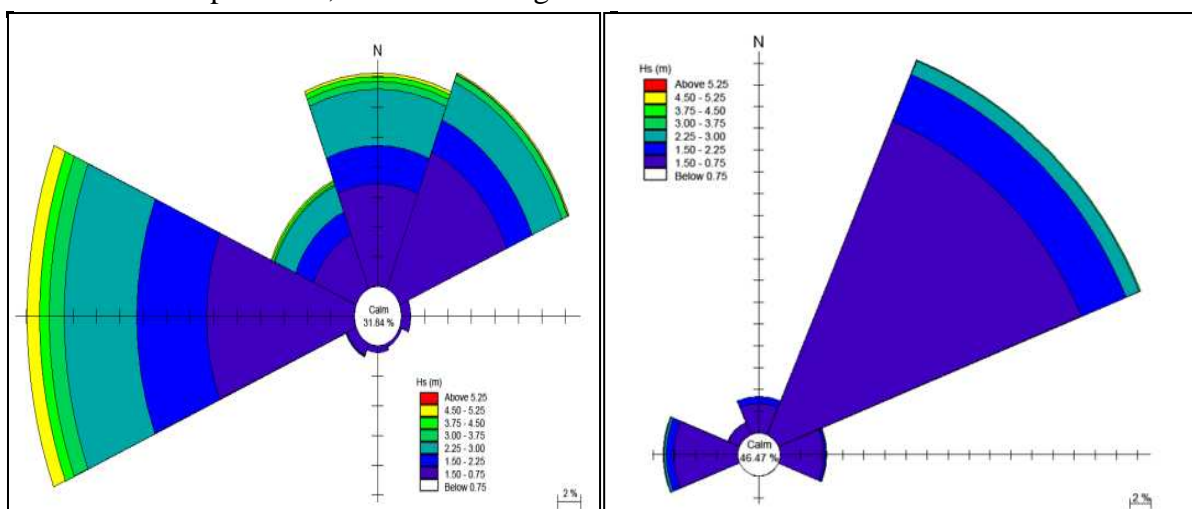


Figure 2.9 : Rose des vagues au large de la côte Algérienne Hiver – été (HMI, 2011).

Cette répartition peut être confirmée par des données anciennes du S.S.M.O présentées sous forme de tableau 2.4 et celles du K.N.M.I (Institut météorologique royal Néerlandais) (Figure 2.11).

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

Dir	Période de retour (m)					
	Biennale	Quinquennale	Décennale	Vingtennale	Cinquantennale	Centennale
N	4.90	5.75	6.38	7.02	7.87	8.50
NE	4.93	5.67	6.23	6.79	7.53	8.08
E	4.12	4.70	5.14	5.59	6.17	6.62
O	7.36	8.43	9.22	10.02	11.08	11.88
NO	4.16	4.87	5.40	5.94	6.65	7.18

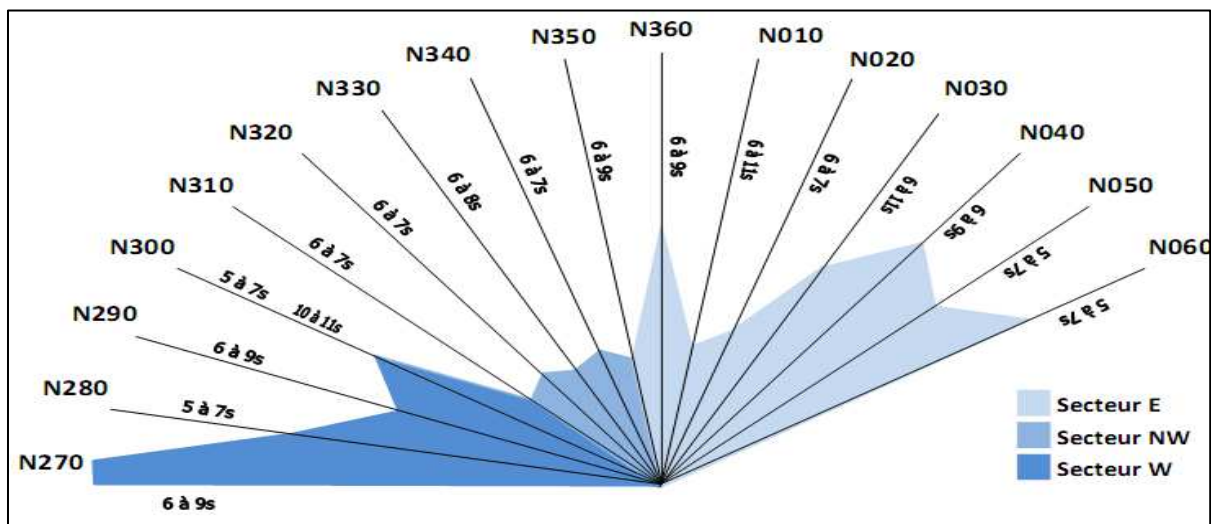


Figure 2.10: Répartition des énergies des houles en fonction de la direction et des périodes les plus courantes. Source : K.N.M.I in (Zemenzer, 2004).

A partir du tableau 2.4, on peut observer que les houles de direction Ouest sont les plus énergétiques (peut atteindre 11,88 m 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).

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

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

6.2. Les courants

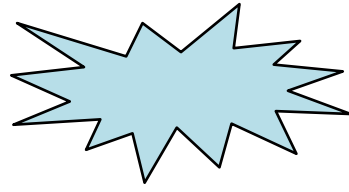
Les courants sont responsables de l'état dynamique des sédiments, (érosion, transport et sédimentation).

✓ **Le courant Algérien :**

C'est un courant général (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) (Milot et al, 1990).

6.3. La marée :

Bien que la marée soit faible sur la côte Algérienne, elle dépasse rarement les 35cm avec des périodes d'environ 12h à 24h, et que notre littoral soit de type micro tidal, il est recommandé de prendre en considération ce marnage surtout que notre zone d'étude (Club des Pins) est caractérisée par une pente douce, ce qui conduit à une amplification des phénomènes d'inondation (KHALDI, 2015).



Etude

bathymétrique

1. Introduction

Les développements technologiques récents, notamment en imagerie, conduisent à l'acquisition de données localisées par divers organismes. Un nombre croissant de données de référence est disponible, permettant la mise en œuvre d'applications de recherche utilisant les potentialités d'analyse et de représentation des SIG (ex : Global mapper). Pour les petits fonds marins côtiers, les Modèles Numériques de Profondeur (MNP) ou bien les modèles numériques de terrain sont particulièrement appréciés des scientifiques, notamment pour leur aptitude à permettre le calcul des surfaces ou des volumes, à fournir divers indices, tels que l'inclinaison et l'orientation des pentes, ainsi que pour les possibilités de visualisation des structures en trois dimensions (Laassilia, 2013).

2. Techniques et appareillage

2.1. Travail sur terrain

Afin de suivre l'évolution morpho sédimentaire du littoral de SIDI Fredj, des relevés topo bathymétriques (profils perpendiculaires au trait de côte) ont été effectués lors de notre sortie sur terrain par accès direct sur la plage aérienne durant la semaine du stage en janvier 2016 et un accès indirect concernant la partie marine. Les relevés topographiques des plages ont été réalisés au moyen d'un théodolite. Tandis que le levé bathymétrique qui consiste à déterminer les coordonnées tridimensionnelles des points du fond marin dans le système géodésique WGS84 à l'aide d'un GPS et d'un échosondeur.

Afin d'obtenir le levé bathymétrique de notre zone d'étude, nous avons effectué une Sortie en mer de mesure le 19 Juin 2016, à bord d'OURASS, qui fait partie du parc naval de notre école, on a pu balayer toute la zone d'étude suivant des radiales, et de prendre aussi des mesures (coordonnées géographiques, profondeur) à l'aide d'un GPS et échosondeur portables dans les points de prélèvement.

2.2. Travail numérique :

Vu que la mer était un peu agitée lors le jour de la sortie, on a pas pu effectuer des levés bathymétrique important, le maximum jusqu'à -7 m, et on sait bien que cette donnée est primordiale sachant quel représente la base de la modélisation de l'hydrodynamique sédimentaire, alors on était obligé de procéder cette étude avec une autre méthode pour essai d'obtenir l'ensemble des données nécessaires pour pouvoir faire les modèles hydro sédimentaires.

Cette dernière consiste à utiliser un logiciel spécifique (ArcGis 10.2.2) qu'on va le détailler bien dans le chapitre 5, cet outil nous a permis de traité un ensemble des cartes (digitaliser, convertir, extraire) et en tirer les coordonnées et la profondeur.

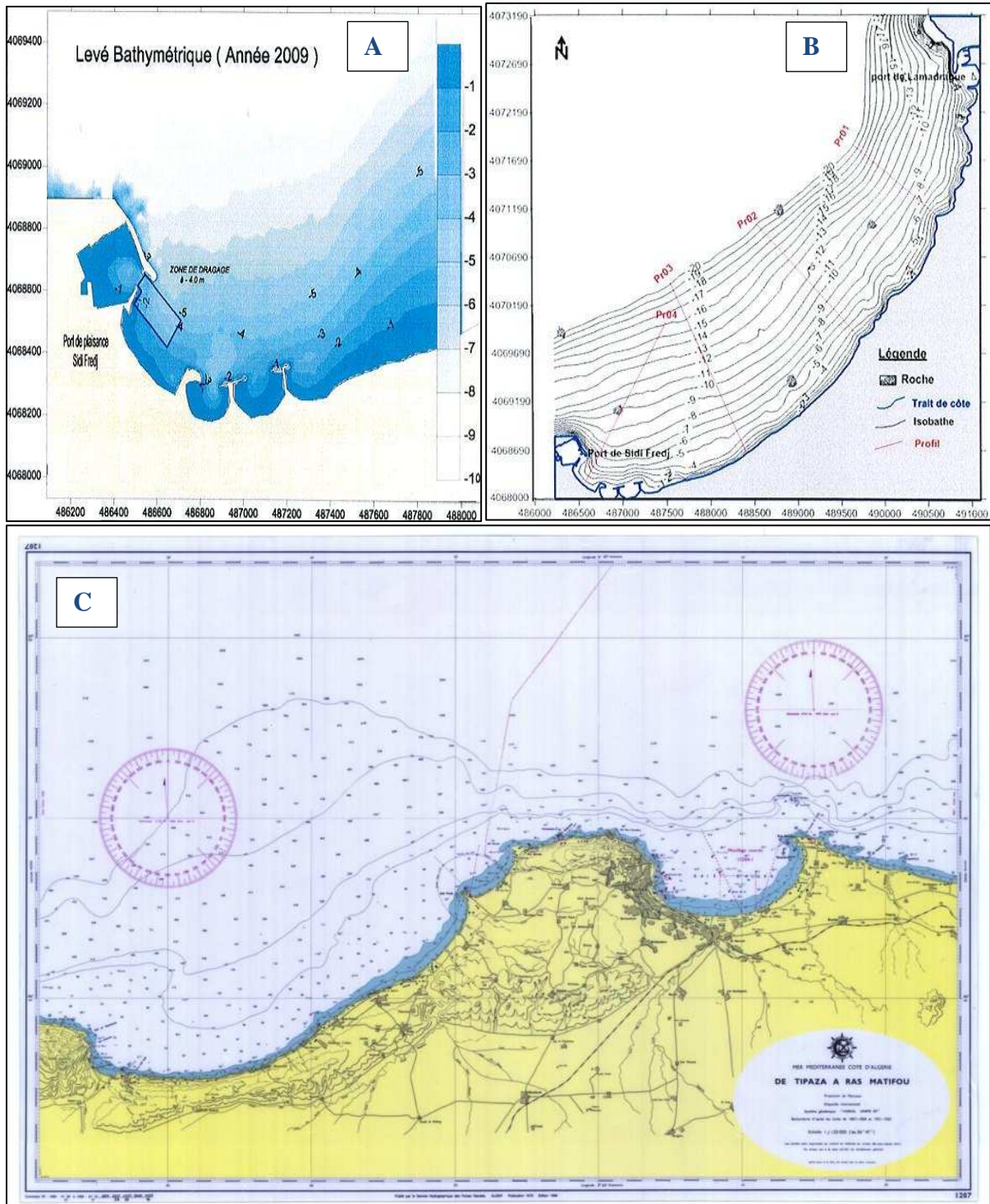


Figure 3.1: des Cartes de levée bathymétrique de la zone de Sidi Fredj et la baie d'El Djamilia ;
 A :carte faite par le CTH, B : carte faite par le CTH, C : carte SHOM (in HMI, 2016).

2.3. Traitement numérique des données :

Après l'acquisition des données topo bathymétriques qui sont effectuées par les techniques précédemment mentionnées, on a pu passer au traitement numérique de ces données à l'aide d'un progiciel qui s'appelle **Global mapper** qui utilise des approches numériques pour traiter et gérer nos données, parmi lesquelles la méthode dite d'interpolation naturelle voisine.

Cette méthode est une technique de calcul géométrique qui utilise les surfaces naturelles voisines (Natural Neighbourhood- NN) qui sont formées autour de chaque point, dans une base de données ponctuelles. Elle est particulièrement effective dans les cas de données spatiales variées, dont la dispersion surpasse la surface de la grille. Il s'agit d'une méthode qui maintient les valeurs qui sont localement les plus grandes et les plus petites en ayant comme résultat de permettre la création de modèles de surfaces par des bases de données à valeurs variées.

2.3.1. Aperçu du logiciel Global mapper :

Global Mapper est plus qu'un simple outil de visualisation capable d'afficher les images raster, les données d'altitude et les données vectorielles les plus répandues.

Il convertit, édite, imprime, acquière des données GPS, et vous permet d'utiliser des fonctionnalités SIG sur vos jeux de données de manière peu onéreuse et simple. Global Mapper permet aussi, en son sein, un accès direct à la totalité de la base de données TerraServer d'imagerie satellitaire et de cartes topographiques de l'USGS ainsi que la visualisation des données d'altitudes en vrai 3D avec un drapage de n'importe quelles images raster ou données vectorielles (Erwan, 2012).



Figure 3.2: capture d'écran présente l'interface et la barre d'outils du Global mapper.

2.4. Présentation et analyse des résultats

2.4.1 Cartes topo bathymétriques :

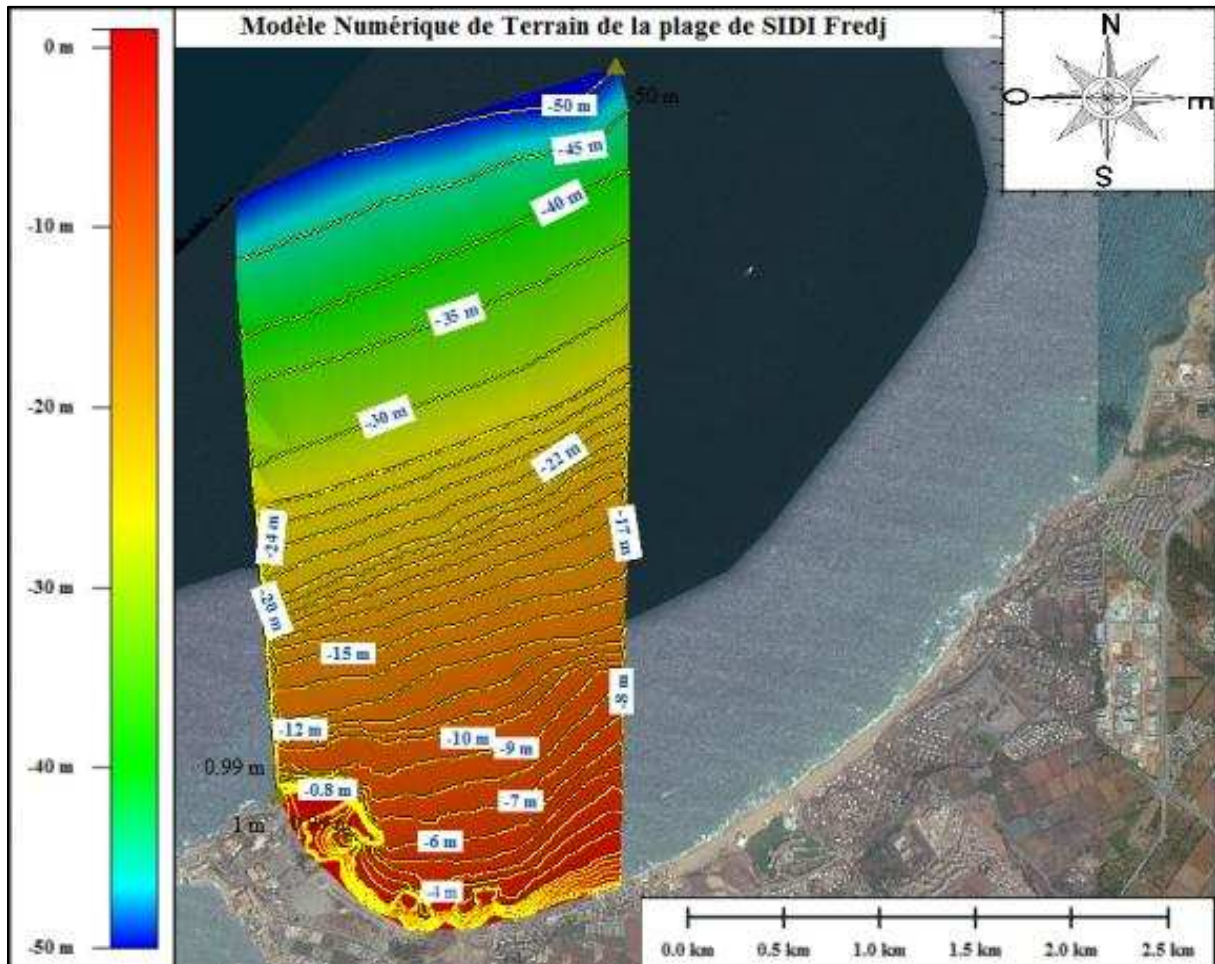


Figure 3.3: Carte topo bathymétrique du littoral de SIDI Fredj.

Commentaire :

La carte topo bathymétrique de l'année 2016 présente des courbes de niveaux allant de +1m Jusqu'à -50 m, elle montre la variation de niveaux entre le pied de la dune et une profondeur ou on ne marque pas des mouvements sédimentaires. D'après cette carte, on constate une pente faible au niveau du coté EST et la partie centrale de cette plage, à l'exception de la partie OUEST en dehors du port dans la partie exposée (jetée principale), cette partie présente des profils avec des pentes qui sont relativement raide.

A partir de la profondeur de -6 m, on constate une certaine stabilité de la pente qui tend régulièrement vers des équidistances égaux entre les isobathes, sauf au niveau de la presqu'île où on trouve la jetée du port et aussi une partie du platier rocheux, la pente est très importante.

2.4.2. Analyse des profils bathymétriques :

Afin de faciliter la lecture et la compréhension des résultats obtenus par un traitement des données bathymétrique par le logiciel Global mapper, nous avons établis 11 profils

représentatifs de la globalité de la zone. Pour chaque profil, une courbe illustre respectivement les observations de l'année 2016 qui permet de donner une idée sur la forme du plateau continental.

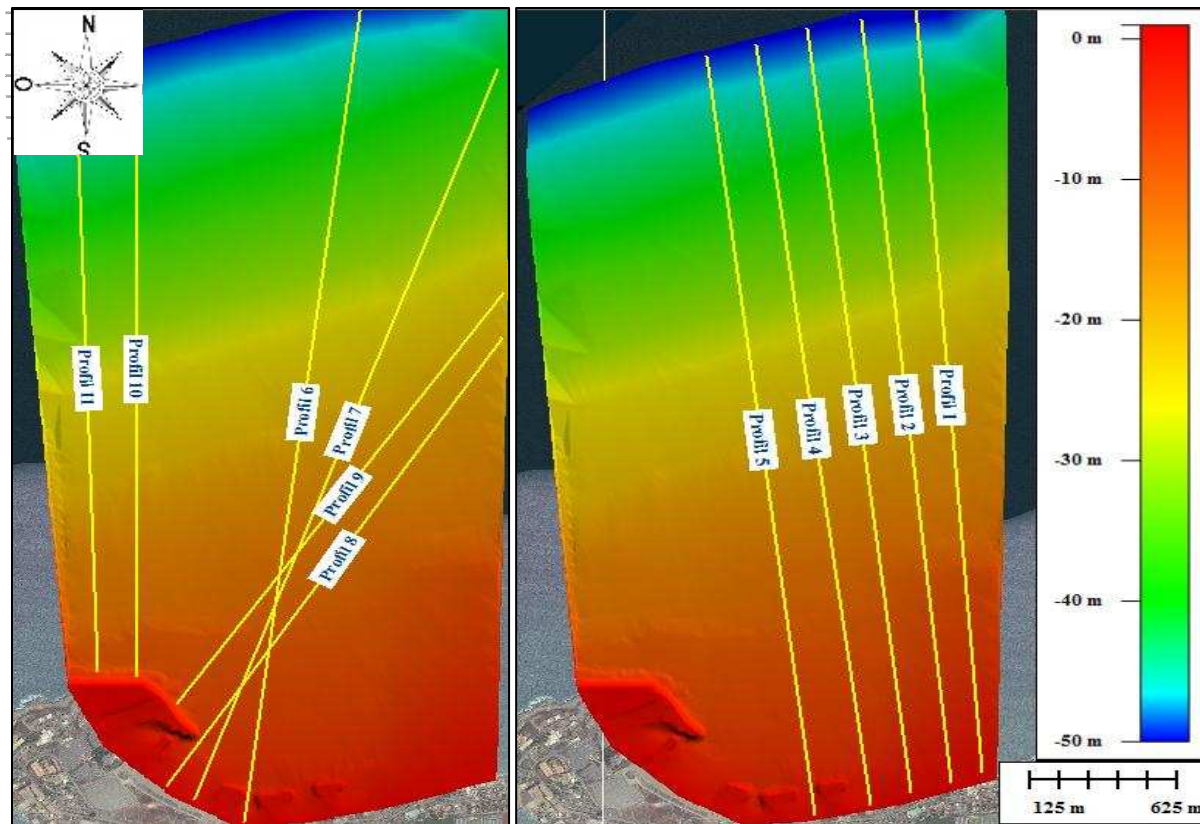


Figure 3.4: emplacement des profils bathymétriques du littoral de SIDI Fredj.

• **Profil 4 :**

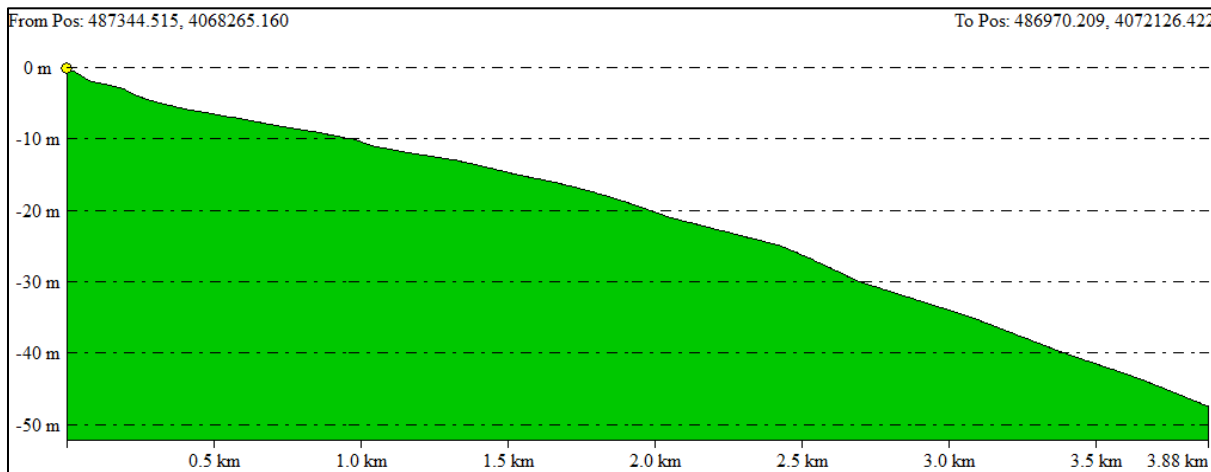


Figure 3.5: Profil bathymétrique n°4.

Commentaire :

A partir de cette figure, on constate que la pente de cette partie de plage El Riadh est caractérisée par une pente relativement faible dans les premiers mètres, puis à profondeur de -3,5m on note qu'il y a une petite élévation à une profondeur de -3,5m, elle pourrait être une barre de déferlement, qui est due probablement à un régime hydrodynamique violent lors d'une période de tempête, puis elle reprend plus doucement jusqu'à -10 m, après cette

profondeur on peut dire que la pente devienne de plus en plus douce, sans l'existence des irrégularités dans le profil en général.

- **Profil 5 :**

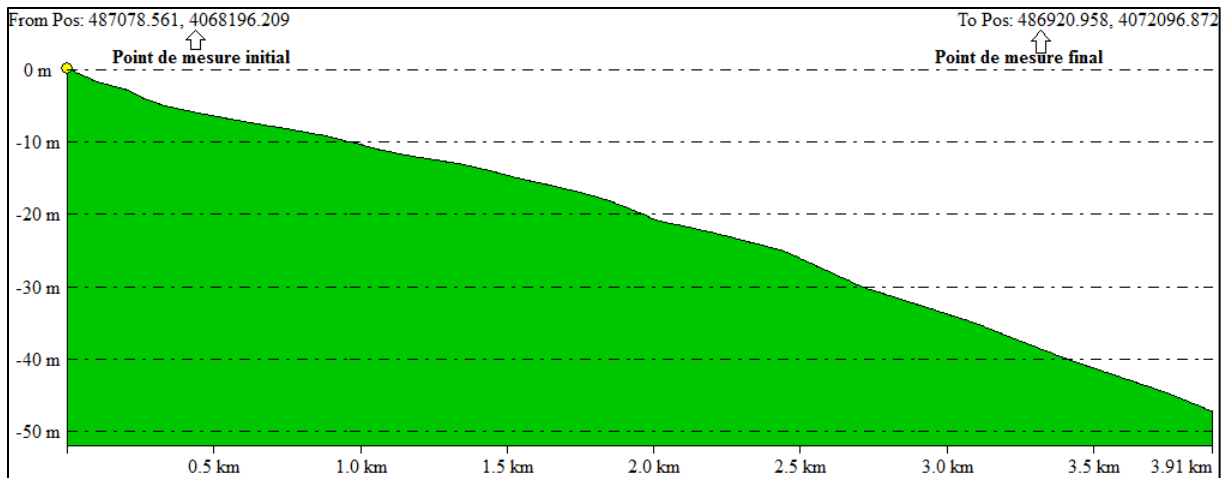


Figure 3.6: Profil bathymétrique n°5.

Commentaire :

D'après la carte topobathymétrique et cette figure du profil 5, on observe que plus on se rapproche vers le côté Est, la pente devient de plus en plus douce mais avec un degré moindre surtout entre 0m et -5m de profondeur, notant probablement la présence d'une barre de déferlement et au-delà de ce niveau la pente est généralement faible d'environ de 0.01, globalement le profil a un pendage doux.

- **Profil 6 :**

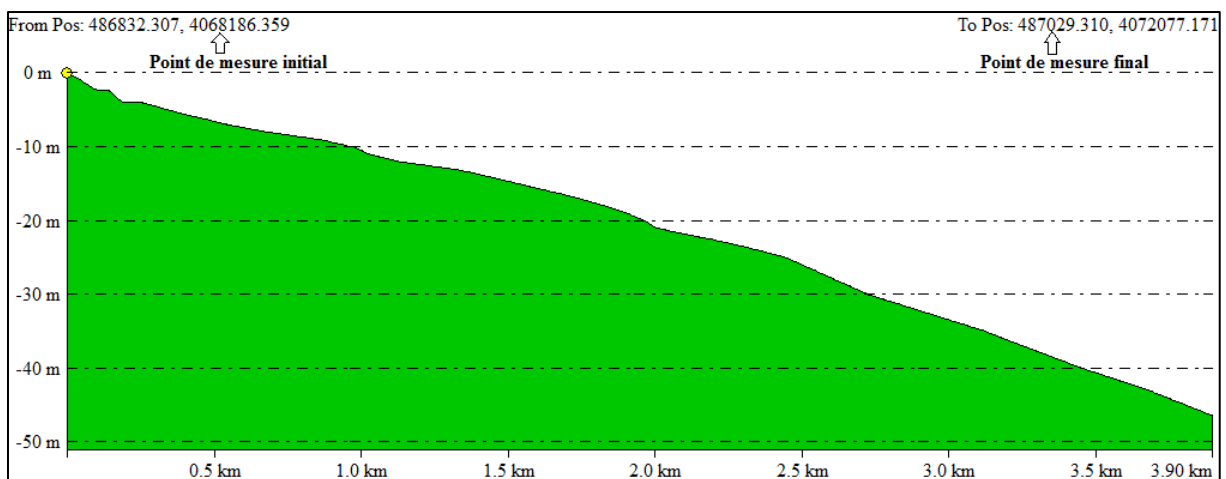


Figure 3.7: Profil bathymétrique n°6.

Commentaire:

D'après cette figure, on peut dire que l'estran de cette partie entre les ouvrages est caractérisé par une pente aussi modérée environ de 0,015. Cette pente se casse au niveau du bas-estran par une légère élévation, due probablement à l'effet d'une accumulation de sable au centre d'un tourbillon à une profondeur de -2.5 m, cette élévation est suivie par une excavation du profil à environ -3.5 m de profondeur, puis elle reprend plus doucement jusqu'à -10m de

profondeur avec un abaissement qui s'étale jusqu'à un niveau de fermeture environ de -23m, et se continue avec un pendage plus doux.

• **Profil 7 :**

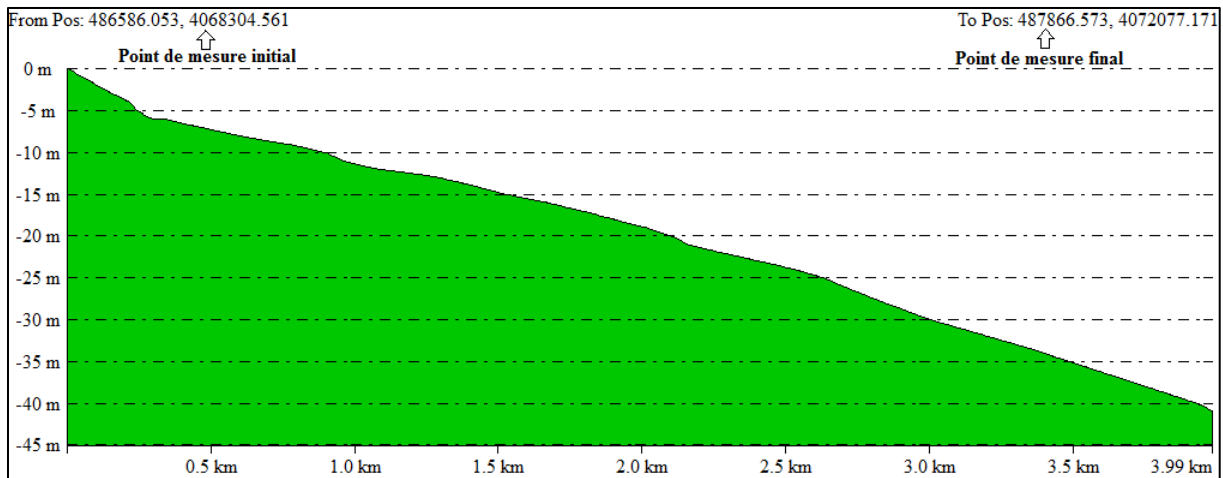


Figure 3.8: Profil bathymétrique n°7.

Commentaire:

La pente au niveau de la partie centrale de cette plage est généralement moyenne ; elle est de l'ordre de 2°, cette pente connaît une rupture, au niveau de l'avant plage (-6.5m), semblable à celle observée de la profondeur -10,5m, notant l'existence de quelques irrégularités entre les -20 m et les -30 m. La pente reprend également avec un pendage un peu plus doux qu'auparavant.

• **Profil 8 :**

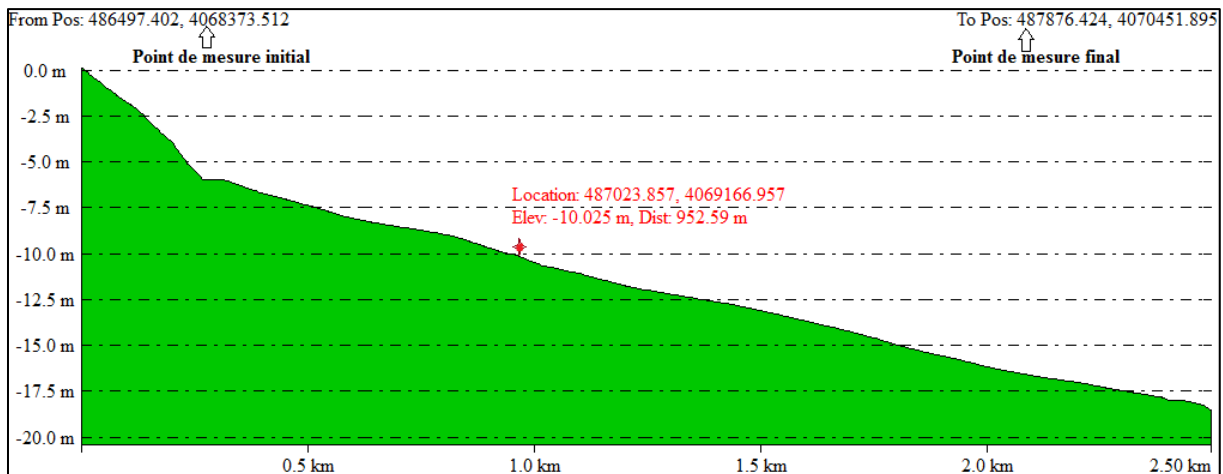
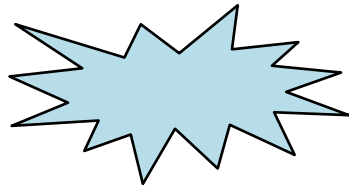


Figure 3.9: Profil bathymétrique n°8.

Commentaire :

Ce profil présente aussi comme le précédent, une pente raide dans les premiers mètres entre 0m et -7,5m, puis elle devient de plus en plus douce jusqu'à une profondeur de -20m.



Etude

sédimentologique

- I. Etude sédimentologique préliminaire*
- II. Etude sédimentologique analytique*

1. La granulométrie

Elle a pour objet la mesure de la taille de particules élémentaires ou de grains. Les méthodes qui permettent cette mesure doivent être reproductibles ; c'est pourquoi elles suivent des normes strictes. Parmi ces méthodes, on cite le tamisage qui est divisé en deux catégories :

- Le tamisage à sec (> 100 μ m)
- Le tamisage sous eau (> 40 μ m)

La granulométrie consiste aussi en l'analyse de la distribution statistique des classes de tailles d'une collection de grains (Ehrhold, 1994).

1.1. Principe du tamisage à sec :

Le tamisage consiste à mesurer le poids de sédiment retenu par les toiles de mailles de tamis calibrés. Chaque tamis est superposé par taille de maille décroissante selon une progression mathématique. Le poids de sédiment retenu (refus de tamis) peut alors être connu. On utilise une tamiseuse qui va faire vibrer l'ensemble de la colonne pendant un temps précis. Il est possible de réaliser cette opération à sec lorsque les grains sont relativement grossiers (à partir des silts) (Ehrhold, 1994).

1.2. Définitions granulométriques et classes de taille :

Les définitions granulométriques sont nombreuses et variables selon les auteurs, l'échelle spatiale des secteurs géographiques étudiés et la nature des sédiments rencontrés.

Tableau 4.1: Définitions granulométriques pour les graviers, galets et blocs (Ehrhold, 1994).

Classe	Taille (mm)
Sable très fin	0.063_0.125
Sable fin	0.125_0.25
Sable moyen	0.25_0.5
Sable grossier	0.5_1
Sable très grossier	1_2
Gravier très fin	2_4
Gravier fin	4_8
Gravier moyen	8_16
Gravier grossier	16_32
Gravier très grossier	32_64
Petit galet	64_90
Galet moyen	90_128
Gros galet	128_180
Très gros galet	180_256
Petit bloc	256_512
Bloc moyen	512_1024
Gros bloc	1024_2048
Très gros bloc	2048_4096
Méga bloc	>4096

2. Prélèvements sur le terrain :

L'extraction de sédiment sur le terrain nécessite l'utilisation de techniques très variées selon la nature du terrain, le problème posé et le type d'analyse, le type de sédiment (des vases aux méga-blocs) et la quantité de sédiment à analyser.

2.1. Pour l'analyse granulométrique

2.1.1. Le prélèvement au niveau des unités émergées :

Il s'effectue directement dans le cas d'une étude portant sur une plage, un banc de sable, un cordon de galets ou de blocs, plus généralement sur le domaine intertidal. La nature du sédiment va conditionner la quantité de matériel à prélever et la méthode qui sera utilisée. Dans le cas de sédiments meubles (jusqu'aux petits graviers) comme il a l'air dans notre zone d'étude (plage Est de SIDI Fredj), il est possible de prélever manuellement le sédiment à condition de bien creuser la surface où on prélève et aussi de prendre les coordonnées métriques de cette station à l'aide d'un GPS, puis les mettre dans des sacs en plastique étiquetés. Pendant cette expérience, on a prélevé 20 échantillons répartie sur dix profils (**photo 4.1**).



Figure 4.1 : prélèvement des sédiments de la plage aérienne de SIDI Fredj.

2.1.2. Le prélèvement au niveau des unités immergées :

Le terrain peut être de nature très variable selon sa localisation - océan, littoral, lac et étang, fleuve et rivière. Dans le cas d'un travail réalisé en mer, prélever du sédiment nécessitera l'utilisation de moyens spécifiques comme le navire (Ourass) qu'on l'a utilisé pour sortir en mer. Les instruments permettant l'extraction de sédiment et le positionnement des stations seront adaptés selon l'embarcation choisie : bennes dédiées à l'extraction de sédiment comme la benne Van Veen, GPS Garmin, et un echosondeur à main.



Figure 4.2 : GPS, Echosondeur et Benne preneuse de type « Van-Veen ».

La quantité de sédiment est souvent importante lors de prélèvements via une benne.

➤ **Benne Van Veen** : Elle convient à la plupart des substrats (vase meuble, vase compacte, sable et cailloutis) et permet des prélèvements sur 10 à 30 cm d'épaisseurs selon sa taille. Sa construction simple et robuste facilite son utilisation en eau profonde et dans le courant. Au contact du fond, un loquet se désengage et libère les mâchoires qui se referment par rapprochement des bras de leviers. Selon **Dreano (2009)** :

- **Les avantages :**

- ✓ elle peut être utilisée dans des situations de courants forts (<1 à 1,5 m/s);
- ✓ l'utilisation d'un support permettra de stabiliser la benne ;
- ✓ selon le modèle, la partie supérieure de la benne peut s'ouvrir et permettre le sous-échantillonnage directement à l'intérieur;
- ✓ elle retient bien les sédiments fins;
- ✓ elle est la benne la plus polyvalente et la plus représentative.

- **Les désavantages :**

- ✓ elle peut avoir tendance à se coucher sur le fond malgré l'utilisation des longs bras;
- ✓ elle est inefficace dans les sédiments consolidés;
- ✓ la vitesse de descente doit être contrôlée pour éviter le remaniement des sédiments superficiels et ce, malgré le design de la benne qui limite le flot de l'eau;
- ✓ le système de fermeture peut être obstrué par des débris;
- ✓ la pénétration peut être trop grande dans les sédiments mous à cause du poids de la benne ou si la vitesse de descente est trop rapide;
- ✓ la fermeture des mâchoires peut être prématurée en eaux agitées ou si la vitesse de descente est trop rapide;
- ✓ son utilisation nécessite un système de levage (treuil et potence).

3. Matériel et traitement des échantillons

Un laboratoire de sédimentologie contient plusieurs instruments destinés à l'analyse granulométrique. Il doit disposer de postes de travail dédiés à la pesée, à l'observation des échantillons, éventuellement d'un poste informatique (PC) permettant la saisie des données. Le reste du laboratoire est dédié au séchage, au tamisage et aux analyses chimiques.

1/ après la phase de prélèvement et de stockage des échantillons qui vont être destinées par la suite au laboratoire pour le traitement et l'analyse en prenant en considération quelques précautions reconnues lors du transport des échantillons.

Sécher et peser : Les échantillons sont placés dans une étuve (photo 3.3) pour y être séché. Selon la nature du sédiment et le type d'analyse, les échantillons vont sécher de 24 à 48 h à une température de 105°C. Lors de la montée en température, il est souhaitable de rester à proximité de l'étuve pour en vérifier le bon fonctionnement. Après ça on prend une quantité de 150g de chaque échantillon à l'aide d'une balance de précision.



Figure 4.3 : Etuve et balance de précision.

- **Fraction fine (< 40µm)**

3/ Laver : en utilisant un tamis d'un diamètre de 40µm, l'échantillon de sédiment est lavé sous une source d'eau pour éliminer laisser passer tout ce qui est fine (< 40µm) et à l'aide

d'une pissette qu'on peut rassembler et laver la totalité de l'échantillon pour diminuer au maximum la marge d'erreur, en suite on fait le séchage encore une fois comme il a été déjà mentionnée puis à partir d'un balance de précision, on peut évaluer la fraction des pélites ($<40\mu\text{m}$) qui représente la différence entre la première et la deuxième pesée et on va la traduire par pourcentage.

- **Fraction grossière**

4/ Tamiser : Un tamis est composé d'une toile de mailles dont l'ouverture est déterminée. Généralement les tamis les plus fins ont une taille de $40\mu\text{m}$. Les tamis les plus larges sont nommés passoirs (à partir de 3.315mm). Pour information, les tamis AFNOR respectent la progression suivante : 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1200, 1400, 1600, 2000, $3150\mu\text{m}$. D'autres nomenclatures sont parfois utilisées, avec des tamis en unités phi par exemple. Les tamis sont placés les uns sur les autres dans le sens décroissant. Le sédiment sec est déversé au sommet de la colonne (Fig. 3.3). On utilise un fond étanche à la base de la colonne pour récupérer le refus. La colonne est placée sur une tamiseuse (Fig. 3.3) qui va la faire vibrer à une fréquence connue pendant un temps connu (généralement 10 minutes). Le sédiment va ainsi être trié selon la taille des grains qui le compose. Chaque refus est alors versé délicatement dans une capsule pour être pesé. Un grand soin doit être apporté lorsque l'on enlève les derniers grains qui restent dans le tamis. On utilise généralement un pinceau ou une brosse (selon la finesse de la maille). On ne doit jamais appuyer sur le tamis à l'aide de la brosse et on ne doit jamais enlever par la force un grain resté bloqué dans une maille.

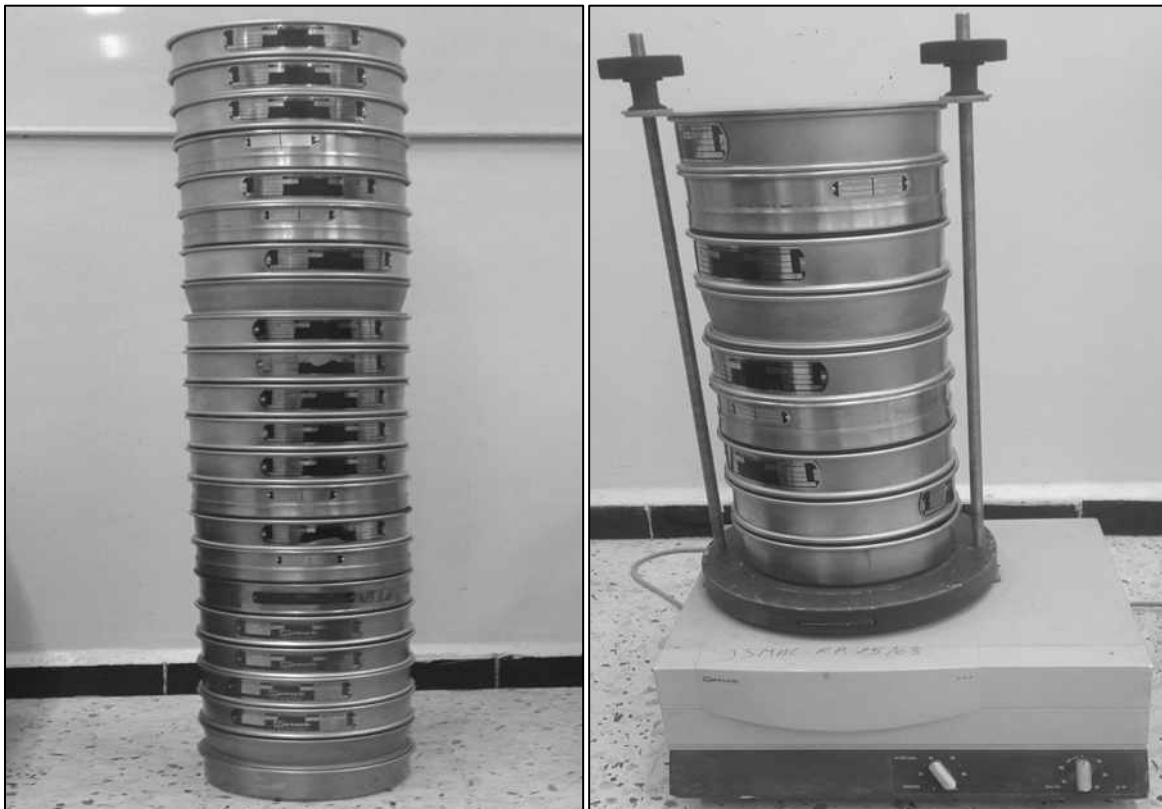


Figure 4.4 : une colonne de tamis de type AFNOR et une tamiseuse.

5/ Peser : Chaque refus de tamis est pesé à l'aide d'une balance de précision, préalablement stabilisée sur un plan parfaitement horizontal, tarée et à l'abri des mouvements d'air.

4. Traitement des données :

Le traitement graphique ou numérique des résultats bruts fournis par le tamisage a pour but de définir, par l'emploi des paramètres spécifiques (position, dispersion, asymétrie et acuité), l'échantillon étudié.

4.1. Représentation graphique traditionnelle :

4.1.1. Courbe granulométrique : Celle-ci consiste à reporter en abscisse sur une échelle logarithmique la dimension des grains et des particules correspondant aux ouvertures des mailles de tamis du type AFNOR, c'est-à-dire selon une progression logarithmique. En ordonnées, les pourcentages cumulés des particules de taille supérieure à la dimension donnée sur l'axe des abscisses, sont portés sur une échelle arithmétique.

Ce type de représentation couplé au tracé de l'histogramme de fréquence pour chaque classe granulométrique est celui le plus fréquemment utilisé (**Sourdat, 2000**).

4.2. Méthode des percentiles :

La courbe cumulative permet de mettre en évidence une première série de paramètres, de laquelle tous les autres découlent. Ce sont les percentiles Q_x , points correspondants à des mailles de tamis hypothétiques sur lesquelles x% en poids du sédiment est de dimension plus grande (ou plus petite). Les valeurs d'abscisse les plus fréquemment utilisées sont :

5, 10, 16, 25, 50, 75, 84, 90, 95, 99.

4.2.1. Les paramètres de position :

- ✓ **La médiane ou Q_{50} :** est l'indice de position le plus fréquemment employé car il donne en intégrant toutes les classes granulométriques une estimation de la grossièreté moyenne du sédiment,
- ✓ **Q_{25} et Q_{75} :** c'est le premier et le second quartile.
- ✓ **Q_{10} et Q_{90} :** c'est le premier et le second décile.
- ✓ **Q_5 , Q_{16} , Q_{84} , Q_{95} , Q_{99} :** ces percentiles sont rarement utilisés seuls (sauf Q_{95} et Q_{99} pour le test de Passega) mais associés, ils définissent des indices plus complexes qu'on les verra par la suite.
- ✓ **Le mode granulométrique (M_o) :** correspond à la dimension la plus significative de la distribution granulométrique, c'est-à-dire la dimension la plus représentative des grains d'un sédiment (**Sourdat, 2000**).

Il existe trois groupes principaux de courbes cumulatives :

Uni modales : 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.

4.2.2. Indices granulométriques :

Les indices granulométriques sont calculés à partir des paramètres granulométriques qui sont déjà cités précédemment. Ce sont les valeurs de la taille qui correspondent à chaque pourcentage. Ces paramètres, donnés en millimètres ou en micromètres sont ensuite transformés en unité de phi (Φ). Avec : $\Phi x = -\log 2D$.

- ✓ **l'indice de dispersion de Folk et Ward** : Contrairement aux autres indices, celui-ci fait intervenir les extrémités de la courbe dans la définition du classement donc 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 (Durafour, 2014).

$$S_0 = \frac{\Phi_{84} - \Phi_{16}}{4} + \frac{\Phi_{95} - \Phi_5}{6,6} \dots\dots (1.3).$$

Tableau 4.2: Les valeurs adoptées pour S0 pour le tri.

Valeur de S ₀	Le Tri
TRI < 0.35	Très bien trié
0.4 < TRI < 0.5	Bien trié
0.5 < TRI < 0.7	Modérément bien trié
0.7 < TRI < 1	Modérément trié
1 < TRI < 2	Mal trié
2 < TRI < 4	Très mal trié
4 < TRI	Extrêmement mal trié

- ✓ **Indice d'Asymétrie (SKi ; Skewness de Trask)** : Il indique un étalement de la courbe granulométrique plus ou moins important vers les sédiments fins ou les sédiments grossiers (Durafour, 2014).

$$Ski = \frac{\Phi_{16} + \Phi_{84} - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{84} - \Phi_{16})} + \frac{\Phi_5 + \Phi_{95} - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{95} - \Phi_5)} \dots\dots (2.3)$$

Tableau 4.3: Les valeurs adoptées pour Ski pour l'Asymétrie.

Valeur de Ski	L'asymétrie
-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

- ✓ **Indice central (TRASK & WARD, 1954)** : C'est de positionner globalement l'échantillon sur l'échelle des dimensions des sédiments. Il traduit la puissance moyenne des paléo écoulements (Durafour, 2014).

$$M_z = \frac{\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84}}{3} \dots\dots (3.3)$$

Tableau 4.4: Les valeurs adoptées pour MZ pour l'Indice central.

Valeur de M_z	Taille moyenne
$MZ < -6$	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 Hydrodynamique (FH)** : Cet indice permet d'appréhender les conditions hydrodynamiques régnant dans le milieu.

$$FH = KG - \left(\frac{\Phi_{75} - \Phi_{25}}{2} \right) \dots \dots \dots (4.3)$$

Les valeurs positives correspondent à un sédiment en cours de transport par les masses d'eau et les valeurs négatives à des sédiments en place ou qui seront difficilement remis en mouvement (Durafour, 2014).

Tableau 4.5: Les valeurs adoptées pour FH pour l'Indice Hydrodynamique.

Valeur de FH	l'hydrodynamique
$2 < FH$	Très fort
$1 < FH < 2$	Fort
$0.5 < FH < 1$	Moyen
$FH \approx 0$	Faible
$FH \approx -1$	Très faible

- ✓ **Indice de R. Passega**

Le diagramme de Passega permet de définir le mode de mise en place du sédiment, cette méthode d'interprétation utilise percentile supérieur P99 « D99 » en ordonnée et la médiane D50 en abscisse. Chaque segment du diagramme correspond à un type de transport donné, donc à un faciès donné.

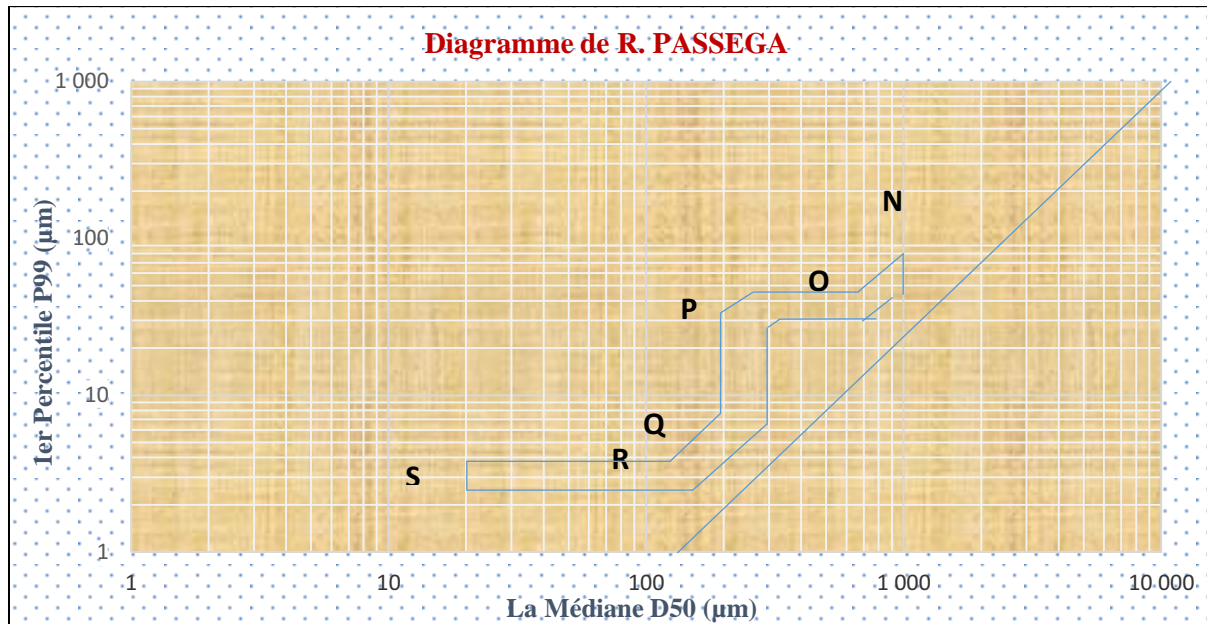


Figure 4.5 : diagramme de R.PASSEGA.

Mode de transport des sédiments :

- NO : Saltation
- OP : Saltation et Roulement
- PQ : Roulement
- QR : Suspension graduée
- RS : Suspension uniforme

D’après le diagramme de Passega, une grande partie des échantillons indiquent que les sédiments du site se situent dans le segment OP et le segment PQ évoquant un transport par saltation et roulement. Ce type de transport montre qu’il s’agit d’une zone où les sédiments sont en perpétuel mouvement (Durafour, 2014).

✓ **Indice de la déviation standard de Soulsby (σ_g) :**

La déviation standard de Soulsby notée « σ_g » (Durafour, 2014) :

$$\sigma_g = \sqrt{\frac{D_{84}}{D_{16}}} \dots\dots (5.3)$$

La valeur de « σ_g^2 » est calculée, la granulométrie est alors considérée comme :

- Uniforme si $\sigma_g^2 < 2$;
- Très étendue si $\sigma_g^2 > 16$;
- Une valeur située entre ces deux limites traduit un degré d’hétérogénéité du milieu.

4.3. Représentation graphique récentes :

Après l’acquisition, le traitement des données et le calculs des différentes paramètres de position granulométriques qui sont déjà été mentionnés précédemment à l’aide d’un petit programme de **Matlab** (seulement 15 ligne) que je l’ai fait moi-même, basé sur l’interpolation

entre deux matrices (tamis et les diamètres des tamis) et affiché les paramètres sous forme d'un tableau, puis passer sur **Excel** et calculer le reste des indices. A partir de ces résultats, on va avoir la possibilité de passer à la cartographie de la distribution spatiale des paramètres granulométriques par un logiciel qui s'appelle **Surfer** qui peut fournir des informations sur la provenance des sédiments et les conditions de dépôt.

4.3.1. Aperçu général du logiciel Surfer :

Le logiciel "Surfer 11", permet de créer des grilles qui vont interpoler les données irrégulières de nos points X, Y, Z ou une autre variante D25, D50, D75, taux de pélite, en utilisant la méthode d'interpolation naturelle voisine qui représente seulement les points échantillonnés. Afin de les ordonner. C'est à partir de ces grilles que l'on pourra créer plusieurs types de cartes : base map, contour map, 3D surface, vector et bien d'autres...

À l'aide du logiciel "Surfer 11", on a créé les couches suivantes: la bathymétrie, la répartition spatiale des pélites, la répartition spatiale de D25, D50

1. Etude sédimentologique de la plage de SIDI Fredj :

L'analyse sédimentologique réalisée au niveau de la plage Est de SIDI Fredj a permis la caractérisation texturale et le suivi de l'évolution granulométrique en fonction du forçage hydrodynamique .

1.1. L'échantillonnage au niveau des unités émergées :

Un total de 20 échantillons a été récolté avec une répartition spatiale qui couvre l'ensemble de cette unité au niveau de la zone supra littorale, et au-dessus de la zone de jet de rive.

Ce prélèvement a été effectué comme suit :

10 échantillons prélevés au niveau de la ligne du rivage

10 échantillons prélevés au milieu de la plage aérienne.

Les coordonnées géographiques de ces points de prélèvement sont prises à l'aide d'un GPS et sont représentées dans une carte géoréférencée comme nous la voyons ici :



Figure 4.6 : carte de positionnement des points de prélèvement sur la plage aérienne de SIDI Fredj.

Dans cette partie, notre travail va se focaliser seulement sur l'analyse de la fraction fine et de la médiane, pour avoir une idée générale sur la granulométrie de la plage aérienne, sachant que la dynamique et l'évolution de cette unité est influencée beaucoup plus par le facteur éolien, c'est pour on a opté de présenté que ces deux variantes.

1.2. Analyse de la fraction fine :



Figure 4.7 : carte de répartition des pélites dans la plage aérienne.

Commentaire :

La carte d'isopélites, de la partie aérienne de la plage Est de SIDI Fredj, montre une répartition spatiale des pélites trop faible d'environ de 0,2% au niveau de la zone supralittoral et qui augmente selon un degré faible vers la ligne de rivage et ne dépasse pas le 1,4%. Généralement, cette répartition spatiale des pélites est due probablement aux forces éoliens qui ont un impact major sur cette partie du littoral.

1.3. Analyse de la fraction grossière

1.3.1. D50 (médiane) :



Figure 4.8 : carte de répartition des D50 dans la plage aérienne.

Commentaire :

A partir de cette carte, il nous parait que les diamètres diminuent selon un ordre décroissant, débutant d'un un maximum au milieu de la plage $400\mu\text{m}$ et un minimum remarqué au niveau de la zone de jet de rive $125\mu\text{m}$, avec une prédominance spatiale de $140\mu\text{m}$. Cette répartition de sable fin est répartie probablement sous l'effet de jet de rive et la nappe de retrait sur la ligne de rivage, puis transporté par le vent dans différentes directions.

1.4. L'échantillonnage au niveau des unités immergées :

L'échantillonnage en mer a été effectué à l'aide de la benne preneuse de type Van Veen, englobant un total de 28 échantillons dans différentes stations cernent partiellement la zone selon quatre radiales de 0m à -6m au niveau de la zone infralittorale supérieure (zone de déferlement), ensuite chaque prélèvement va être transporté directement au laboratoire pour le prétraitement et le tamisage.

A partir de ce dernier, on peut obtenir un support statistique qui va nous permettre de l'utiliser comme une base pour tracer 28 courbes granulométriques et aussi de calculer les valeurs de plusieurs paramètres et indices et de les représentés graphiquement sous forme des cartes après un simple traitement numérique.

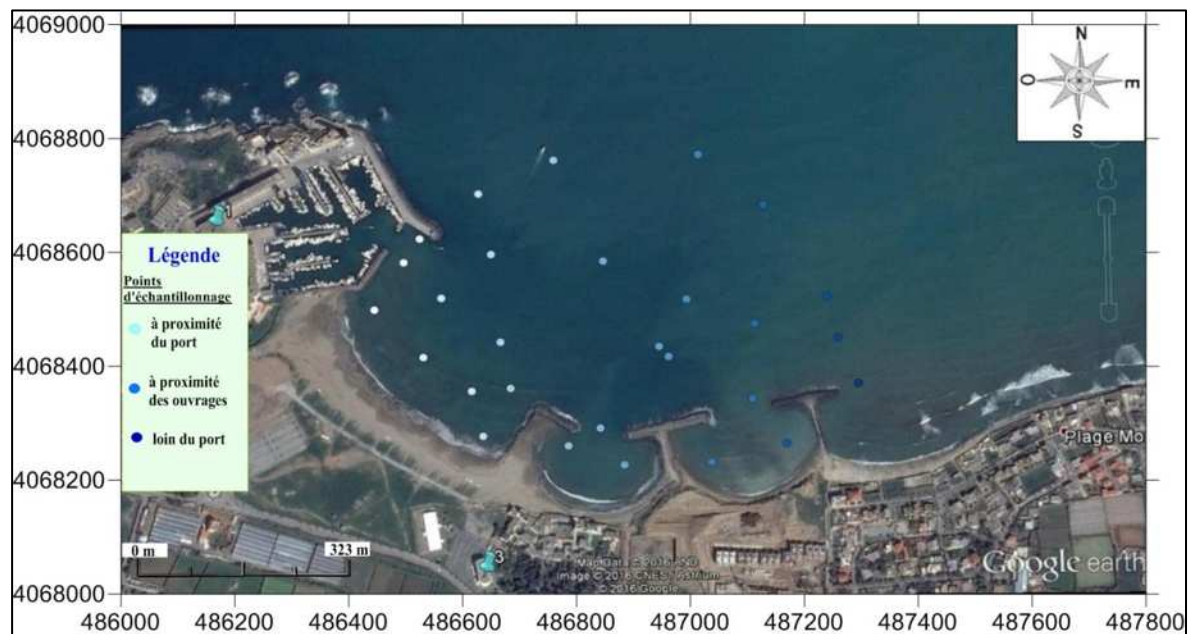


Figure 4.9 : carte de positionnement des points de prélèvement dans la plage sous-marine de SIDI Fredj.

1.5. Analyse de la fraction fine :**Commentaire :**

D'après une observation sur cette carte, on voit que la répartition de pélites est très un peu abondante dans l'ensemble de plateforme marine de la zone d'échantillonnage, dans les premiers mètres de profondeurs entre 0m et -3,5m, ils sont réparties avec des teneurs faibles varient de 0,1% à 1,5%, cette rareté peut être expliquée par le remaniement sédimentaire au niveau de la zone de surf.

Concernant l'isoteneur de 1,5% à 2%, on observe qu'il a une répartition spatiale qui entoure toute la zone près de la passe du port jusqu'à une profondeur de -6m, tandis que au centre de cette bande, on constate un stock considérable des pélites à une profondeur de -4m avec une teneur allant jusqu'à les 4,5%, et cela pourrait être due par l'action de la houle brisé au niveau de la jetée et les épis qui permet la décantation de cette fraction fine.

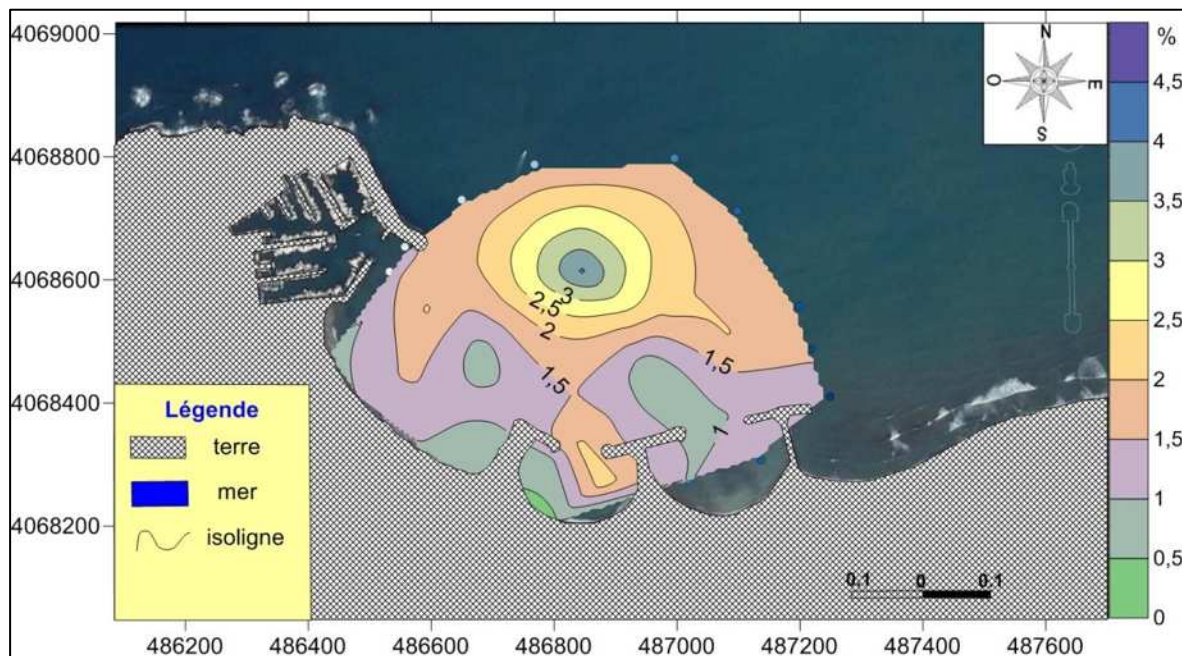


Figure 4.10 : carte de répartition des pélithes dans la plage sous-marine.

1.6. Analyse de la fraction grossière

1.6.1. Les paramètres de position (les quantiles) :

- **D10 (décile inférieur) :**

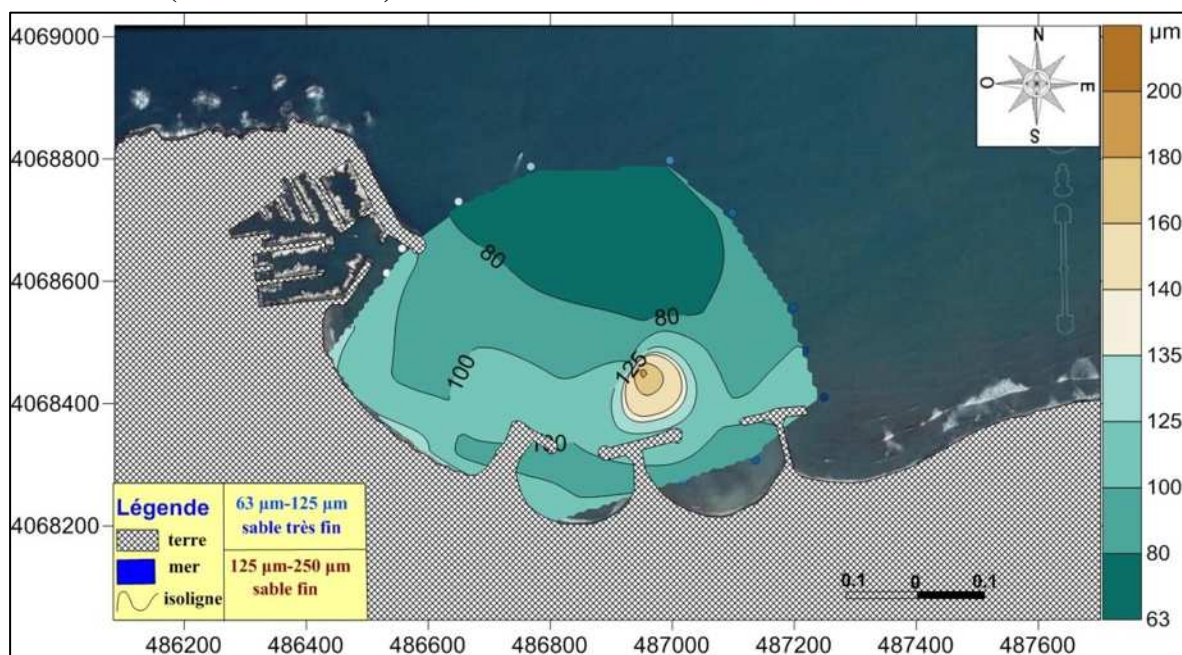


Figure 4.11 : carte de répartition de D10 dans la plage sous-marine.

Commentaire :

La répartition du décile inférieur dégage trois faciès différents. Le premier faciès apparaît dans des profondeurs de l'ordre de -4m à -6m pour des diamètres inférieurs à 80 μm , concernant le deuxième faciès qui a une forte domination spatiale local qui s'étend entre le trait de côte jusqu'à -3,8m de profondeur pour des diamètres allant jusqu'à 125 μm .

Le troisième faciès qui est proportionnellement très faible et se localise juste devant le deuxième épi pour des diamètres supérieurs à 140 μm avec une profondeur de -2m.

- **Q1 (quartile inférieur) :**

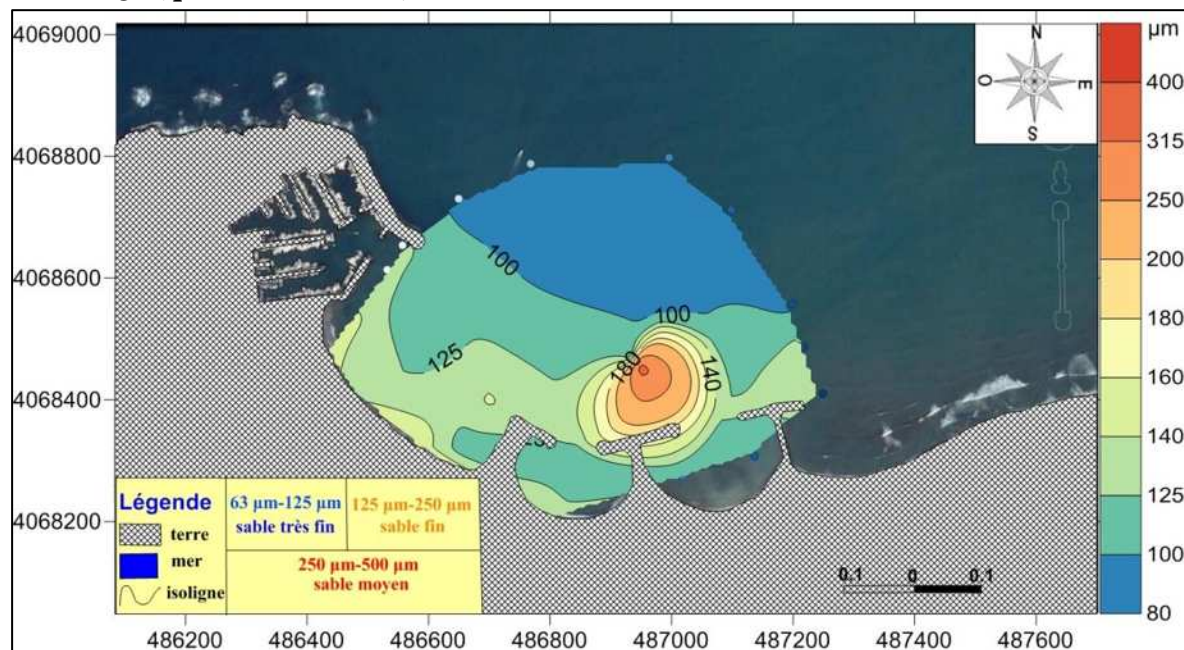


Figure 4.12 : carte de répartition de D25 dans la plage sous-marine.

Commentaire :

D'après cette figure, on observe que la distribution du quartile inférieur (Q25) est un peu semblable à celle du décile inférieur (D10). Lorsqu'on constate une forte gamme de répartition des diamètres de 100 μm et 140 μm qui s'étale du trait de côte jusqu'à une profondeur de -4m et couvre majoritairement notre zone d'échantillonnage, marquant l'existence au sein de cette surface, une faible teneur avec une petite répartition zonale pour des diamètres supérieurs à 160 μm jusqu'à 400 μm juste devant l'épi central.

- **D50 (médiane) :**

Commentaire :

Par une constatation analytique, il nous paraît que les diamètres de 125 μm à 160 μm presque couvrent la majorité de la zone avec une prédominance de 160 μm pour des profondeurs allant jusqu'à -4m, et à partir de ce dernier isobathe à -6m, on remarque l'existence d'une proportion très fine pour les diamètres inférieurs à 125 μm qui tendent à se décanter dans les profondeurs où le seuil de mise en mouvement de ces derniers est inférieur pour les transporter vers la côte. Ce stock pourrait être expliqué par l'effet des courants de retour qui portent ce sable qui est très fin et les disposent dans limites

relativement calmes, tandis que le sable moyen et la fraction grossière se concentrent à une profondeur d'environ de -2m devant l'épi central pour des diamètres entre 250 µm à 500 µm pour le sable moyen, et supérieur à 500 µm jusqu'à 630 µm pour le sable grossier et cela probablement due à l'action frontale de la houle qui se rencontre l'épi 2, et forme des clapots (amplification de la houle) au niveau de l'ouvrage, ces clapots cumulent beaucoup d'énergie hydrodynamique, cette énergie tend à se déplacer vers les zones faibles en énergie au pied de l'ouvrage qui mène à lors le phénomène de réflexion à éroder la partie inférieur de l'ouvrage qui est généralement un sable grossier et le transporte devant l'épi vers des zones énergétiquement faibles.

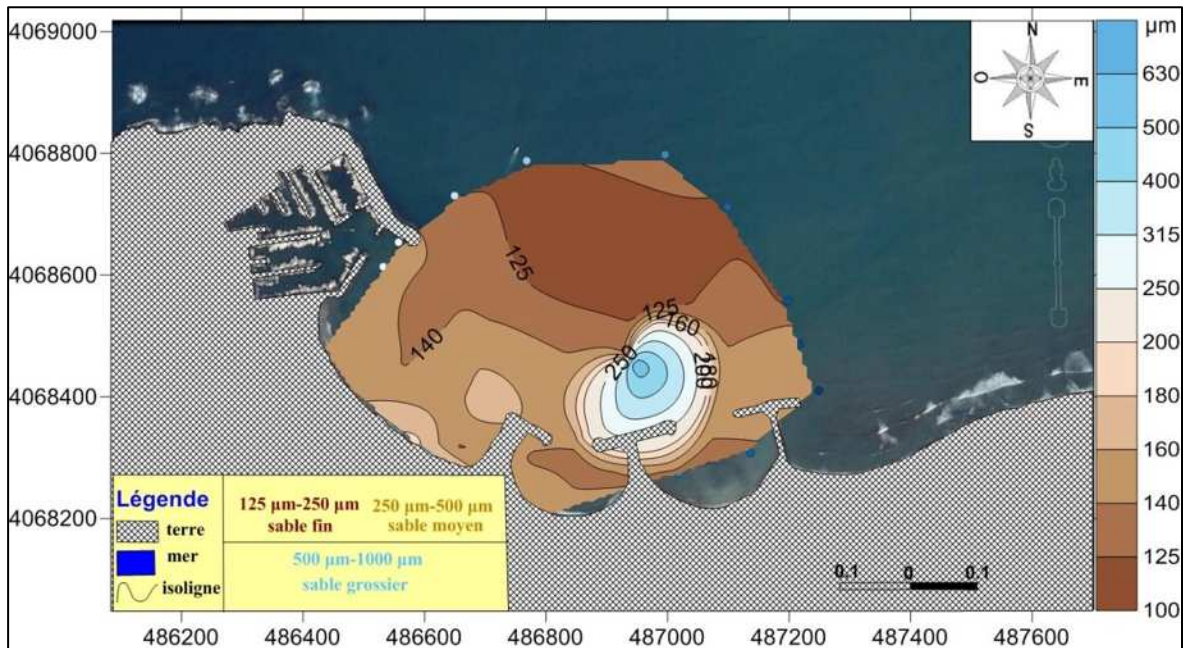


Figure 4.13 : carte de répartition de D50 dans la plage sous-marine.

• Q3 (quartile supérieur) :

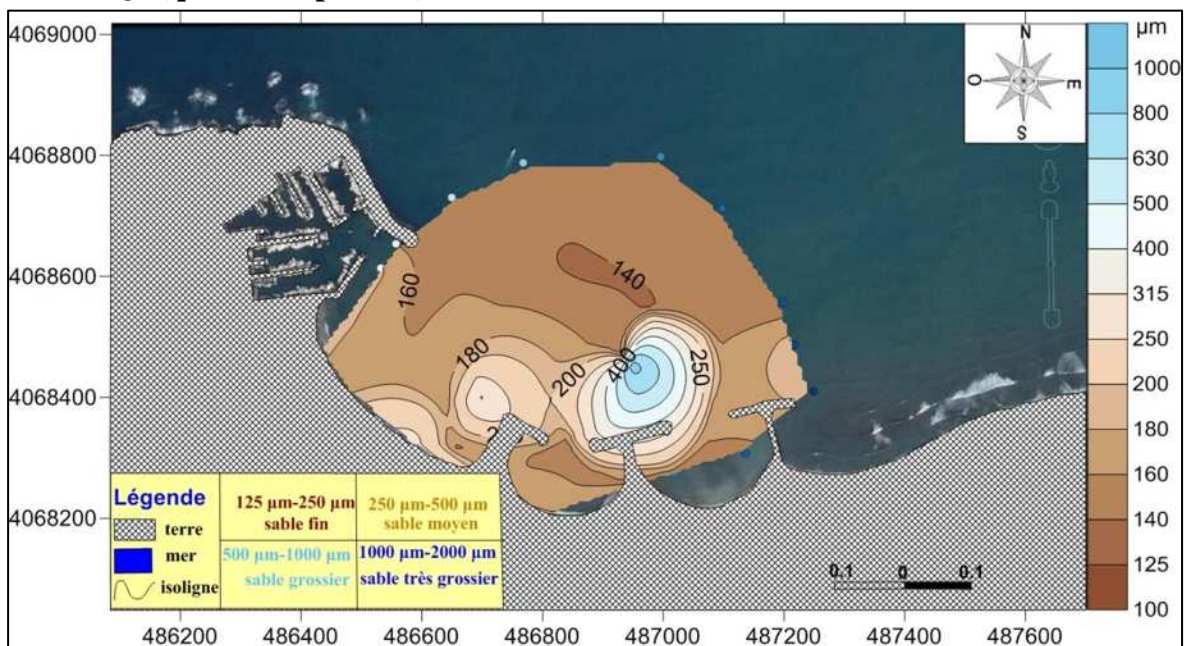


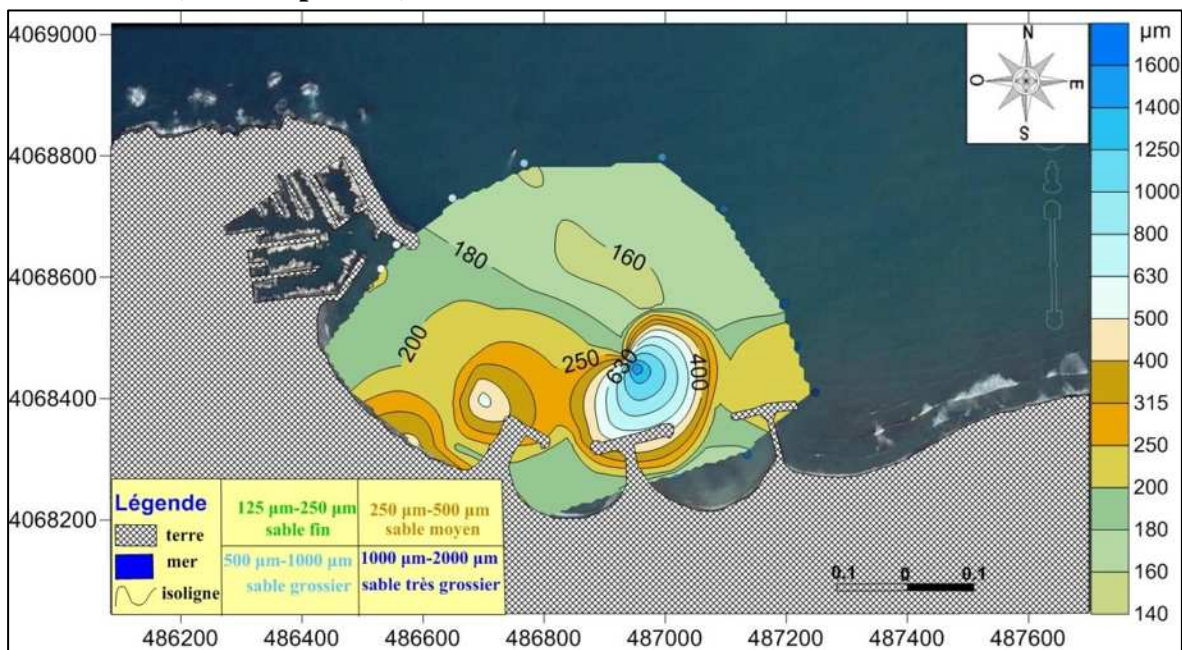
Figure 4.14 : carte de répartition de D75 dans la plage sous-marine.

Commentaire :

La distribution des diamètres dégage trois faciès distingués : le premier qui le plus fortement dominant, majoritairement répartie dans toute la zone de prélèvement pour des diamètres entre 140 μm et 180 μm , le second faciès correspond les diamètres entre 200 μm à 315, qui s'occupe la zone pré du rivage à proximité de l'épi en forme L et se tend vers la partie centrale devant les deux premiers épis jusqu'à une profondeur de -2,5m.

Pour le dernier faciès entre 400 μm et 1000 μm , qui se localise devant le deuxième épi à une profondeur de -3m, ce stock de sable grossier pourrait être expliqué comme il a été déjà mentionné précédemment pour le **D50**, par l'effet des clapots formés au niveau du deuxième épi, et qui sont responsable à transporter cette fraction par les courants de retour vers des zones énergétiquement faibles

• **D90 (décile supérieur) :**



Commentaire :

La distribution du décile supérieur a presque le même aspect que la distribution du quartile supérieur, mais avec plus de variété remarquable, et on peut distinguer trois faciès comme suit : le premier entre 160 μm et 200 μm qui a une répartition spatiale dominante et entoure presque toute la zone de prélèvement dans des zones qui sont un peu agitées entre les ouvrages et vers le large, où ce sable fin peut se décanter, le second entre 250 μm et 500 μm qui est un sable moyen et se localise pré de la plage et s'étend horizontalement jusqu'à le troisième épi pour une profondeur de -3m, pour le dernier faciès qui présente des diamètres supérieurs à 500 μm allant jusqu'à 1600 μm , qui est granulométriquement un sable grossier et se concentre devant le deuxième épi pour une profondeur de -3m, sous l'effet des courants reflétés par le deuxième épi.

1.6.2. Les courbes granulométriques :

➤ Aspect général des courbes cumulatives :

Dans l'ensemble, les courbes sont généralement redressées, preuve de l'homogénéité du sédiment de la plage de SIDI Fredj.

• Courbes unimodales :

Indique la présence d'un seul stock sédimentaire, représenté par un seul mode granulométrique.

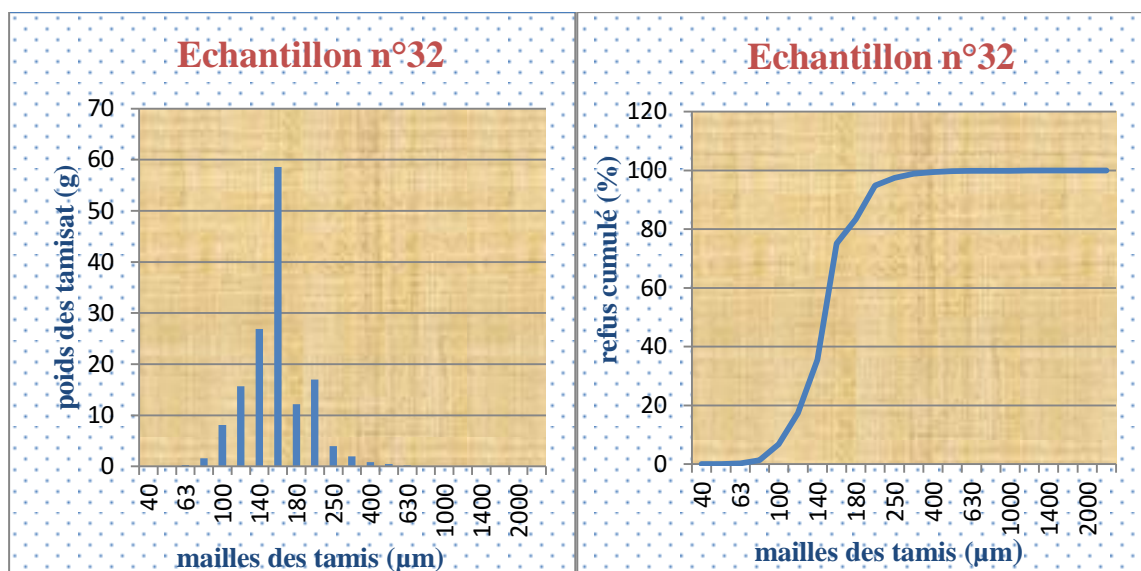


Figure 4.16 : L'histogramme et la courbe unimodale (échantillon 32).

• Courbes bimodales :

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

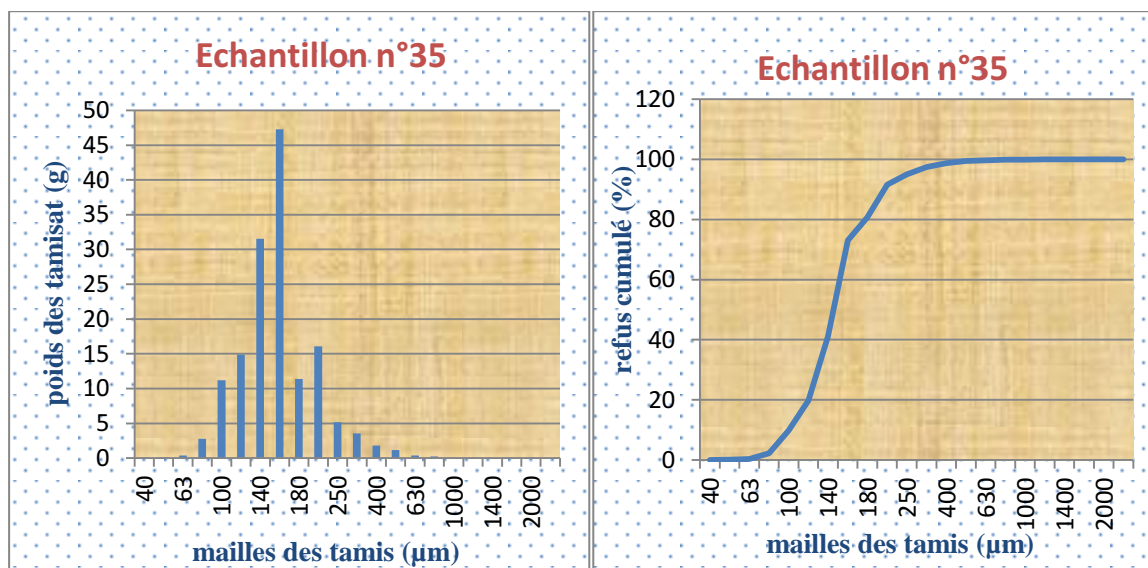


Figure 4.17 : L'histogramme et la courbe bimodale (échantillon 35).

- **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. Ces courbes sont marquées par la présence de plusieurs modes granulométriques.

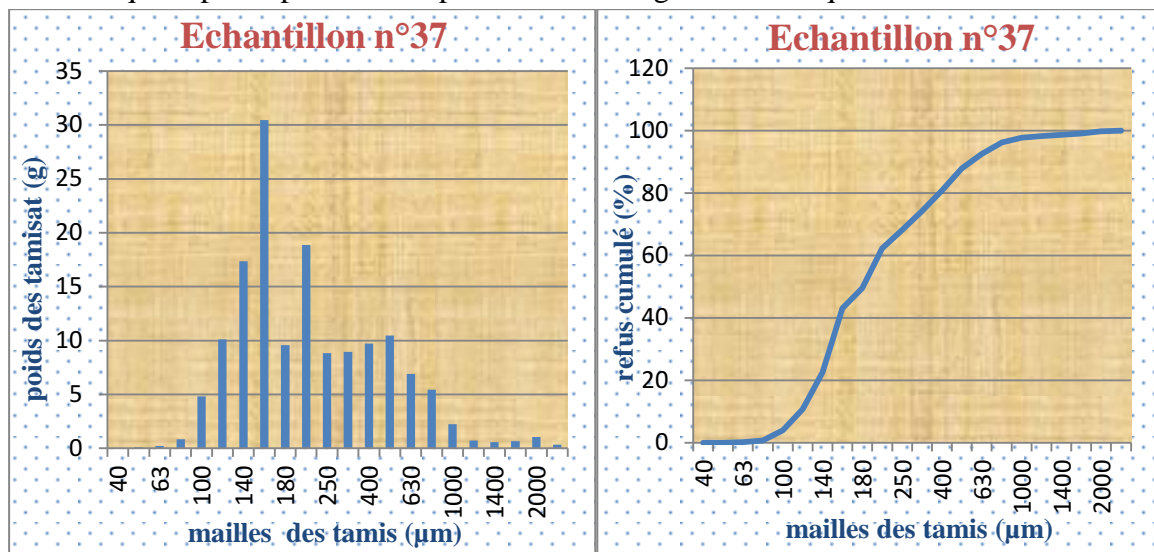


Figure 4.18 : L'histogramme et la courbe plurimodale (échantillon 37).

1.6.3. Représentation graphique des indices granulométriques :

Pour une meilleur compréhension des résultats des deux tableaux, on va les projeter sur notre zone d'étude et de les représenter sous forme des cartes à l'aide d'un logiciel de géostatistiques 2D (Surfer 11).

- **Diamètre moyen Mz :**

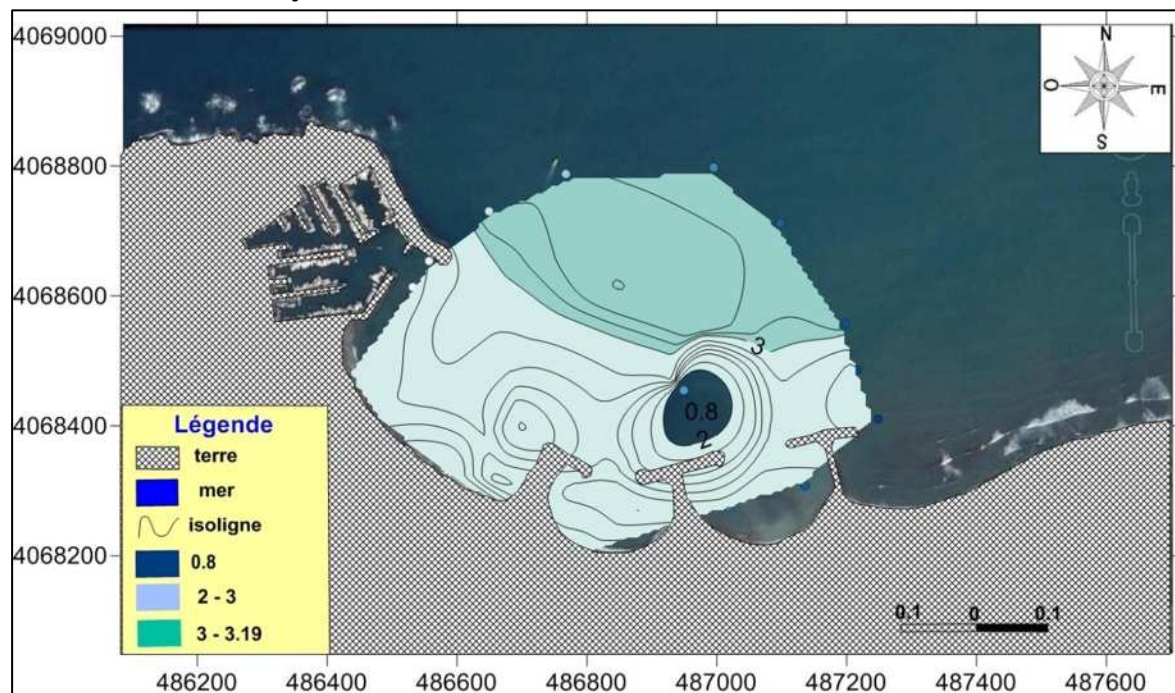


Figure 4.19 : carte de répartition de Mz dans la plage sous-marine.

Commentaire :

Cette carte montre des isolignes qui représentent les différentes valeurs de Mz de chaque point de prélèvement, d'après une simple observation, on voit qu'il y a trois groupes distincts de taille moyenne qui se répartissent différemment dans la zone avec une prédominance spatiale remarquable de sable très fin (2 -3) qui s'étend de la ligne de rivage jusqu'à une profondeur de -4m, et lorsque on s'éloigne vers la zone de brisant vers une profondeur de -6m, on note l'existence de la vase avec une répartition spatiale considérable, tandis que devant le deuxième épi, on constate une petite distribution du sable moyen (0,8).

- **Indice de classement :**

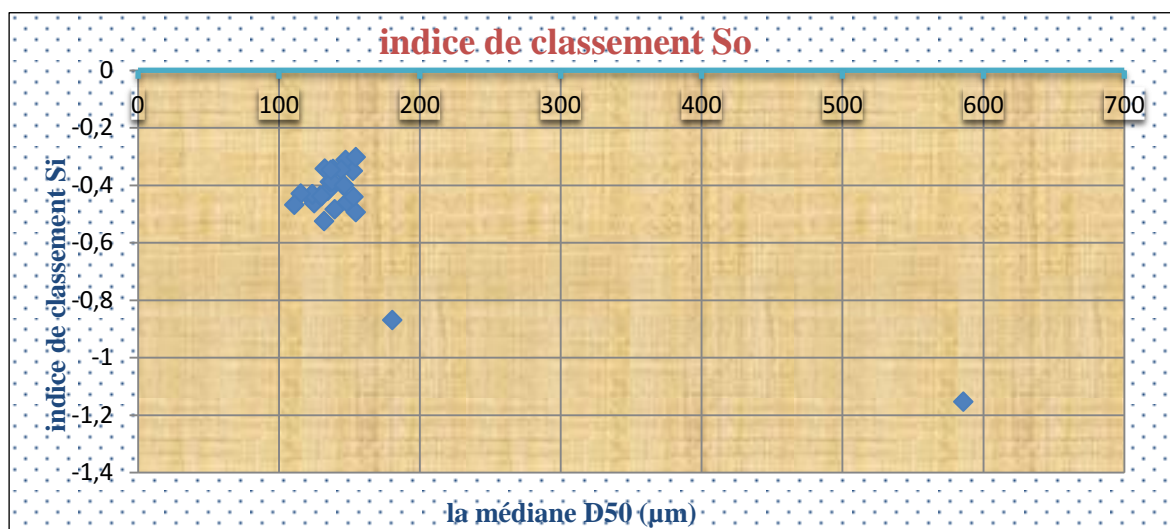


Figure 4.20 : Relation entre l'indice de classement et la médiane D50.

Commentaire :

Cette figure permet de constater que tous des échantillons de notre zone d'étude ont un $Si < 0,35$, et cela signifie que le sédiment est très bien trié.

- **Indice d'asymétrie :**

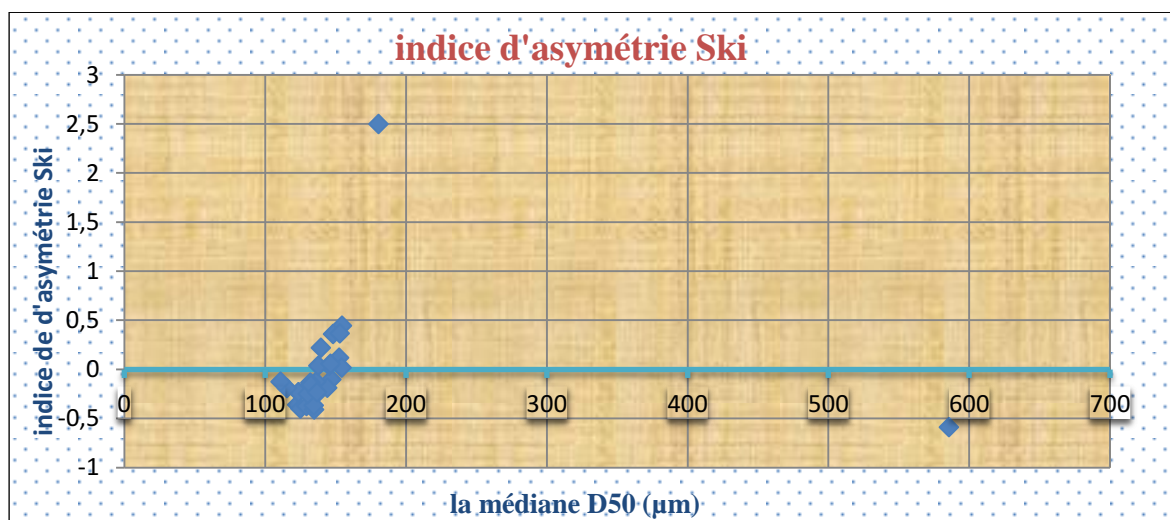


Figure 4.21 : Relation entre l'indice d'asymétrie et la médiane D50.

Commentaire :

Les valeurs de l'indice d'asymétrie des échantillons prélevés présentent une variété importante selon 5 classes :

La première classe a une valeur de S_{ki} qui varie entre -1 et -0,3 et cela traduit une asymétrie très négative pour les échantillons 1, 2, 3, 7, 10 et 23.

La deuxième classe varie sur un intervalle de $-0,3 < S_{ki} < -0,1$, donc on peut dire qu'elle a une asymétrie négative pour un ensemble des échantillons (4, 5, 8, 9, 12, 16, 18, 19, 20, 21, 27 et 28). La troisième classe comprend des valeurs de S_{ki} entre -0,1 et 0,1 avec des échantillons plus au moins asymétriques qui sont : 13, 15, 24 et 25.

Pour $0,1 < S_{ki} < 0,3$, cette classe est asymétriquement positive pour seulement deux échantillons le 11 et le 14.

La dernière classe a une asymétrie très positive pour des valeurs de S_{ki} supérieur à 0,3, concernant le reste des échantillons (6, 17, 22 et 26).

- **Indice de Soulsby :**

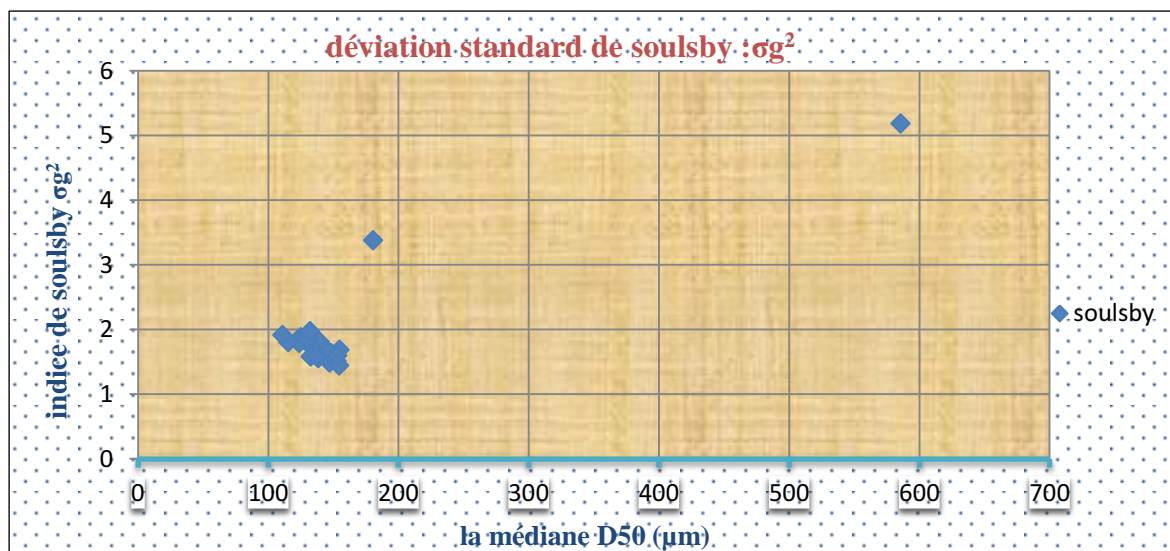


Figure 4.22 : diagramme de la déviation standard de Soulsby.

Commentaire :

On observe que la majorité des échantillons a une déviation de Soulsby $\sigma^2 < 2$, dans ce cas on peut dire que la granulométrie est uniforme, sauf deux points qui ne sont pas représentatives, concernant l'échantillon 17 et 23 qui présentent des valeurs situées entre ces limites $2 < \sigma^2 < 16$ et traduisent un degré faible d'hétérogénéité du milieu.

- **Facteur hydrodynamique (FH) :**

Commentaire :

D'après cette figure, on observe que des valeurs positives de FH qui correspondent à un sédiment en cours de transport par les masses d'eau avec une prédominance remarquable du niveau 0,5 à 1, qui signifie globalement que cette zone a un régime hydrodynamique moyen, notant aussi l'existence d'un régime faible au pied de la jetée du port et entre les épis pour un degré inférieur à 0,5. Tandis devant les deux premiers épis, on constate un

hydrodynamisme un peu plus fort de 1 à 2 avec un maximum allant jusqu'à 2,7 qui traduit un régime très fort, et cela pourrait être due aux interactions entre les vagues incidentes et réflectances qui peut créer une turbulence considérable.

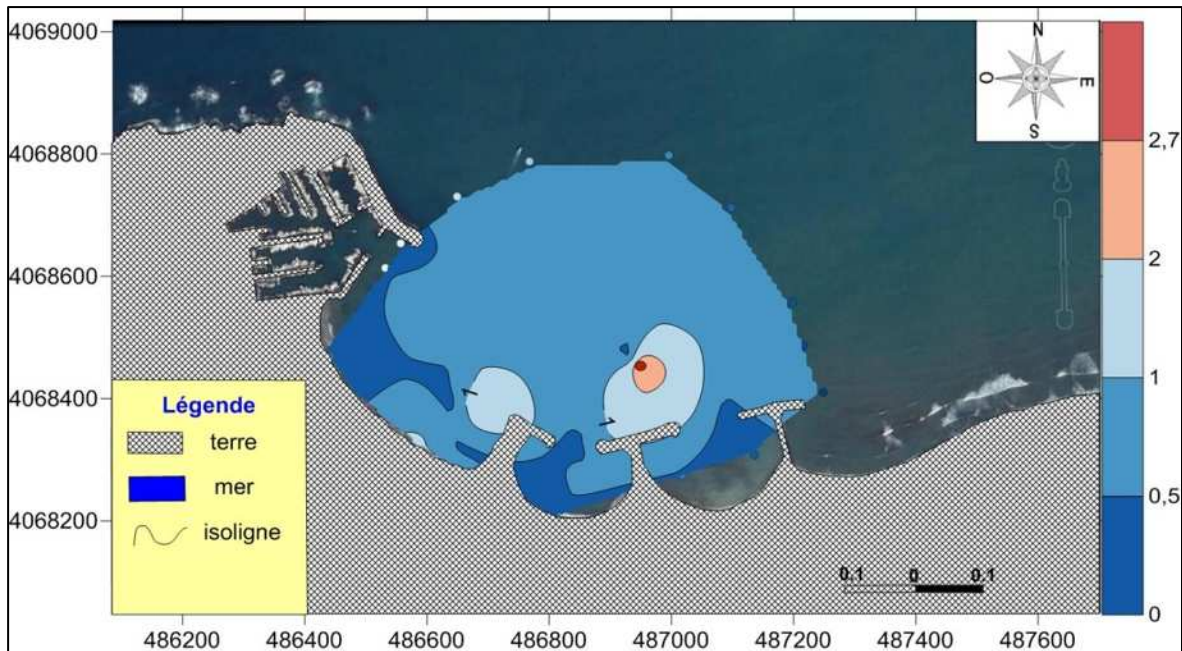


Figure 4.23 : carte de distribution du facteur hydrodynamique.

- **Indice de Passega :**

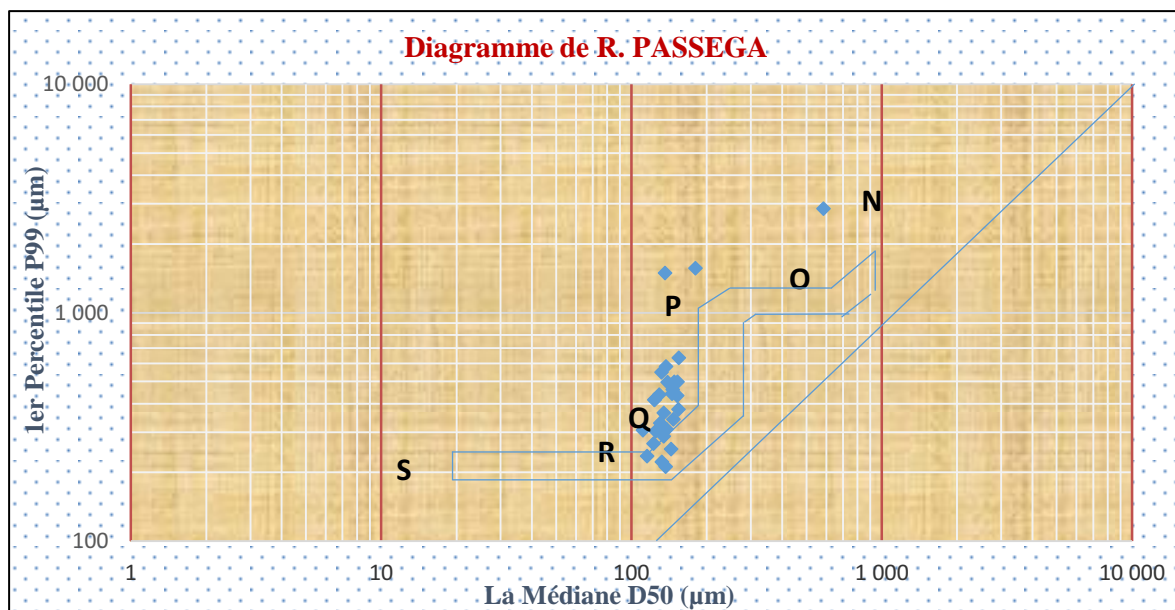


Figure 4.24 : diagramme de R.PASSEGA.

Commentaire :

D'après les résultats de ce diagramme qui est en relation avec le régime hydrodynamique FH, on remarque qu'une grande partie des échantillons indiquent que les sédiments du site se situent à proximité du segment PQ et QR évoquant un transport par roulement et

Suspension graduée. Ce type de transport montre qu'il s'agit d'une zone où les sédiments sont en perpétuel mouvement.

1.7. Analyse modale :

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

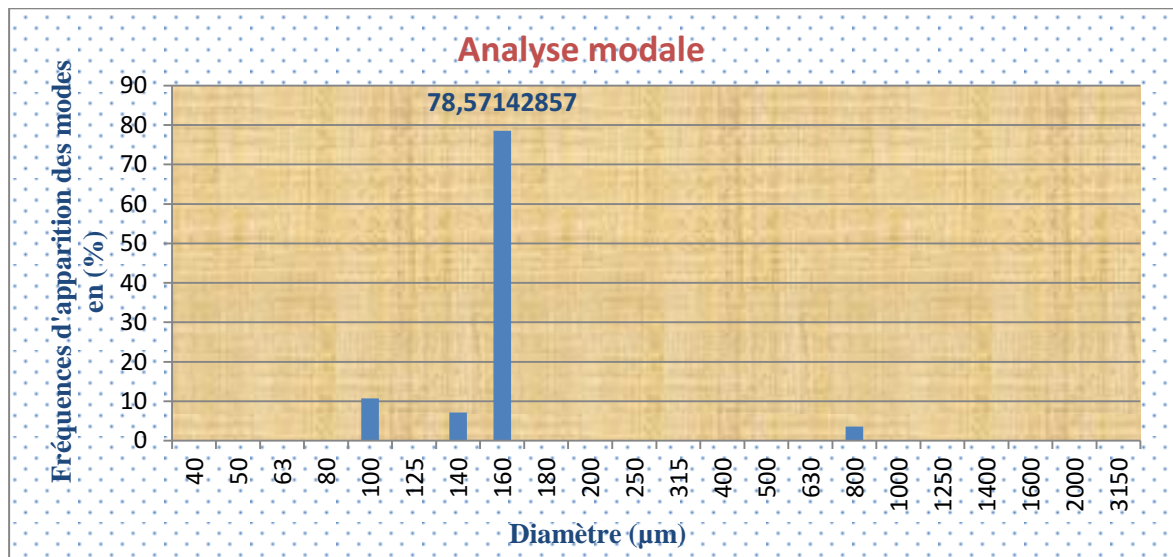
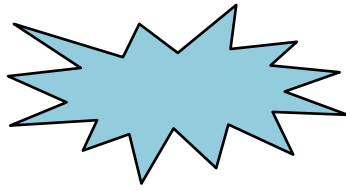


Figure 4.25 : Histogramme d'apparition des modes les plus représentatifs des échantillons.

Commentaire :

Cet histogramme illustre les fréquences de répartition des modes, on observe que la couverture sédimentaire de la zone est caractérisée par la présence d'un seul faciès granulométrique et il nous paraît que le mode est de 160 µm cela correspond à du sable fin. Le mode 160 µm est le plus largement représenté dans la zone d'étude, il se répartie presque dans toute la zone d'étude avec une fréquence touchant 78,6%.



*Evolution du
trait de côte*

1. Introduction :

Plusieurs travaux ont été faits qui portent sur la définition d'un concept apparemment simple comme le trait de côte, censé représenter la frontière linéaire entre les domaines maritimes et terrestres, est problématique et sujette à controverses en raison de la grande diversité des critères d'identification concernant d'environ les 45 indicateurs qui mettent ses places dans le domaine littoral.

Cette diversité d'indicateurs induit la recherche et la mise au point de nombreuses méthodes pour détecter, extraire et suivre la mobilité du trait de côte. Ces approches méthodologiques reposent sur la compilation et la comparaison des données acquises, soit sur le terrain par des instruments de topométrie (théodolite), soit en laboratoire par un traitement numérique d'images satellitales (**Faye, 2010**).

2. Difficultés de représentation :

Compte tenu de sa nature géométrique, le trait de côte est généralement cartographié en mode d'implantation linéaire. Par conséquent, les positions successives d'un trait de côte à différentes dates sont traduites cartographiquement par le tracé d'une série de lignes géoréférencées pouvant, selon la situation, se confondre ou se croiser. Sur des secteurs littoraux évoluant à faible vitesse ou pour des suivis à haute fréquence temporelle, cette représentation n'est pas t'ut à fait satisfaisante même utilisée à grande échelle. Il est, en effet, souvent difficile de respecter la règle de sélectivité ou de séparation visuelle, si les écarts provoqués par progradation ou érosion du littoral sont trop faibles (figure1), donc il est difficile de différencier les traits de côte aux quatre dates et le résultat est décevant en raison de l'inadéquation entre l'échelle de représentation (trop petite) et l'évolution, parfois peu marquée, du trait de côte .Nous verrons, que l'association de la variable couleur au variable valeur permet d'améliorer le poids visuel de chaque trait de côte.

Cette difficulté de représenter les déplacements mineurs d'un trait de côte à des échelles de représentation trop petites nous a imposé de compléter le modèle de représentation cartographique classique par un modèle de représentation graphique afin de conserver l'intégrité de l'information sur la cinématique (**Faye, 2010**).

Cette proposition a pour objectifs :

- De localiser l'évolution du trait de côte à l'aide d'un SIG nommé « ArcGis 10.2 » (**volet cartographique**).
- De mesurer et de représenter cette évolution par l'exploitation statistique des variations de la position des traits de côte par une extension de ce logiciel « ArcGis 10.2 » qui s'appelle « DSAS 4.3 » (**volet graphique et statistique**).

2.1. Aperçu du logiciel ArcGis 10.2 :

ArcGis est l'un des logiciels SIG les plus utilisés. Ce logiciel offre de nombreuses potentialités pour la manipulation, la gestion, l'analyse et l'édition des données spatiales. Différentes couches d'informations spatiales peuvent être manipulées offrant la possibilité d'analyser une ou plusieurs couches sous le contrôle des autres. Le seul lien entre ces

différentes couches est le lien spatial, c'est-à-dire, l'appartenance au même espace géographique et ayant le même système de coordonnées (Asbai, 2013). Le logiciel ArcGIS 10.2 comprend trois applications principales : ArcCatalog, ArcMap, et ArcToolbox.

2.1.1. ArcCatalog : est un explorateur de données tabulaires et cartographiques offrant des outils de gestion et d'organisation analogues à ceux offerts par les systèmes d'exploitation comme WINDOWS ou DOS (copier, renommer, effacer, créer des icônes, etc.). Il permet aussi de visualiser les données tabulaires et des couches géographiques ainsi qu'une leur exploration.

2.1.2. ArcMap : est l'application fondamentale du logiciel ArcGIS. Elle contient une boîte à outils, organisés sous forme de modules indépendants (extensions), permettant de gérer, manipuler, analyser et éditer les différentes couches d'informations de la base de données.

2.1.3. ArcToolbox : est une boîte à outils permettant d'effectuer des conversions et de transferts de format et aussi de projection (Asbai, 2013).

2.2 Aperçu de l'extension DSAS :

Le système d'analyse Shoreline Digital (DSAS) est une application logicielle disponible gratuitement qui travaille dans le (ESRI) Système d'information géographique (ArcGIS) logiciel Environmental Systems Research Institute. DSAS calcule les statistiques de taux de changement pour une série chronologique des données vectorielles du littoral. (Himmelstoss et al, 2016).

2.2.1 Barre d'outils de DSAS :

- **Définir / Modifier les paramètres :** spécifiés les noms de fichiers pour les entrées de référence et de rivage et d'autres paramètres, tels que l'espacement des profils.
- **transects Cast :** génère une nouvelle (ou écrase un existant) classe d'entités des profils en fonction des paramètres par défaut spécifiés par l'utilisateur.
- **Le menu déroulant :** répertorie tous les fichiers de transect reconnus ajoutés au projet ArcMap actif.
- **Calculer les statistiques :** lance une boîte de dialogue peuplée avec une liste sélectionnable des statistiques de changement de taux à calculer.
- **Clip transects à SCE :** lance une boîte de dialogue offrant aux utilisateurs la possibilité de générer une copie du fichier de profils spécifié qui est accroché à l'enveloppe de changement de rivage (SCE) ou la distance maximale entre tous les rivages.
- **Lance la fonction d'aide DSAS.**
- **A propos de DSAS :** fournit des informations sur le logiciel, y compris le numéro de version (USGS, 2016).



Figure 5.1 : Barre d’outils de DSAS.

3. Les variations de la ligne de côte de Sidi-Fredj entre 2002 et 2016 :

Dans notre cas le traitement numérique de l’évolution du trait de côte a été abordé en passant par deux volets :

3.1. Volet cartographique :

- En géoréférençant un ensemble d’imageries satellitales de 2002 à 2016 de notre zone d’étude SIDI Fredj extraits à partir de Google earth suffisamment documentés (échelle, projection, source) puis par la digitalisation des différents trait de côte (figure 5.1), et la création d’une zone tampon pour pouvoir tracer une ligne de base qui est entièrement parallèle au changement moyenne des différents rivages. Ces opérations ont été faites par un logiciel SIG « ArcGis 10.2 ».

3.2. Volet graphique et statistique :

- la mise en place d’une série de profils (85profil) perpendiculaires sur la base de la ligne de référence et les différents traits de côte qui ont apparemment une variabilité faible. Ces segments cernent la globalité de la zone d’étude avec une longueur de 150 m et un espacement de 20 m (figure 5.2), ensuite à l’aide de l’extension DSAS du logiciel « ArcGis 10.2 » qui va nous permettre d’avoir une analyse détaillée sur la variation de la ligne de rivage à partir d’un support statistique contient les indicateurs suivants : NSM, EPR, LPR qui les affichent après une exécution sur le DSAS qui est spécialisé pour l’étude de l’évolution de la ligne de rivage.



Figure 5.2: Evolution du trait de côte selon différentes périodes 2002, 2008, 2012, et 2016.

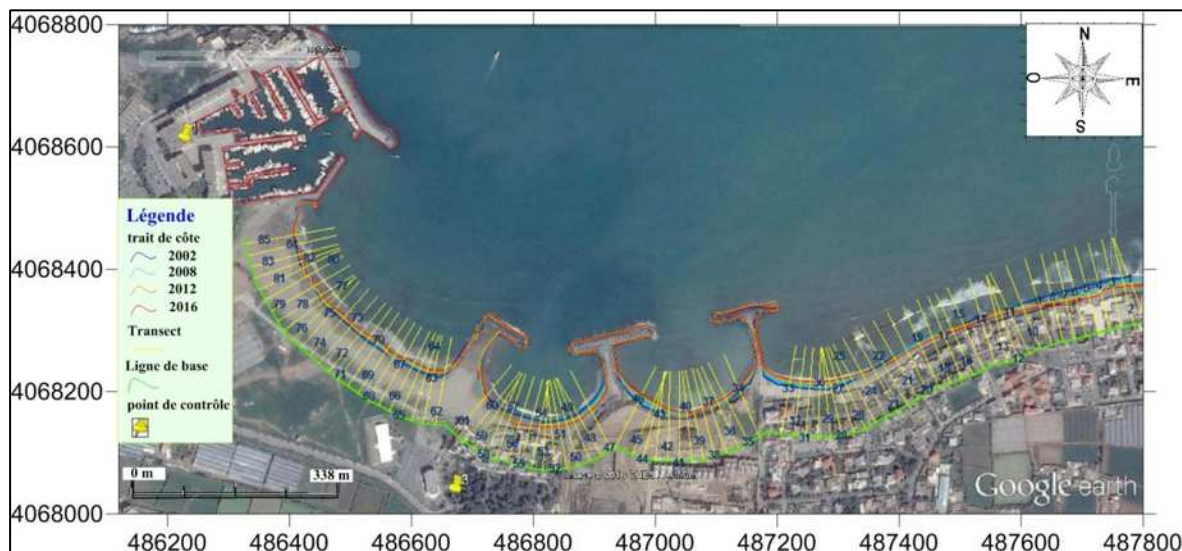


Figure 5.3: Evolution du trait de côte selon différentes périodes et profils.

3.3. Les indicateurs, concept :

3.3.1. Mouvement net des rivages (NSM) :

Le mouvement du littoral net signale une distance, pas un taux. Le NSM est associé aux dates de seulement deux rives. Il rend compte de la distance totale entre les rivages les plus anciens et les plus jeunes pour chaque profil (**Faye, 2012**).

3.3.2. Le taux de point final (EPR):

Il est calculé en divisant la distance de déplacement du littoral par le temps écoulé entre la plus ancienne et la rive la plus récente. Les principaux avantages de l'EPR sont la facilité de calcul et exigence minimale de seulement deux dates du littoral (**Faye, 2012**).

3.3.3. Le taux de régression linéaire du changement (LRR):

Il correspond à la valeur de la pente d'une droite de régression linéaire positionnée dans le nuage de points formé par les mesures de distance entre tous les points d'intersection de chaque transect et des traits de côte comparés. Il traduit également le taux d'évolution annuelle de la ligne de référence le long de chaque transect, est intéressant si l'on analyse la cinématique littorale pour plus de deux dates, car la méthode de calcul tient compte de la tendance évolutive du trait de côte sur toute la période considérée (**Faye, 2012**).

3.4. Résultat du volet statistique :

Les mesures effectuées au niveau de chaque profil concernant les 3 indicateurs précédemment mentionnées selon les différents périodes sont représentées dans un tableau (voir annexes).

3.5. Résultat du volet graphique

3.5.1. Scénario tendancier évolutif :

Donc pour bien comprendre la dynamique de ces différents rivages selon l'échelle spatiale, on a projeté le support statistique de l'indicateur EPR et LPR, pour élaborer des cartes représentatives de cette tendance selon les périodes suivantes :

3.5.1.1. L'End Point Rate :

- Période de 2002 à 2008 :

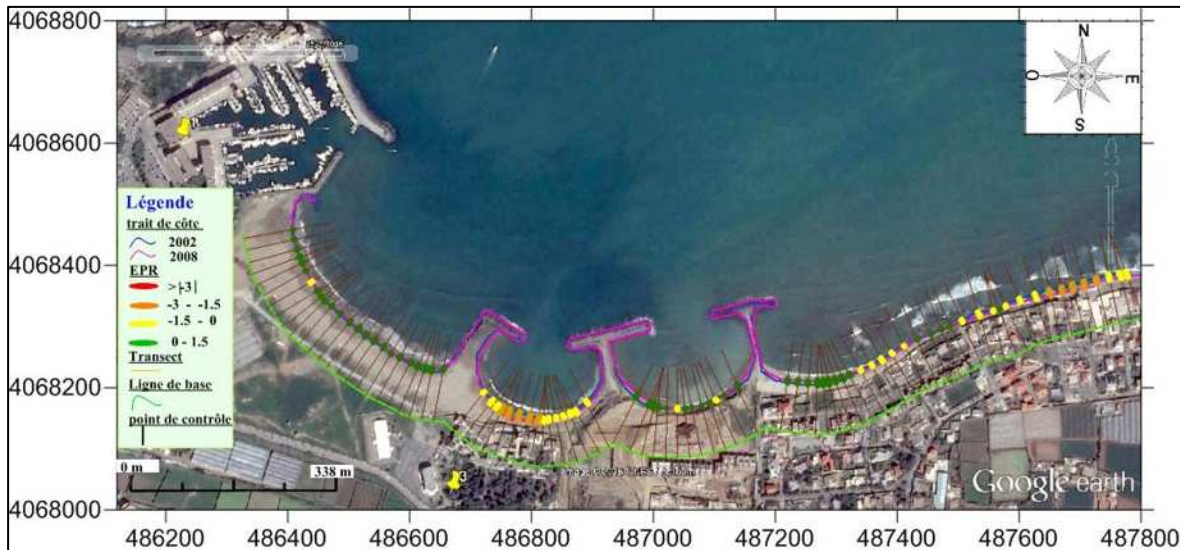


Figure 5.4: illustration du rythme d'évolution du trait de côte en m/an entre 2002 et 2008.

Commentaire :

D'après les données du tableau 5.1 et de cette figure 5.4, on remarque qu'on a assisté à un recul significatif dans la partie EST et la partie centrale pour les profils qui sont colorés en jaune de l'ordre de -0.1m/an jusqu'à -1.5m/an avec un intervalle de maximum, plus précisément pour les profils en orange d'environ de -1.5m/an jusqu'à -3m/an , tandis que au niveau de la petite plage protégée qui est en vert et aussi pour les profils au voisinage du tombolo de la partie EST, on peut constater une légère avancée de la ligne de rivage avec un taux de 0 à $+1.5\text{ m/an}$.

- Période de 2008 à 2012 :

Commentaire :

Pour cette période, on peut dire que le recul a gardé son rythme dans la partie EST avec des transects colorés en jaune, plus précisément pour les profils de 1 à 21 de l'ordre de -0.1m/an jusqu'à -1.5m/an , mais à un degré moindre sans valeur d'EPR maximale, en ce qui concerne les deux tombolos et la partie Ouest une progradation remarquable généralisée avec un ordre de grandeur de 0 à $+1.5\text{ m/an}$, sauf quelques profils qui s'apparaissent en jaune (de P47 à P52, P65, P70, P77, P80 et P81) connaître un recul faible.

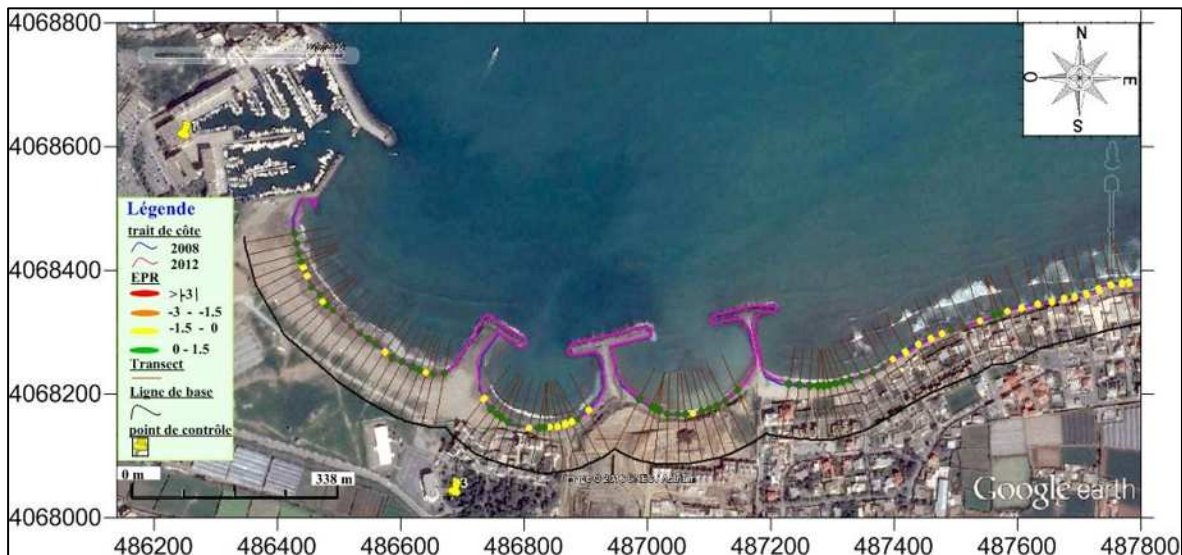


Figure 5.5: illustration du rythme d'évolution du trait de côte en m/an entre 2008 et 2012.

• Période de 2012 à 2016 :

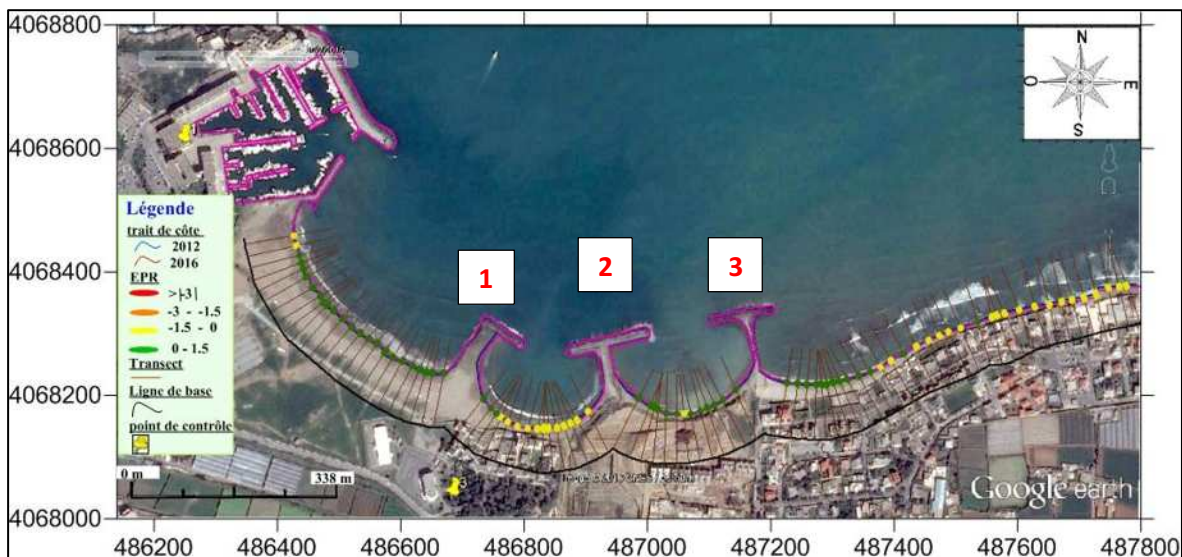


Figure 5.6: illustration du rythme d'évolution du trait de côte en m/an entre 2012 et 2016.

Commentaire :

Lors de cette période, l'évolution des profils peuvent correspondre celle concernant la période entre 2008 et 2012, pour les zones en jaune de la partie EST et entre les épis 1 et 2 qui est majoritairement érodée par rapport la période précédente avec un taux de -0.1m/an à -1.5m/an et aussi pour les zones en vert avec un ordre de grandeur de 0 à $+1.5\text{ m/an}$.

- Un bilan de l'EPR pour la période de 2002 à 2016 :

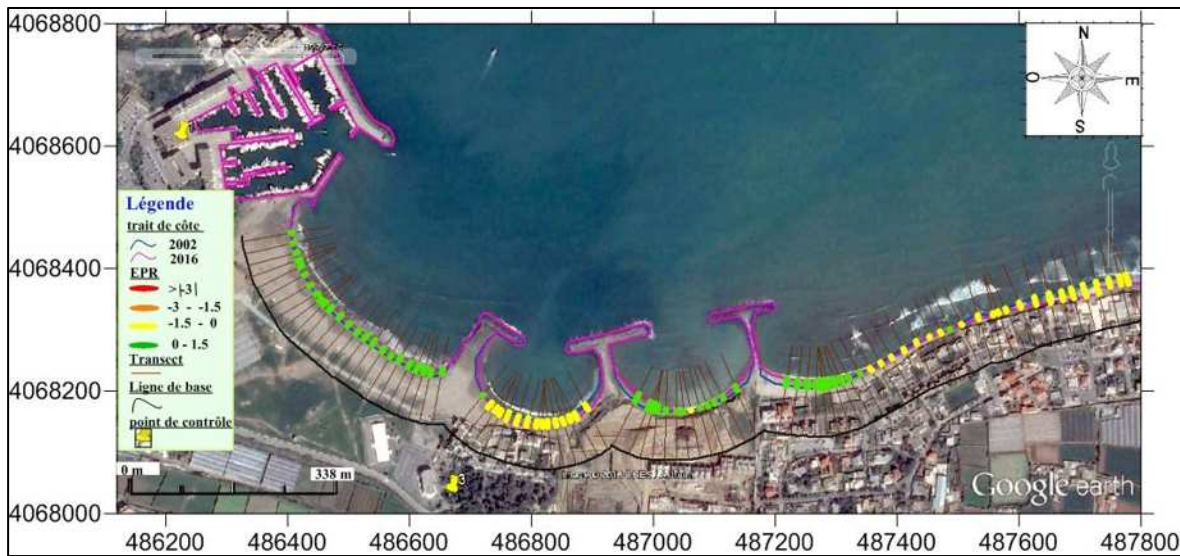


Figure 5.7: illustration du rythme d'évolution du trait de côte en m/an entre 2002 et 2016.

Commentaire :

Cette figure 5.7 permet de nous renseigner sur les variations qu'a subit notre zone d'étude au cours de ces 14 dernières années et cela au niveau de son trait de côte.

Le trait de côte entre 2002 et 2016 a subi 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).

Pour les deux zones en vert de la partie EST (P23 à P46), on remarque une accumulation en amont et en aval entre les épis 2 et 3 et aussi pour la petite plage qui est relativement protégée par la jetée du port et les 3 épis avec un taux qui varie entre 0 et +1.5 m/an, mais concernant la partie centrale qui se situe entre les épis 1 et 2, en addition de la partie extrême de l'EST

(P22 à P1) subissent une érosion allant de -0.1m/an à -1.5m/an et cela pourrait être due à l'action frontale de la houle sur la plage de l'hôtel el Riad.

3.5.1.2. Le Linear Regression Rate-of-change:

Commentaire :

D'après ce résultat, on constate exceptionnellement dans l'extrémité EST de notre zone (P1 à P8) qui est colorée en orange une régression linéaire remarquable du trait de côte matérialisée par une valeur de -1.5m/an allant jusqu'à -3m/an, tout en se rapprochant vers le centre (épis3) jusqu'à le profil 24, cette régression diminue au fur et à mesure passant par valeurs de -0.1m/an à -1.5m/an représentées par les zones jaunes jusqu'à l'arrivée au niveau de progradation dans la zone où sa dynamique sédimentaire est bloquée par l'épis3 qui a créé un gain de surface vers la mer et aussi pour la zone située entre l'épis2 et 3 et la petite plage protégée, autrement dit, des valeurs positives de l'ordre de 0 à +1.5 m/an. Tandis qu'entre ces zones d'accumulation, on remarque une régression moyenne entre l'épis2 et 3 avec un ordre de grandeur entre 0.1m/an et -1.5m/an représenté par le jaune.



Figure 5.8: représentation de LPR selon chaque profil entre 2002, 2008, 2012, 2016.

4. Analyse du bilan sédimentaire

4.1. Analyse du bilan sédimentaire de Sidi-Fredj entre 2002 et 2016 :

L'analyse du bilan sédimentaire va nous permettre de quantifier les surfaces gagnées et les surfaces perdues et cela entre deux périodes 2002 et 2016.

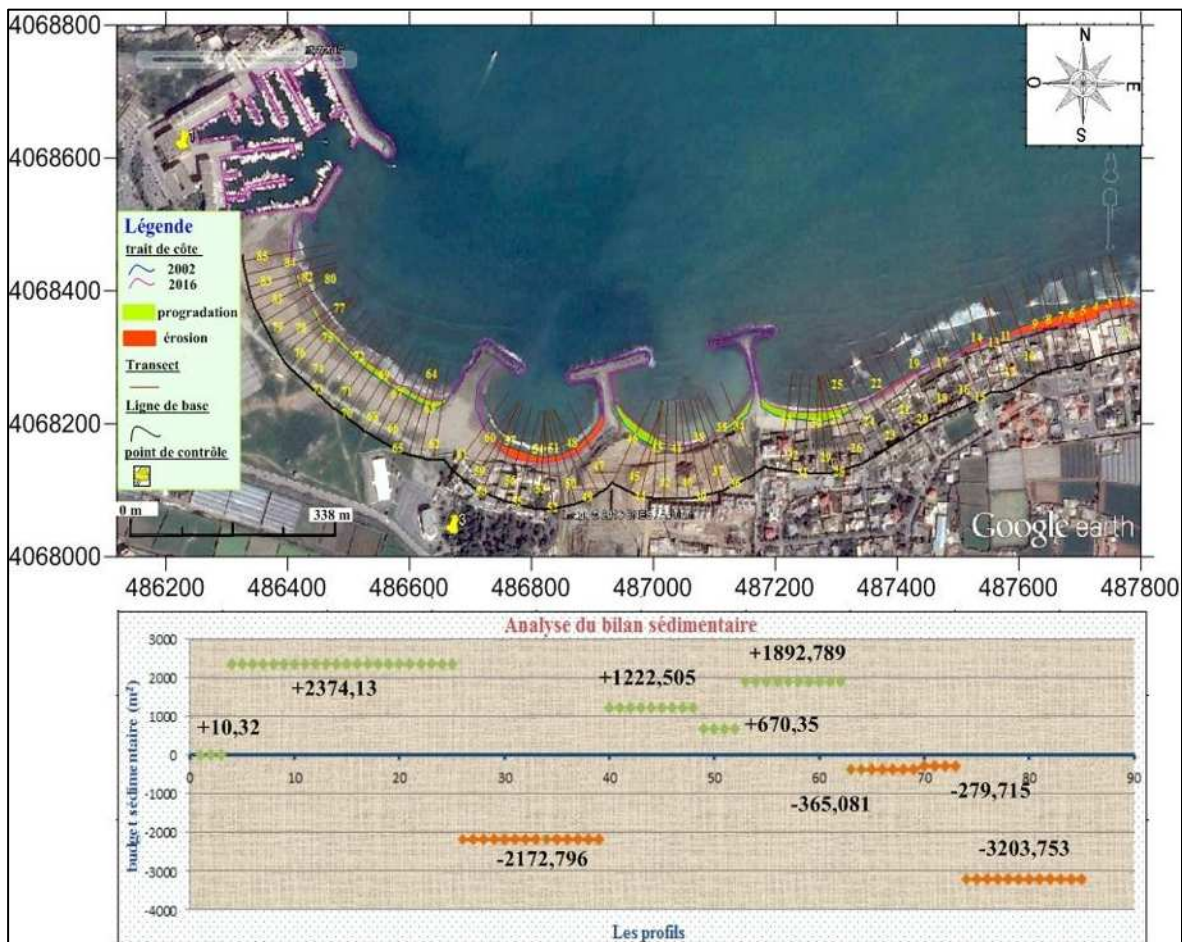


Figure 5.9: analyse de taux d'évolution en surface entre 2002 et 2016.

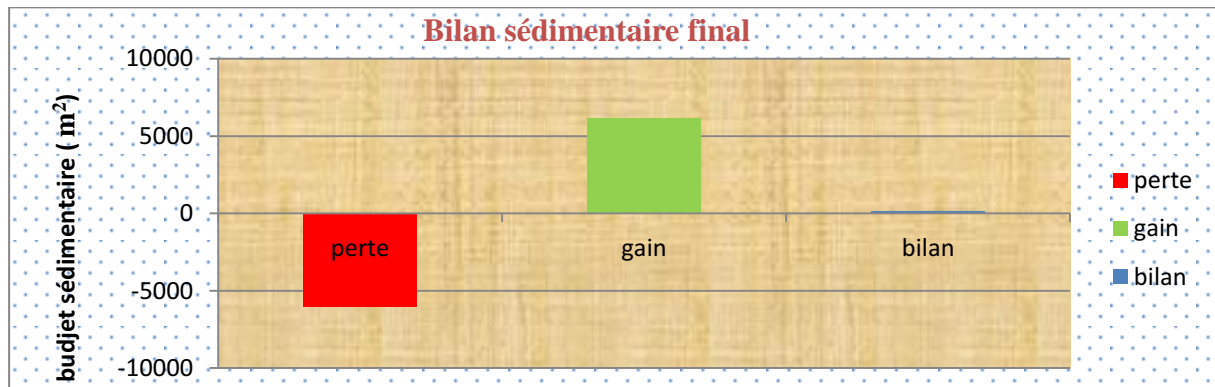


Figure 5.10: bilan sédimentaire de SIDI Fredj entre 2002 et 2016.

Commentaire :

A partir de la figure 5.9, on remarque une accumulation qui atteint **2385 m²** de surface au niveau de la plage Est de Sidi-Fredj suivie par une perte de **-218 m²** entre les deux épis 1 et 2. La plage de l'hôtel el Riad et la zone abritée par l'épi 2 et 3 connaît un gain considérable d'environ de **1893 m²** et **1891 m²** par ordre.

Tandis que le reste de la zone d'étude connaît une perte tout au long de la partie de l'extrémité orientale estimée de **3849 m²**.

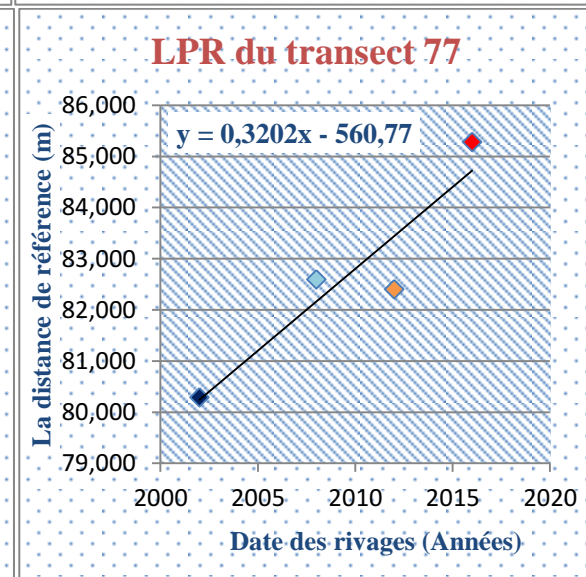
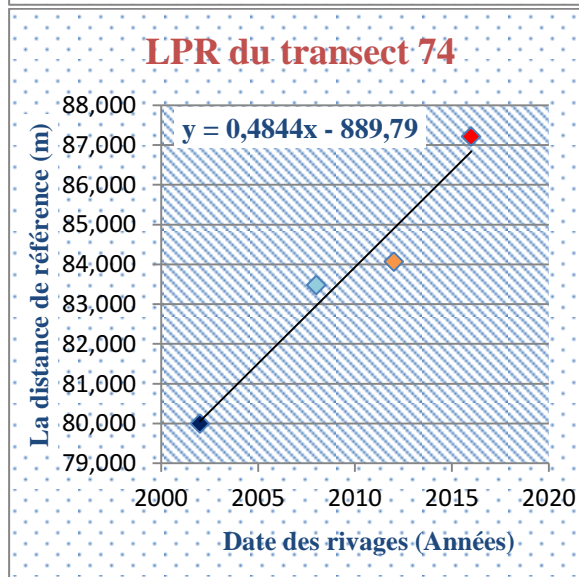
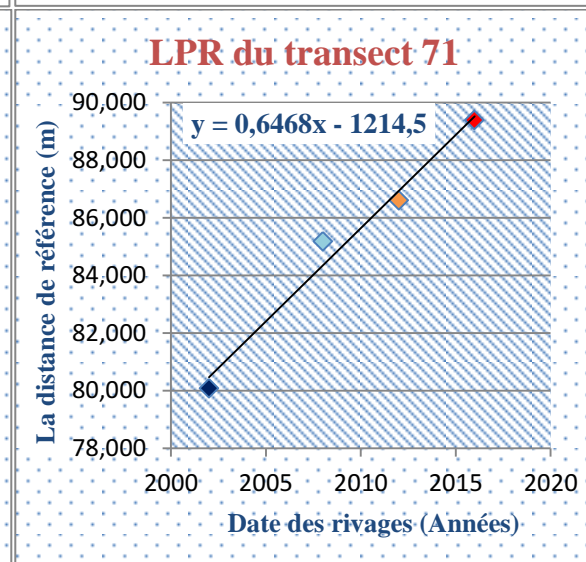
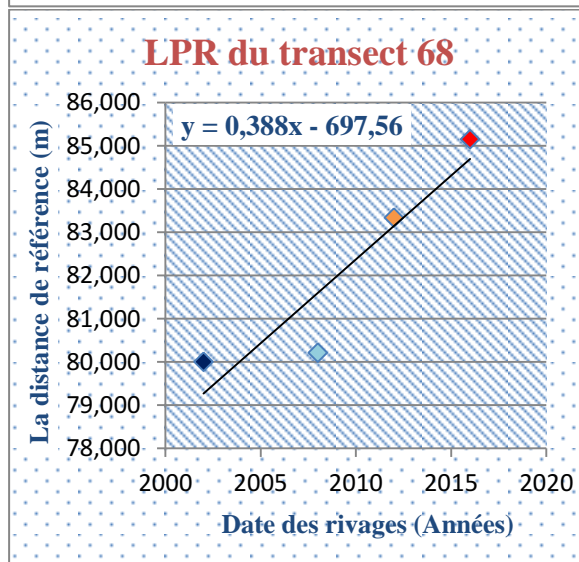
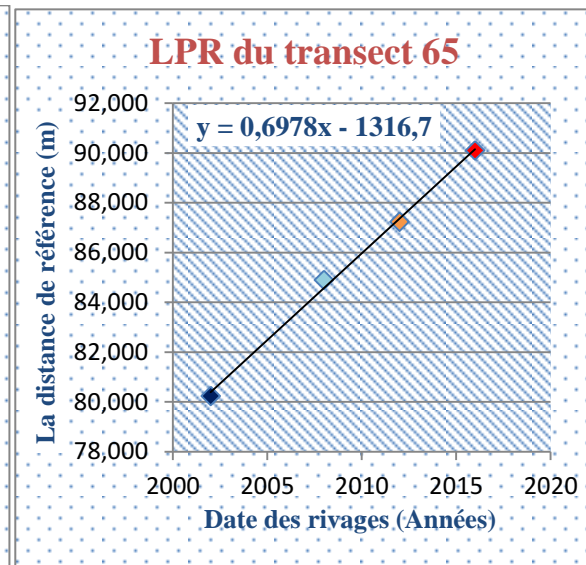
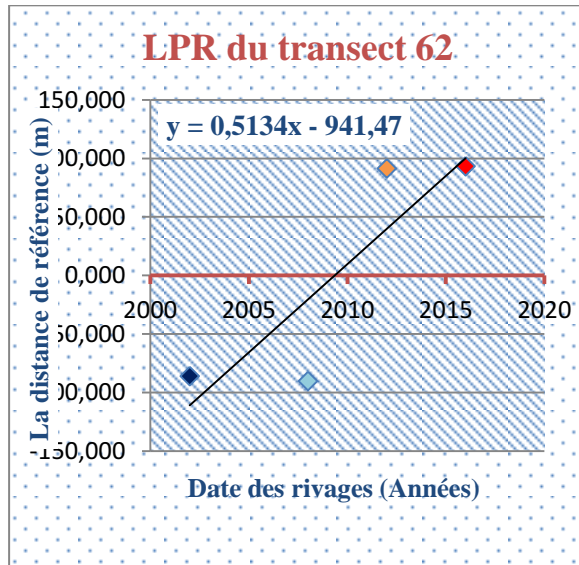
Ce graphique nous renseigne sur l'état de la zone d'étude, cette dernière connaît un bilan positif (**149 m²**) avec un gain d'une valeur de **6171 m²** et une perte d'une valeur de **-6022 m²**.

4.1.1. Scénario tendanciel prospectif :

Avant de passer à l'analyse, il faut poser comme hypothèse que les mêmes conditions physiques qui vont se répéter, pour pouvoir faire la projection de l'analyse à partir d'une approximation mathématique.

Au-delà de l'analyse du passé et du présent, une vision prospective est nécessaire pour anticiper les aléas, et prendre les mesures de gestion les plus appropriées. Cette vision prospective est particulièrement délicate à cause de nombreuses incertitudes sur l'évolution des forçages météo-marins. Cela dit, un réel changement climatique est enregistré depuis plusieurs années dépassant même les prédictions.

Dans ce cas, on est obligé de poser des hypothèses préalables mettant que ces conditions vont se répéter d'une manière relative à l'état actuel, à partir de ca la prédiction du trait de côte à l'horizon 2020 a été réalisée sur la base d'une approximation mathématique utilisant les résultats de la régression linéaire représentés sous forme des nuages de points avec une ligne tendancielle qui rapproche la non linéarité réelle vers une linéarité statistique.



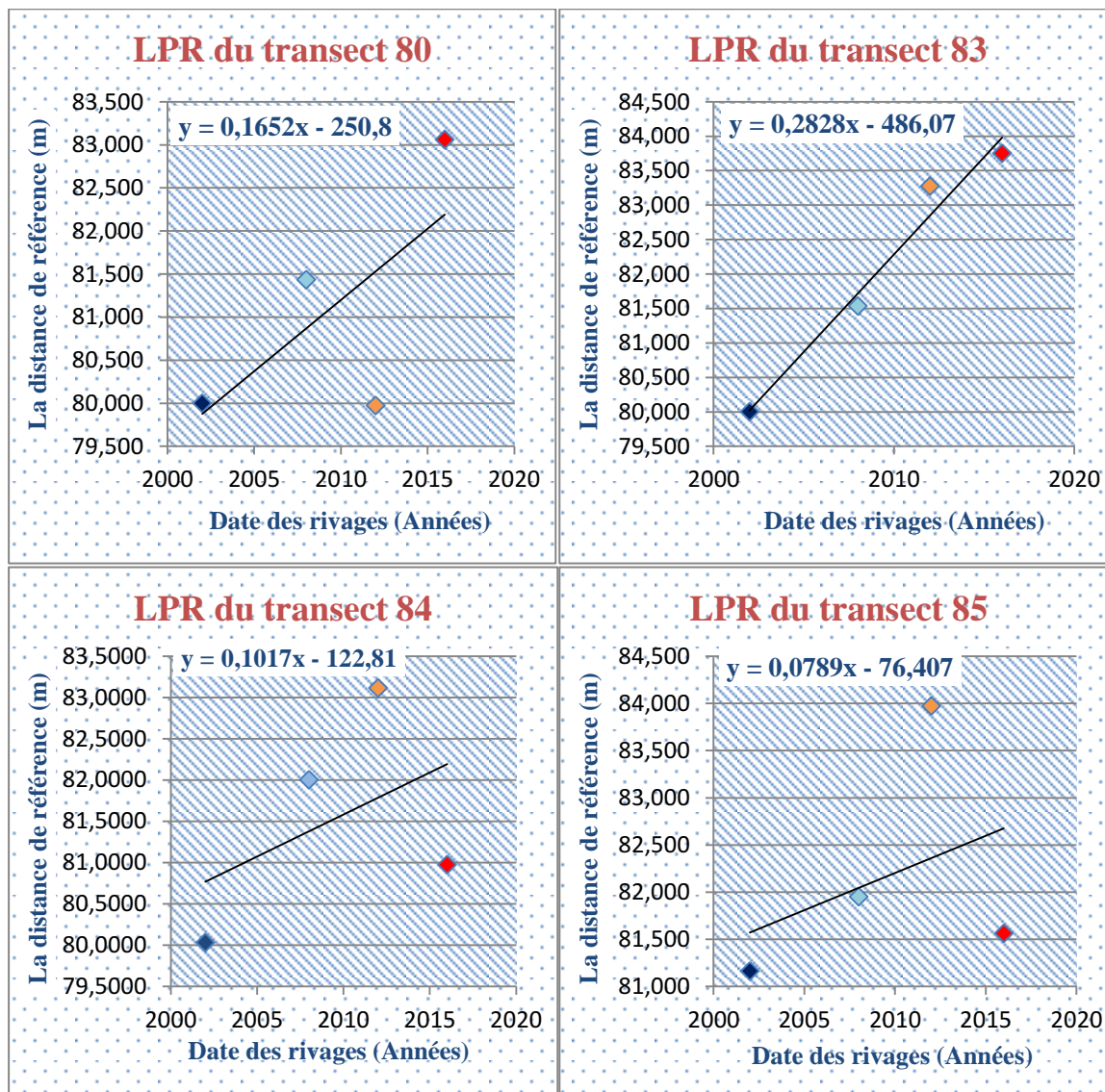
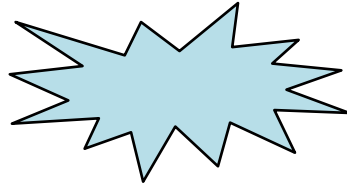


Figure 5.11: représentation graphique de la régression linéaire avec son équation selon certains profils de la plage entre 2002, 2008, 2012, 2016.

Commentaire :

A l'aide de ces graphes qui représentent les régressions linéaires avec ses équations mathématiques, on peut dire que l'état d'évolution de cette plage tend vers une situation positive, autrement dit une progradation probabiliste, ce qui va mener à un gain de surface considérable au niveau de la plage de SIDI Fredj à l'horizon 2020, posant toujours l'hypothèse qui dit que cette situation évolue dans les mêmes conditions climatiques et physiques précédentes.



Modélisation

numérique

hydrodynamique

- I. Modélisation hydrodynamique 1*
- II. Modélisation hydrodynamique 2*

1. Introduction :

L'étude de l'évolution de la plage de SIDI Fredj passe donc par celle des causes sous-jacentes qui affectent l'équilibre des sédiments du littoral en fonction des différentes périodes. Plus précisément, le problème posé est de déterminer le régime des houles et hydro-morphologiques, les effets des vagues, des courants sur cette évolution en hiver et en été et les causes de l'érosion dans le secteur d'étude. De là, nous comprendrons les règles de l'accrétion et de l'érosion dans le site d'étude grâce à l'application de modèles mathématiques et numériques pour simuler ce processus.

Le modèle numérique nous permet d'illustrer les houles, le courant dû aux vagues et les modes de transport du littoral. Le modèle morphodynamique repose sur un couplage des modèles de propagation de la houle et du modèle de circulation et du modèle de transport sédimentaire dans MIKE21. La modélisation numérique a été réalisée en une seule échelle locale. Nous présentons dans ce qui suit une description de celle (**Than, 2015**).


2. Echelle locale :

L'échelle locale de la dynamique sédimentaire de la zone côtière est un couplage des modèles de propagation de la houle, hydrodynamique et de transport sédimentaire. Ce modèle couvre la côte autour de la plage Est. Il simule les modifications du littoral dues aux régimes des vagues. Le domaine de calcul et la bathymétrie sont décrits par la suite dans la partie génératrice de maille, pour pouvoir passer aux modèles couplés. La bathymétrie consiste à des points extraits par la digitalisation d'une carte bathymétrique.

2.1. La grille de calcul initiale :



Pour commencer, la première tâche est de créer un maillage simple qui va montrer le contour de la surface nécessaire et forment la base pour plus de raffinement.

2.1.1. Création d'un espace de travail :

Le fichier de maillage contenant des informations sur des profondeurs d'eau et maillage est créé avec l'outil Mesh Generator dans MIKE Zero. Premièrement, vous devez démarrer le générateur Mesh (New  Mesh Generator).

Après le démarrage du générateur Mesh vous devez spécifier le système de projection UTM et la zone que 31 pour la zone de travail.

2.1.2. Importer les conditions limites :

Afin d'évaluer le contour de la zone de modèle importer toutes les données de dispersion disponibles (Data  Manage Scatter Data  Add ...). Notez que la projection cartographique pour les fichiers individuels xyz concernant le trait de côte et la bathymétrie séparément est définie lors de l'importation. Appuyez sur "Apply" pour rafraîchir l'affichage.

2.1.3. Spécification du domaine :

Cette tâche devrait se traduire par un fichier avec les limites des terres et de l'eau formant un domaine fermé qui peut être triangulé.

2.1.4. Editer frontière terrestre :

Dans le cas présent, les arcs de délimitation des terres devraient être fusionnés afin de refléter une frontière fermée. Comme les conditions à l'intérieur du port est sans importance, ce domaine devrait être omis. Commencez par supprimer les sommets du littoral et les nœuds (les points rouges et bleus) qui ne font pas partie du littoral de la zone que vous souhaitez inclure dans la bathymétrie. Cela inclut les nœuds sur les terres que vous voyez et la zone définissant l'intérieur port.

2.1.5. Réglage des données sur les limites dans un domaine qui peut être triangulé :

Insérez deux nœuds au niveau des positions (487840 ; 4072566) et (485879.2 ; 4071877.2), respectivement. Notez que vous pouvez modifier l'emplacement d'un nœud par la suite sélectionnant le nœud à l'écran, cliquez droit sur Propriétés ...

Connecter les points nodaux en dessinant des arcs pour fermer la zone. Ces nouveaux arcs définissent les limites ouvertes.

2.1.6. Spécification des limites :

Les points de nœuds et d'arcs sur les limites ouvertes doivent être définis par une valeur entière unique. Ces attributs sont utilisés pour le système de modèle pour distinguer entre les différents types de limites dans le maillage :

Cliquez droit et choisissez Propriétés. Réglez l'arc et le nœud attribue à 2 pour la limite Est. Marquer 3 pour l'arc limite Nord et marquer 4 pour l'arc limite Ouest.

2.1.7. Génération d'un mesh :

L'étape suivante consiste à trianguler le domaine. Utilisez les paramètres de l'option de triangulation par création et sélectionnent du polygone puis un clic droit ensuite option et choisir triangulated mesh.

Essayez de faire la première triangulation (Mesh → Generate mesh ...).

2.1.8. Lissage du mesh :

D'une manière générale, le maillage doit être lissée à plusieurs reprises après la génération et avant interpoler la bathymétrie. Le processus de lissage va changer la position des points nodaux générés afin d'obtenir la meilleure résolution globale des éléments triangulaires, tout en essayant d'éviter les petits angles dans de trop nombreux éléments.

2.2. La bathymétrie initiale:

La bathymétrie initiale est maintenant créée à partir du maillage initial par interpolation des données de dispersion.

2.2.1. Importation de données de dispersion :

Tout d'abord importer le xyz-fichier contenant les profondeurs d'eau à partir des mesures de lignes régionales (Data → Manage Scatter données → Add ... et choisissez le fichier de travail avec l'extension .xyz). Spécifiez la projection UTM-31.

2.2.2. Interpoler les données de dispersion et exportation du Mesh :

Maintenant interpoler les valeurs de bathymétrie en utilisant les paramètres par défaut pour l'interpolation (Mesh → Interpolate ...). Maintenant exporter le maillage du générateur Mesh un fichier .mesh

3. Choix des modèles couplés :

Le logiciel MIKE comprend certains modules spécialisés pour calculer le champ des courants, des vagues, du transport sédimentaire, etc. ..., pour les zones côtières. En particulier, le modèle intégré MIKE21/3 FM couplé avec le module MIKE21 ST intègre des modèles professionnels pour étudier les questions liées au transport du sable et au dépôt – érosion. Le modèle couplé MIKE21/3 FM est un nouveau produit (développé en 2004-2009) et le logiciel spécialisé plus avancé MIKE21 comprend de nombreux modules intégrés pour l'utilisation dans quatre grands domaines tels que (i) l'hydraulique de la rivière et de la mer, (ii) les vagues, (iii) les processus d'accrétion et d'érosion, et (iv) l'environnement hydraulique. Il s'agit d'un modèle d'hydraulique numérique par éléments finis intégrés pour simuler le processus hydraulique intégré ainsi que dans des eaux peu profondes, couplant des vagues, des courants et le transport de matériel (boue/sable) (Than, 2015).

Du fait de la possibilité d'intégrer la dynamique naturelle des processus naturels de sorte que le résultat soit compatible avec le réel de façon satisfaisante, nous avons choisi MIKE21/3 FM modèles couplés pour simuler l'évolution du littoral dans le secteur d'intérêt.

3.1. Description des modèles de MIKE :

MIKE est un système logiciel développé par le Danish Hydraulics Institute (DHI) et reposant sur un maillage structuré (grille rectangulaire ou curviligne) ou, pour certains modules, sur un maillage non structuré. Actuellement, MIKE se compose de MIKE21 et MIKE21/3 systèmes.

Le modèle MIKE est bidimensionnel horizontal, utilisant une méthode de volumes finis. Il a trois principaux modules tels que l'hydrodynamique (HD), le transport de sable (ST), et le spectre de la houle (SW) (Than, 2015).

4. Modélisation de propagation de la houle, champs des courants et le transport sédimentaire:

L'information sur le cycle de houle est essentielle lors de la détermination de l'évolution du littoral. Les mesures sur le terrain de la houle ne peuvent pas couvrir toutes les conditions météorologiques possibles. Afin d'obtenir les informations manquantes un modèle de vague numérique sera installé, calibré et vérifié, à l'aide du modèle couplé MIKE21/3 FM, des données disponibles et des données des mesures sur le terrain (analyse sédimentologique).

4.1. Domaine :

Le site d'étude est une partie de la baie d'El Djamilia, avec le maillage indiqué dans la figure 6.1, Le maillage de SIDI Fredj est de 4,4 kilomètres en direction Nord-Sud, et de 2 kilomètres en direction Ouest-Est, couvrant une superficie d'environ 9 kilomètres carrés. La taille moyenne du maillage de chaque cellule de la grille au large est de 100 mètres, avec une résolution spatiale plus fine au niveau de la plage Est de notre zone d'étude.

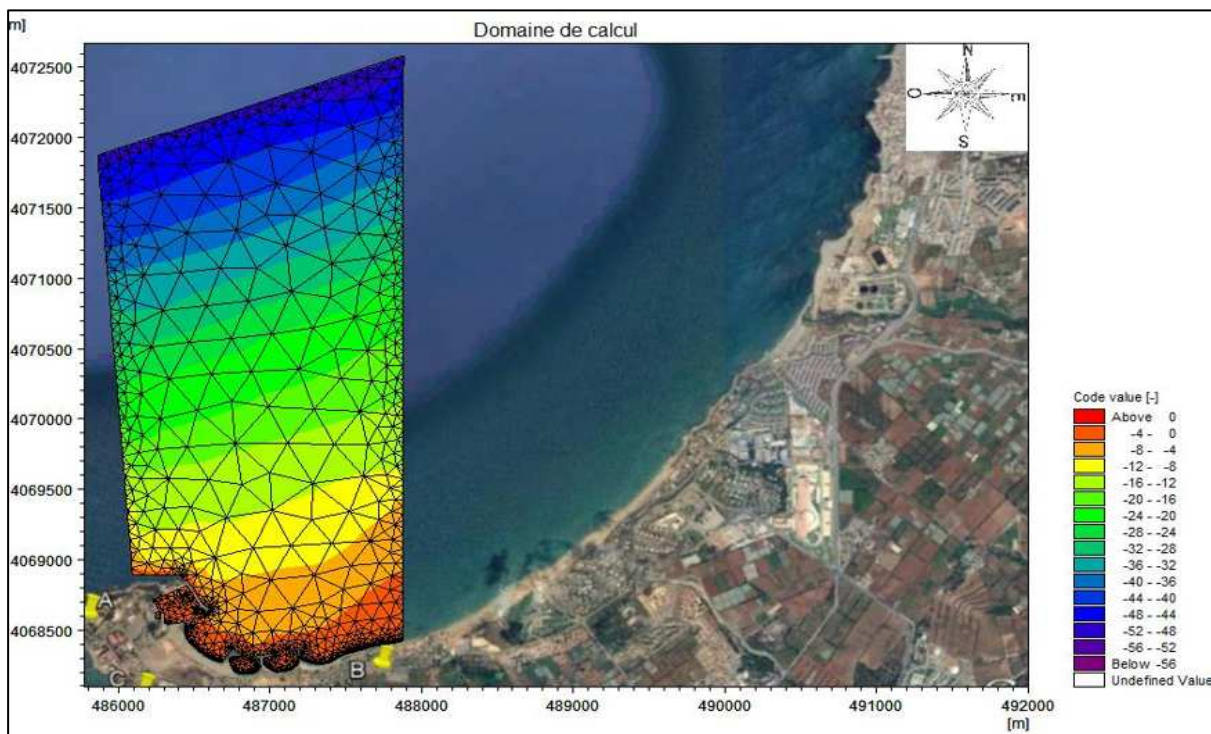


Figure 6.1 : Domaine de calcul et la bathymétrie à l'échelle régionale.

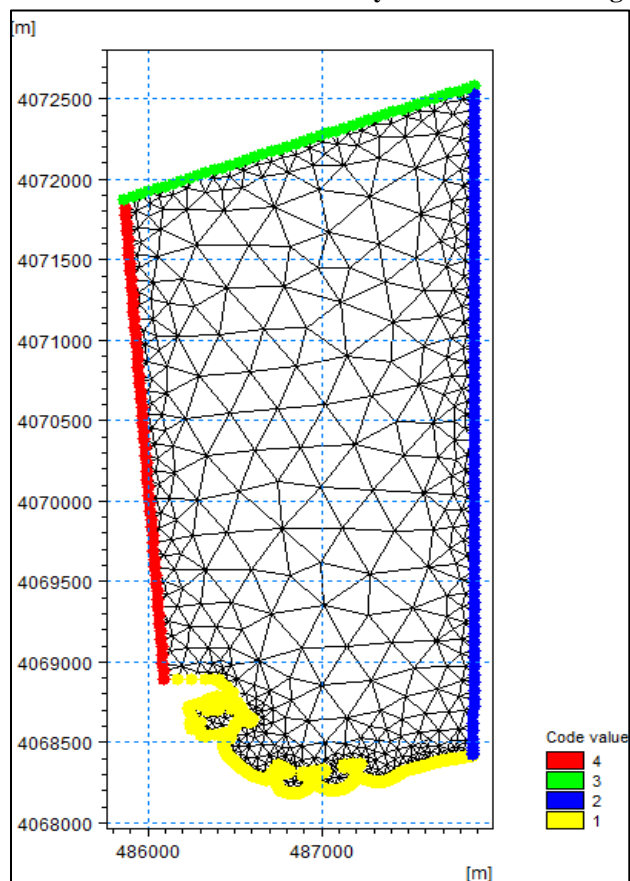


Figure 6.2 : Domaine de calcul avec les codes de chaque limite.

4.2. Conditions aux limites :

Pour contrôler le modèle numérique de la houle, des informations de houle aux limites sont nécessaires (à partir de la SSMO).

En raison de la disponibilité des données et la taille de la zone d'enquête, certaines simplifications ont été nécessaires : les houles sont linéaires dans le temps et l'espace sur le long des trois limites.

Les conditions aux limites Est et Ouest étaient considérées comme des frontières latérales (« Lateral boundary » - présence de vague incidente et limite absorbée entièrement) dans le module SW. Les vagues le long de la limite Ouest, Est et Nord varient dans le temps et le long de la frontière. Pour une approche des vagues et des courants combinées, une condition d'équilibre est toujours spécifiée à toutes les frontières dans le module ST. La condition de

« zero sediment flux gradient » semble s'adapter aux plages sableuses (Than, 2015).

Alors, elle a été appliquée à toutes les limites. Il s'agit d'une part d'un flux des sédiments sortant du domaine, d'autre part d'un apport infini des sédiments entrant dans le domaine à cette limite.

4.2.1. Scénario annuel :

A partir des tableaux précédents (chapitre 2), nous déterminons d'abord la hauteur significative spectrale de la houle (H_{m0}) correspondant à une valeur moyenne des hauteurs du spectre pour chaque direction. Puis, nous choisissons la valeur de la direction moyenne (MWD) et de la période de pic (T_p) de la houle correspondant à chaque direction, après un traitement statistique de ces données qui nous 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, les données sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau 6.1 : Les valeurs de la houle au large (SSMO).

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

4.3. Calibration:

La procédure de calibration est ensuite exposée. Nous choisissons le déferlement et le frottement du fond comme paramètres de calibration. Le déferlement est spécifié en utilisant un gamma constant $\gamma = 0.8$. Le frottement du fond marin est spécifié en utilisant la rugosité de Nikuradse (k_N en mètre) égale à 0.01, les deux paramètres sont déterminés par défaut.

Pour calibrer le modèle hydrodynamique, deux facteurs ont été pris en compte. Ils sont la viscosité et la rugosité du fond (nombre de Manning). La constante de Smagorinsky varie de 0,24 à 0,9 (DHI, 2014). Le nombre de Manning est de 24 à 35 (mètre un tiers par 212 seconde). L'estimation qu'on l'a choisi pour les deux paramètres, était par défaut 0.8 et 32 respectivement. Concernant le modèle ST, on a choisi la taille de grain moyen $D_{50} = 0.154mm$ et le coefficient de classement $K_0 = 1.2$ comme paramètres de calibration.

5. Résultats de la simulation numérique :

5.1. Le modèle SW :

La propagation de la houle se traduit à l'approche du rivage par une légère modification de ses caractéristiques à savoir une diminution de la hauteur de la houle et une déviation de l'angle d'incidence (phénomène de réfraction).

A noter que le paramètre H(m) représente la hauteur de la houle en mètre, les vecteurs représentent de par leur sens la direction de propagation de la houle, leurs longueurs étant proportionnelles à la hauteur de la houle.

Le coefficient de réfraction est défini de la manière suivante :

$$K_r = H_s \text{ local} / (H_s \text{ large} * K_s) \dots (6.6)$$

$$K_s = H/H'_0 \dots (6.7)$$

$$k_s = \sqrt{0.5 * (C_0 / C_g) \dots (6.8)}$$

$$\frac{C_0}{C_g} = K_0 * d \left(1 - \frac{1}{2} * K_0 * d + \frac{7}{72} * (K_0 * d)^2 \right) \dots (6.9)$$

Avec

$$K_0 = 2\pi / L_0 \dots (6.10)$$

et

$$L_0 = \frac{2\pi}{L_0} * T^2 \dots (6.11)$$

Sachant que :

K_s : Coefficient de Shaoling

H : Hauteur de la vague à une profondeur d

H'₀ : Hauteur de la vague équivalente au large

C₀ : Célérité de phase

C_g : Célérité de groupe

K₀ : Nombre d'onde

L₀ : Longueur d'onde

d : Profondeur et **T** : Période de pic

• Propagation des houles de direction Nord-Est au large (45°) :

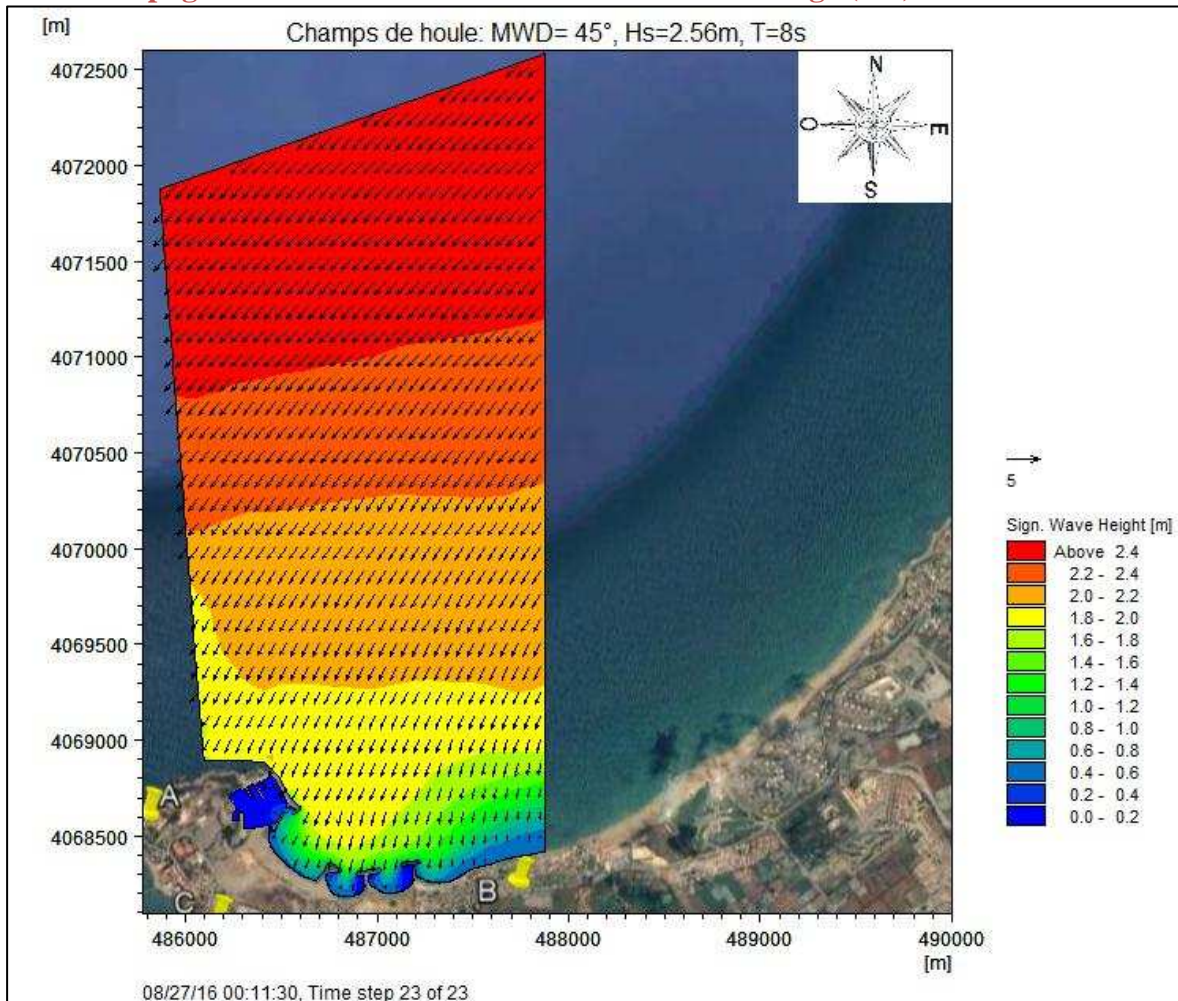


Figure 6.3 : Champs de houles (MWD=45°) sur la plage Est de Sidi Fredj.

Concernant les points de l'isobathe (-1 m) sont localisés comme suit :

- Point n° 1 : près de la jetée inférieur du port.
- Point n° 2 : loin de la jetée vers le milieu.
- Point n° 3 : loin de l'épi vers le milieu.
- Point n° 4 : près de l'épi de forme L.

Tableau 6.2: Résultats du calcul de la houle de récurrence annuelle avec MWD=45°.

Direction	Hauteur moyenne de la houle au large Hs (m)	Hauteur de la houle incidente à -1m (m)	Numéro du point de calcul à -1m de profondeur	Coefficient de réfraction Kr à -1 m	Angle d'incidence (°)
45°	2.56	0.69	1	0.19	53.63
		0.73	2	0.20	41.15
		0.8	3	0.22	31.7
		0.71	4	0.20	21.5

Commentaire :

Cette figure 6.4 et ce tableau 6.2 représentent les résultats obtenus de l'étude de la réfraction de la houle de 45°N et cela pour une seule période (8s). Au large, ces houles de

direction Nord –Est (45°) ne subissent aucune modification, mais au fur et à mesure, lorsque la houle commence à ressentir le fond, la hauteur de la houle diminue considérablement.

Jusqu'à environ de -30 m de profondeur, la hauteur de la houle connaît une diminution environ de 0.3 m ($H=2.2\text{m}$) et à -17 m de profondeur dans le côté Ouest, la hauteur est presque de 1.8 m à 2 m jusqu'au niveau de la jetée principale du port où on observe des hauteurs de 2.1 m, à ce niveau, on peut dire que la houle garde leur énergie à partir de -17 m de profondeur et l'évolution de la houle est quasiment stable, marquant qu'il n'y a aucun pivotement des orthogonales, et cela pourrait être expliquée par l'accumulation d'énergie et la formation d'un clapot lors le phénomène de la réflexion avec la jetée jusqu'au niveau du musoir où les phénomènes de diffraction se manifestent. Mais à l'approche de la côte jusqu'à -1m de profondeur, une diminution moyenne des hauteurs varie entre 1.7 m et 1.8 m (H est environ de 0.7 m de hauteur) avec des coefficients de réfraction considérablement faible au niveau de la plage Est de SIDI Fredj entre 0.19 à 0.23 et cela signifie que la houle perd une partie de son énergie presque trois quarts $3/4$ lors de son évolution vers la côte. Cette dissipation d'énergie est accompagnée par un pivotement très faible des orthogonales de direction NNE et NEE. On peut dire que la direction 45°N a probablement une influence sur notre zone d'étude cela peut se voir au niveau des hauteurs de la houle incidente et aussi les coefficients de réfraction.

- **Propagation des houles de direction Nord au large (360°) :**

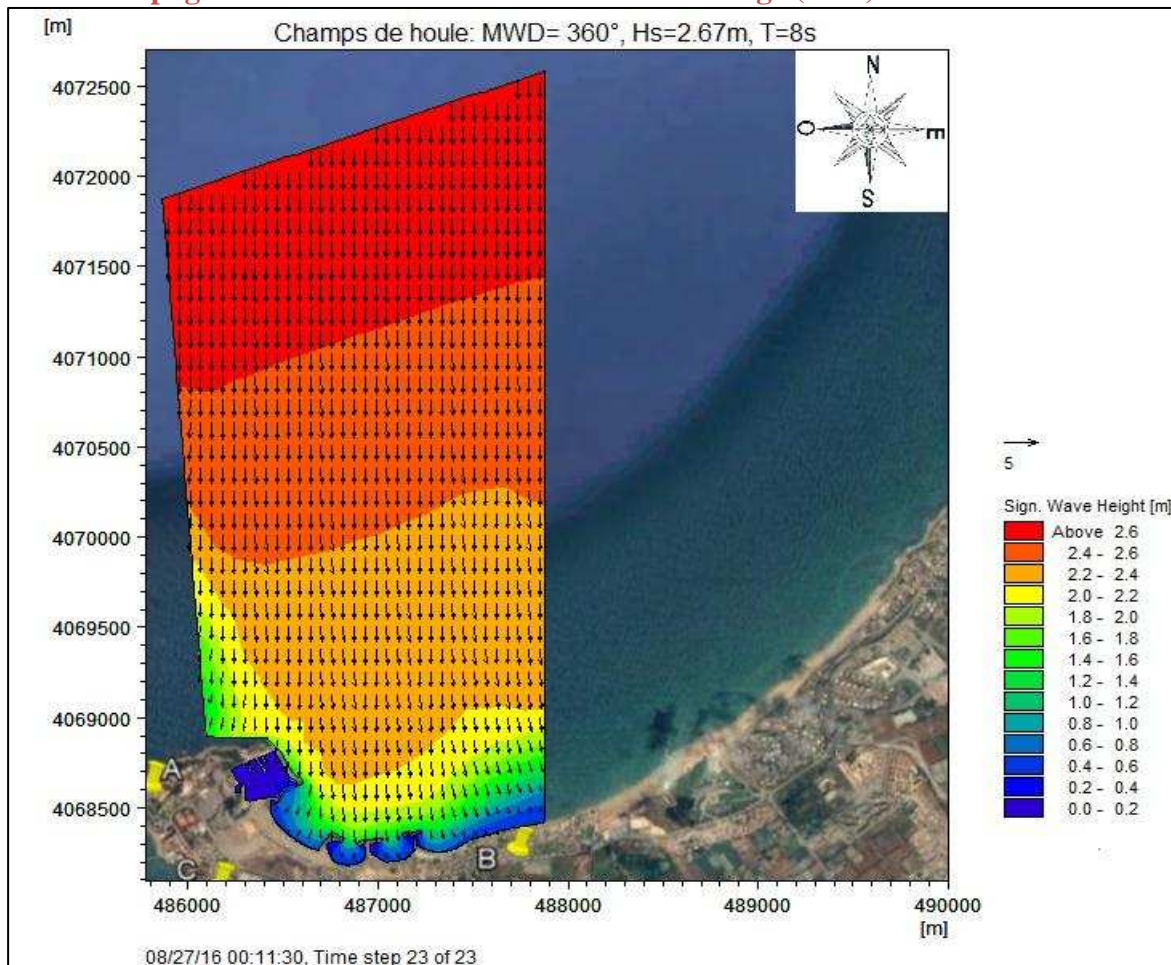


Figure 6.4 : Champs de houles (MWD= 360°) sur la plage Est de Sidi Fredj.

Tableau 6.3: Résultats du calcul de la houle de récurrence annuelle avec MWD=360°.

Direction	Hauteur moyenne de la houle au large Hs (m)	Hauteur de la houle incidente à -1m (m)	Numéro du point de calcul à -1m de profondeur	Coefficient de réfraction Kr à -1 m	Angle d'incidence (°)
360°	2.67	0.57	1	0.15	53.34
		0.62	2	0.16	39.89
		0.71	3	0.19	27.65
		0.67	4	0.17	13.5

Commentaire :

Cette figure 6.5 et ce tableau 6.3 représentent les résultats obtenus de l'étude de la réfraction de la houle de 360°N et cela pour une seule période (8s). Au large, ces houles de direction Nord (360°) ne subissent aucune modification, mais au fur et à mesure, lorsque la houle commence à ressentir le fond, la hauteur de la houle diminue considérablement.

A environ de -30m de profondeur, on observe que la hauteur est environ de 2.4m et à -21m la hauteur est presque de 2.1m à 2.2m, marquant qu'il n'y a aucun pivotement des orthogonales

Mais à l'approche de la côte jusqu'à -1m de profondeur, une diminution remarquable des hauteurs jusqu'à 1.9 m (H varie entre 0.69 m et 0.71 m), avec des coefficients de réfraction relativement faible entre 0.15 à 0.19 et des angles d'incidences de direction moyenne vers le Nord-Est au niveau de la plage Est, et cela signifie que la houle perd une grande partie de son énergie presque 4/5 lors de son évolution vers la côte. Cette dissipation d'énergie est accompagnée par un pivotement des orthogonales vers le Nord Est avec un faible degré. Donc pour la direction 360°, on peut dire que la houle a une propagation quasi frontale et suit presque le même comportement d'évolution avec celle d'une direction 45°, et cela aussi pourrait avoir une influence sur notre zone d'étude.

- **Propagation des houles de direction Nord-Ouest (315°) au large :**

Tableau 6.4: Résultats du calcul de la houle de récurrence annuelle avec MWD=315°.

Direction	Hauteur moyenne de la houle au large Hs (m)	Hauteur de la houle incidente à -1m (m)	Numéro du point de calcul à -1m de profondeur	Coefficient de réfraction Kr à -1 m	Angle d'incidence (°)
315°	2.64	0.07	1	0.019	52.7
		0.08	2	0.02	38.44
		0.14	3	0.037	23.33
		0.39	4	0.10	220.27

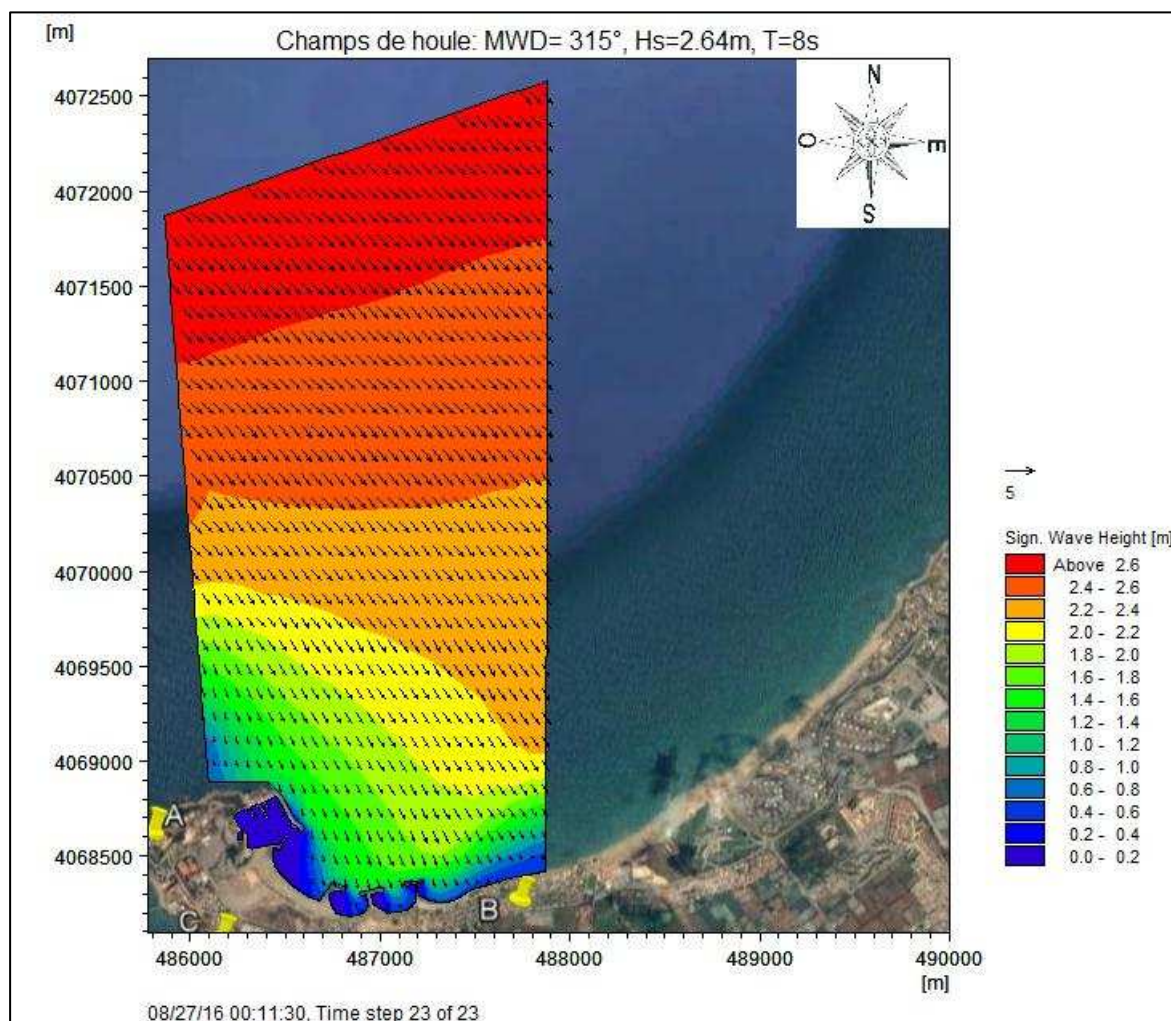


Figure 6.5 : Champs de houles (MWD=315°) sur la plage Est de Sidi Fredj.

Commentaire :

Cette figure 6.6 et ce tableau 6.4 représentent les résultats obtenus de l'étude de la réfraction de la houle de 315°N et cela pour une seule période (8s). Au large, ces houles de direction Nord-Ouest (315°) ne subissent aucune modification, mais au fur et à mesure, lorsque la houle commence à ressentir le fond, la hauteur de la houle diminue considérablement.

A une isobathe de -40 m, la houle connaît une modification de son hauteur qui a abaissée par 0.2 m (2.4 m) et par 0.4 m à -28 m de profondeur (2.2 m), marquant qu'il n'y a aucun pivotement des orthogonales.

Mais à l'approche du rivage jusqu'à -1m de profondeur, un changement important concernant les deux caractéristiques de la houle (hauteur et direction), lorsqu'on observe des valeurs très faibles des hauteurs qui varient entre 0.05 m et 0.4 m avec aussi des coefficients de réfraction assez faibles entre 0.02 à 0.1, et cela signifie que la houle perd une très grande partie de son énergie lors de son trajet vers la côte due généralement à la variation bathymétrique et particulièrement à cause que cette plage Est de SIDI Fredj est considérée comme une zone abritée. Cette dissipation d'énergie est accompagnée par un pivotement des orthogonales de direction Nord-Ouest à Nord-Est avec un ordre moyen de 105°.

• Propagation des houles de direction Ouest au large (270°) :

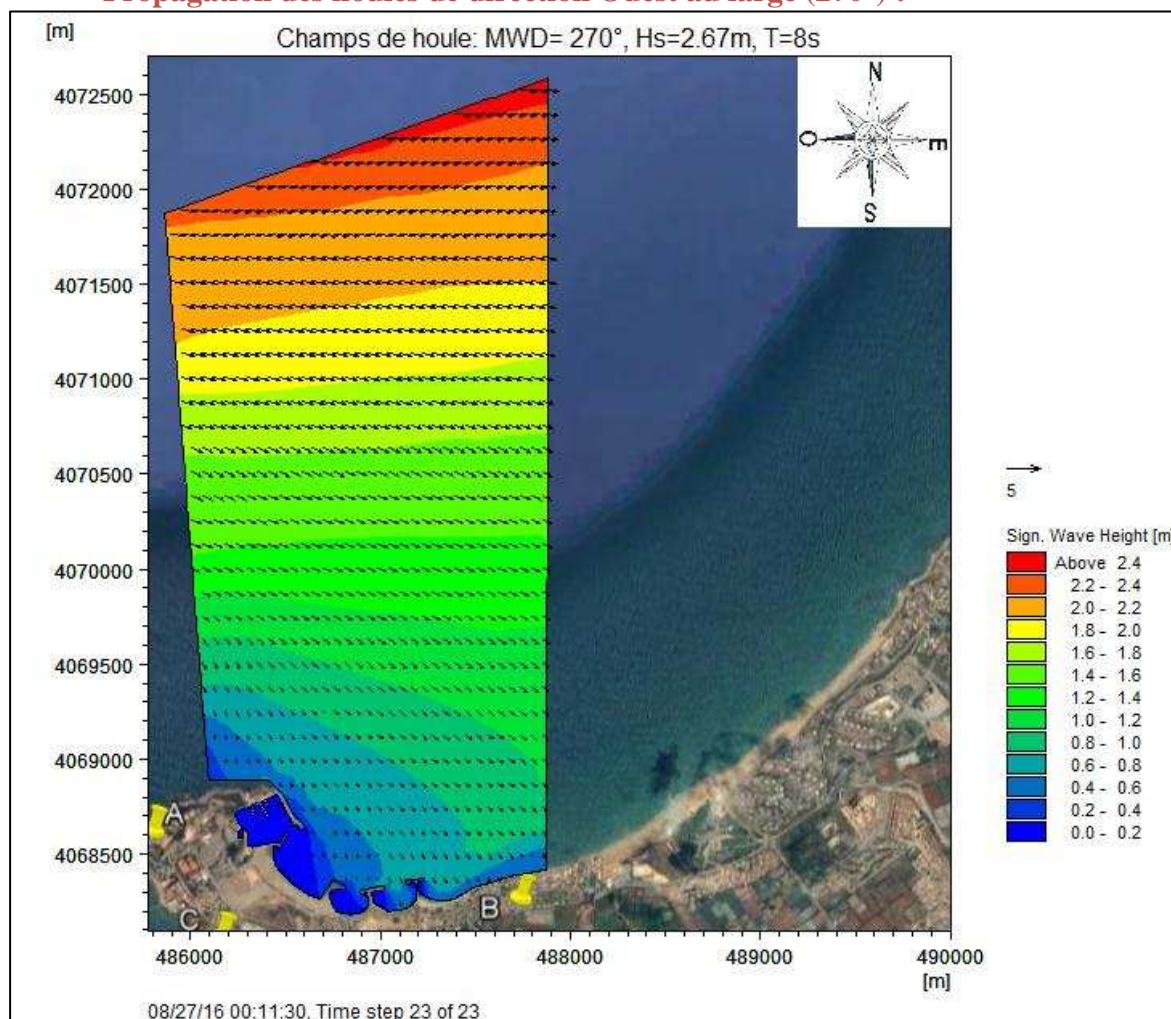


Figure 6.6 : Champs de houles (MWD=270°) sur la plage Est de Sidi Fredj.

Tableau 6.5: Résultats du calcul de la houle de récurrence annuelle avec MWD=270°.

Direction	Hauteur moyenne de la houle au large Hs (m)	Hauteur de la houle incidente à -1m (m)	Numéro du point de calcul à -1m de profondeur	Coefficient de réfraction Kr à -1 m	Angle d'incidence (°)
270°	2.67	0.009	1	0.0024	359.94
		0.006	2	0.0016	359.91
		0.028	3	0.073	359.85
		0.13	4	0.034	357.67

Commentaire :

Cette figure 6.7 et ce tableau 6.5 représentent les résultats obtenus de l'étude de la réfraction de la houle de 270°N et cela pour une seule période (8s). Au large, ces houles de direction Ouest (270°) ne subissent aucune modification, mais à partir d'environ -45 m de profondeur, la hauteur de houle commence à diminuer avec un degré moyen de 0.2 m pour chaque remontée de 5 m entre le -50 m et -35 m de profondeur.

Mais à l'approche de la côte jusqu'à -1m de profondeur, ce degré de décroissement atteint un maximum remarquable varie entre 2.5 m à 2.6 m (donc es hauteurs plus faible à la côte), avec des coefficients de réfraction trop faible entre qui n'atteignent pas le 0.1 et cela

signifie que la houle perd une très grande partie de son énergie presque 96% lors de son rapprochement vers la côte. Cette dissipation d'énergie est accompagnée par un pivotement des orthogonales de direction Nord avec un ordre de 90 degré. Donc pour la direction 270°, on peut dire que la houle ne pourrait pas affecter notre zone d'étude, à cause de la forte perte qu'elle a subie lors de la rencontre avec la jetée principale du port qui protège la plage Est et la rend une zone abritée.

5.2. Le modèle HD et ST :

Dans la représentation graphique des résultats des courants, les vecteurs représentent de par leur sens la direction du courant, leurs longueurs étant proportionnelles au gradient de vitesse.

- **Champs des courant et capacité de transport solide pour un MDW=45° :**

Commentaire 1 :

D'après cette figure 6.9, on observe que les champs des courants montrent un courant littoral de direction majoritaire Nord-Est, avec un gradient de vitesse atteint un maximum au niveau de la plage Moretti d'environ **1.1 m/s**, et diminue progressivement passant par des vitesses moyennes de l'ordre de **1 m/s** à **0.6 m/s**.

Ce courant se continuer à évoluer sur la même gamme de vitesse jusqu'à au-dessus des ouvrages, ou on observe des grands circulations tourbillonnaires entre ces derniers avec des vitesses qui varient entre **0.32 m/s** et **0.4 m/s**, ce qui est en accord avec la réalité.

Au niveau de la plage de Sidi Fredj, on constate une grande circulation (tourbillons) remarquable, avec un courant littoral remontant vers le port, les deux sont caractérisés par le même gradient de vitesse **0.35 m/s**. Ces courants sont capables de transporter du sable de la plage vers le port.

Commentaire 2 :

Le transit sédimentaire dans la zone d'étude reflète l'activité hydrodynamique observée dans les champs des courants. Sur le plan Sédimentlogique, on constate la présence de zone de couleur foncée à l'Est des épis, au niveau de la plage de Moretti, traduisant des capacités de transport solide d'environ **75686.4 m³/an/m**, et quand on s'éloigne de cette qui connaît une forte agitation hydrodynamique, cette capacité diminue graduellement suivant les vitesses des courants jusqu'à atteint une capacité moyenne de l'ordre de **9460.8 m³/an/m** au niveau de la zone au-dessus l'hôtel d'El Riadh, notant aussi que cette gamme de capacité caractérise la zone au-dessus des ouvrages de protection, la plage Est, la passe d'entrée du port et face à la jetée principale (**9460.8 m³/an/m**).Sauf pour les zones qui se situent juste au-dessus le deuxième épi et aussi le musoir de la jetée principale qui connaissent une capacité de transport un peu élevée allant jusqu'à **47304 m³/an/m**.

Modélisation hydrodynamique 1

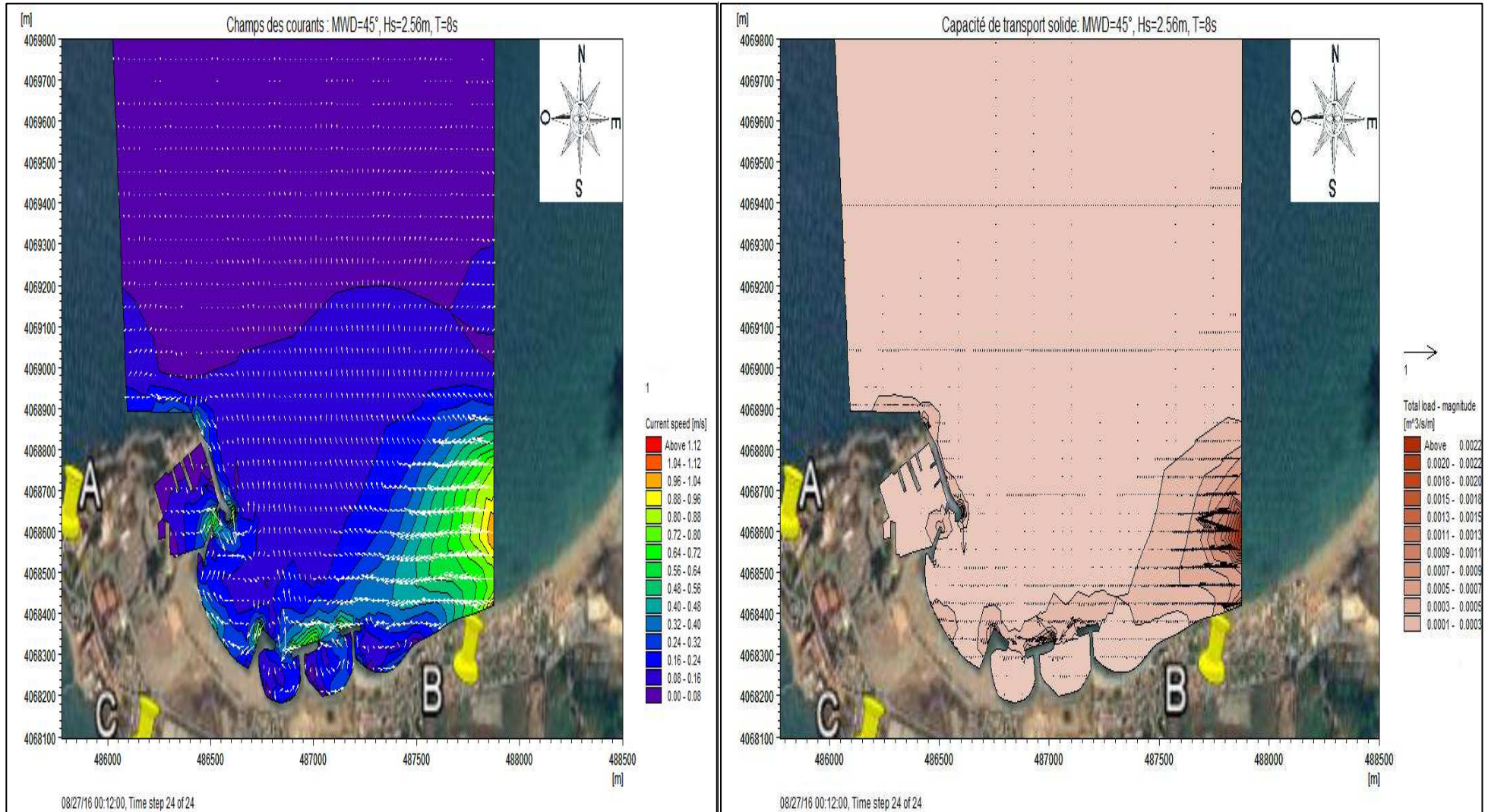


Figure 6.7 : champs des courants et capacité de transport solide sur la plage de SIDI Fredj pour : MWD= 45°, Hs=2.56m, T=8s.

- **Champs des courants et capacité de transport solide pour un MDW=360° :**

Commentaire 1 :

D'après cette figure, on observe que les champs des courants montrent des activités hydrodynamiques presque dans toute la zone, et surtout dans la partie exposée du côté Est (plage Moretti), où on observe un courant littoral important qui est dirigé vers le Nord-Est, induit par la houle d'une direction frontale 360°, ce courant a une vitesse allant jusqu'à **1.12 m/s** à l'extrémité et lors de son déplacement vers le Nord-Est, cet intensité diminue graduellement passant par des vitesses moyennes de l'ordre de **0.6 m/s à 0.96 m/s**.

Ce gradient de vitesse est aussi remarquable, au niveau de la jetée principale, la plage Est et la passe d'entrée du port mais avec un degré moindre, où on note des circulations tourbillonnaires dans cette zone et aussi entre les ouvrages, avec des vitesses faibles d'environ de **0.3 m/s**, ce qui est en accord avec la réalité.

Pour le reste de la zone et au-dessus de ces ouvrages, les champs de courant se manifestent dans une direction majoritaire moyenne vers le Nord, avec un gradient de vitesse relativement faible d'environ de **0.16 m/s à 0.24 m/s**.

Commentaire 2 :

Le transit sédimentaire dans la zone d'étude reflète l'activité hydrodynamique observée dans les champs des courants. Les zones foncées à l'extrémité Est caractérisent une grande capacité au transport d'environ de **75686.4 m³/an/m**, à condition, bien sûr, que les quantités de sable suffisantes soient disponibles. Cette capacité diminue progressivement lorsqu'on sort de la zone d'agitation marquant un transport de l'ordre de **18921.6 m³/an/m**. On relève aussi des moyennes perturbations juste au-dessus des ouvrages de protection, au niveau de la plage et la jetée principale, avec aussi une capacité de transport solide arrive à **18921.6 m³/an/m**. Alors que près de la passe d'entrée au port les perturbations sont négligeables.

Modélisation hydrodynamique 1

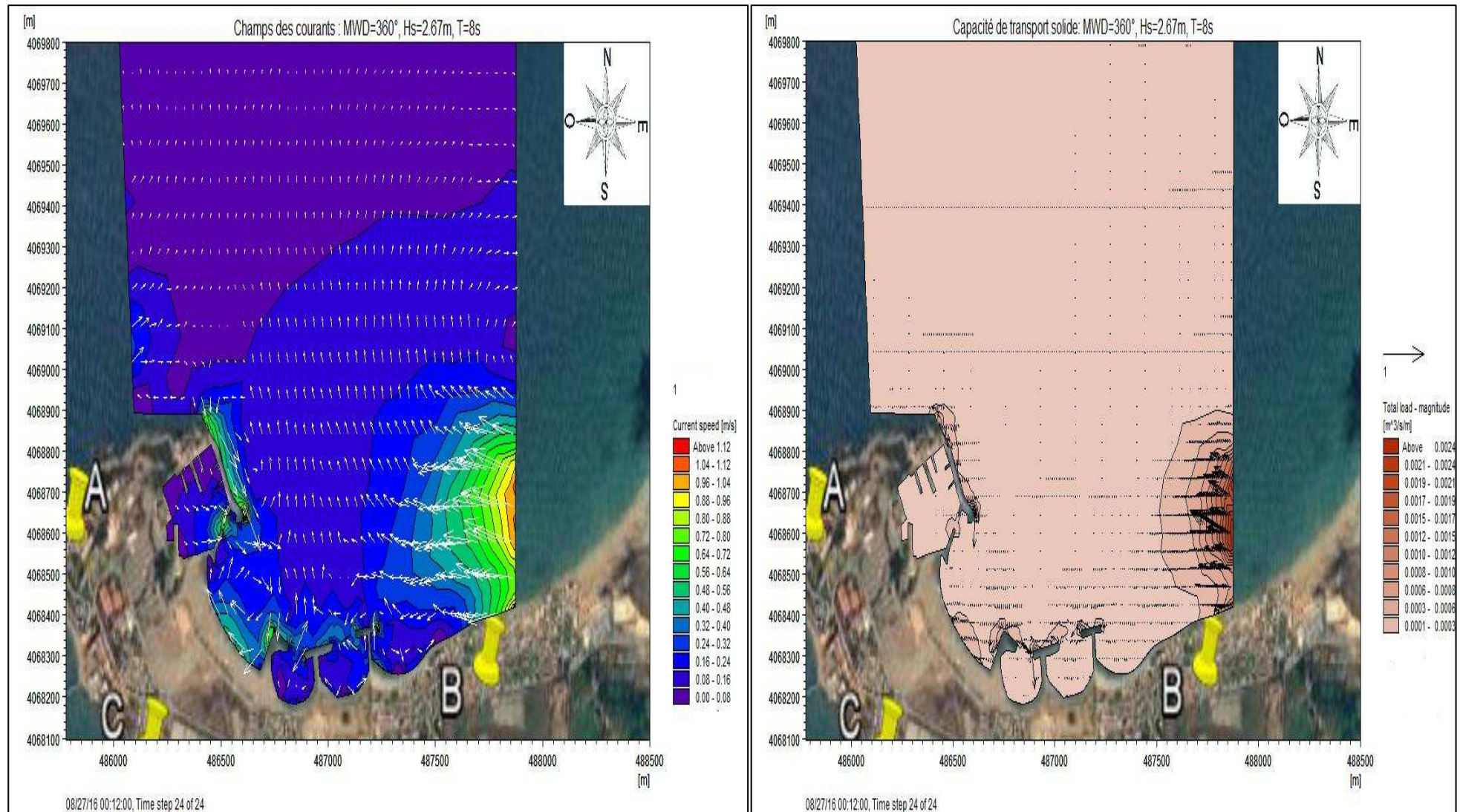


Figure 6.8 : champs des courants et capacité de transport solide sur la plage de SIDI Fredj pour : MWD= 360°, Hs=2.67m, T=8s.

- **Champs des courant et capacité de transport solide pour un MDW=315° :**

Commentaire 1 :

Pour les champs des courants, on constate au niveau de la plage et du port une circulation identique à celle constatée précédemment, sauf que le gradient de vitesse est assez faible par rapport aux champs des courants pour la direction Nord (360°), et qui varie entre **0.32 m/s et 0.7 m/s**. Par contre au niveau des ouvrages de protection on relève une circulation tourbillonnaire très intense, avec des vitesses allant jusqu'à **0.6 m/s**, ce qui est en accord avec la propagation de la houle (SW) de direction Nord-Ouest qui sont orientées à l'est, évitant ainsi une partie de la plage adjacente au port et le port qui se trouvent dans une zone abritée.

Lorsqu'on se déplace vers l'Est, ce gradient devient de plus en plus important, à peu près d'environ **0.72 m/s**, à cause que cette partie du rivage est exposée frontalement à l'action de la houle de direction Nord-Ouest.

Le reste de la zone et au-dessus de ces ouvrages, les champs de courant se manifestent avec un gradient de vitesse relativement faible d'environ de **0.08 m/s à 0.16 m/s**.

Commentaire 2 :

Le transit sédimentaire dans la zone d'étude reflète l'activité hydrodynamique observée dans les champs des courants. Ce qui nous amène à conclure que la capacité de transport est assez faible, au niveau de la plage Est et du port, avec une capacité de transport d'environ **3153.6 m³/an/m**, à condition, bien sûr, que les quantités de sable suffisantes soient disponibles.

Cette capacité augmente progressivement au niveau des ouvrages et surtout dans la partie Est exposée qui sont représentées par des couleurs un peu foncées sur la carte, traduisant une capacité de transport arrive à **6307.2 m³/an/m**, presque le double de la zone abritée.

Alors que pour le reste de la zone, on ne marque pas des transitions important, qui sont généralement entre **300 m³/an/m** et **315.36 m³/an/m**.

Modélisation hydrodynamique 1

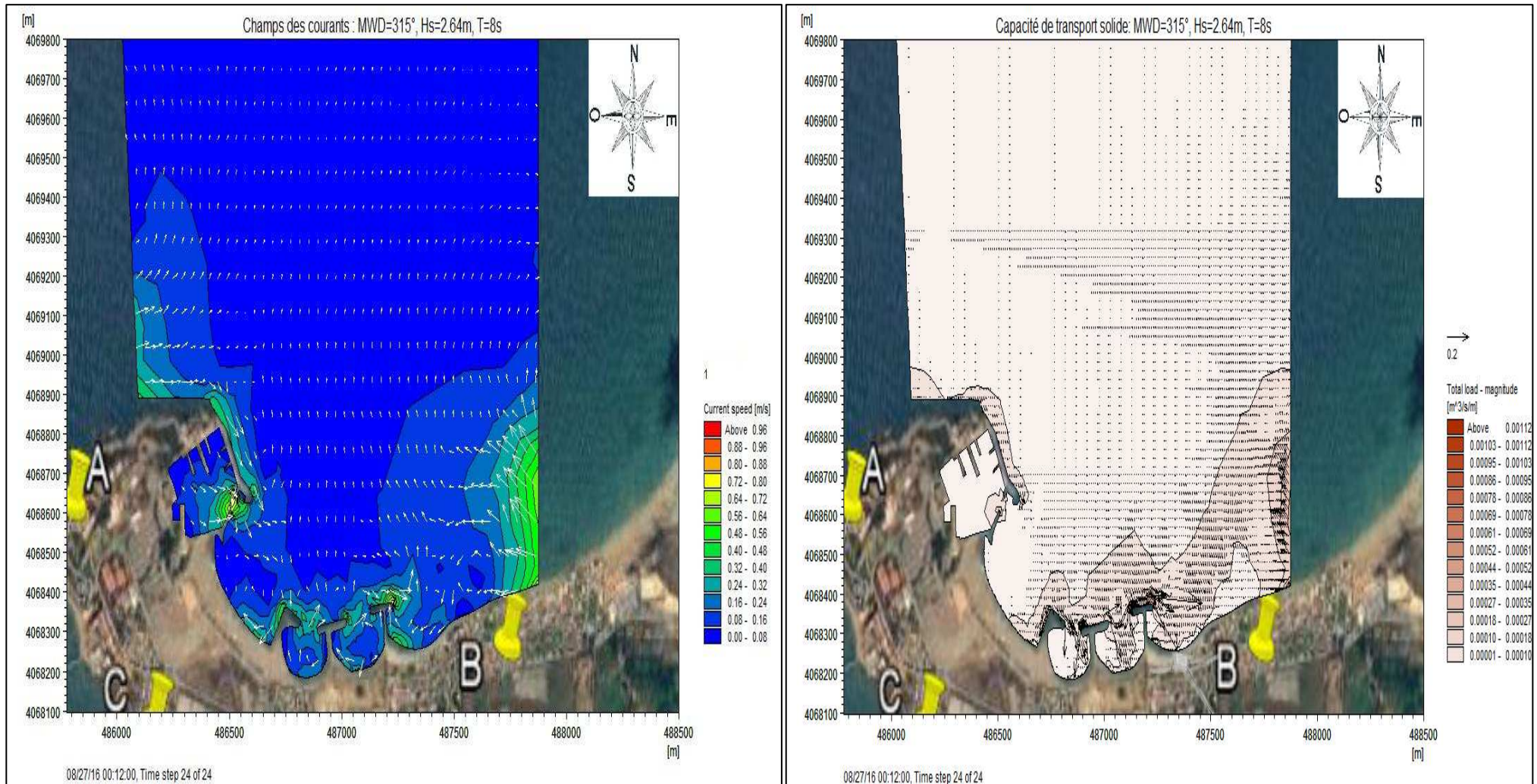


Figure 6.9 : Champs des courant et capacité de transport solide sur la plage de SIDI Fredj pour: MWD= 315°, Hs=2.64m, T=8s.

- **Champs des courants et capacité de transport solide pour un MDW=270° :**

Commentaire 1 :

Pour les champs des courants, on constate au niveau de la plage et du port une circulation caractérisée par des faibles courants, autrement dit le gradient de vitesse est assez faible qui est environ de **0.08 m/s** avec une direction vers le Sud- Est surtout au niveau de la plage Est qui se trouve dans une zone abritée.

Par contre au niveau de la passe d'entrée du port, on relève un courant littoral avec un gradient un peu élevée allant jusqu'à **0.8 m/s** orienté vers les ouvrages, et cela pourrait être due au phénomène de diffraction au niveau du musoir de la jetée.

Au niveau de la zone qui se situe au-dessus des ouvrages, couvrant aussi la plage de Moretti est caractérisée par des vitesses moyennes varient entre **0.18 m/s** et **0.24 m/s** et des vecteurs orientés vers l'Est.

Commentaire 2 :

Le transit sédimentaire dans la zone d'étude reflète l'activité hydrodynamique observée dans les champs des courants. On observe qu'il n'y a aucune couleur foncée qui caractérise une capacité de transport considérable, surtout au niveau de la plage Est qui est relativement abrité, ce qui nous amène à conclure que la capacité de transport est négligeable.

Tandis que la zone au-dessus les deux épis en forme T jusqu'à l'extrémité Est ou on trouve la plage Moretti est caractérisé par une capacité de transport solide arrive à **630.72 m³/an/m**, avec une direction Ouest.

Pour le reste de la zone, on ne marque pas des transitions remarquables, donc on peut dire que cette zone est un peu calme, en termes de transitions sédimentaires.

Modélisation hydrodynamique 1

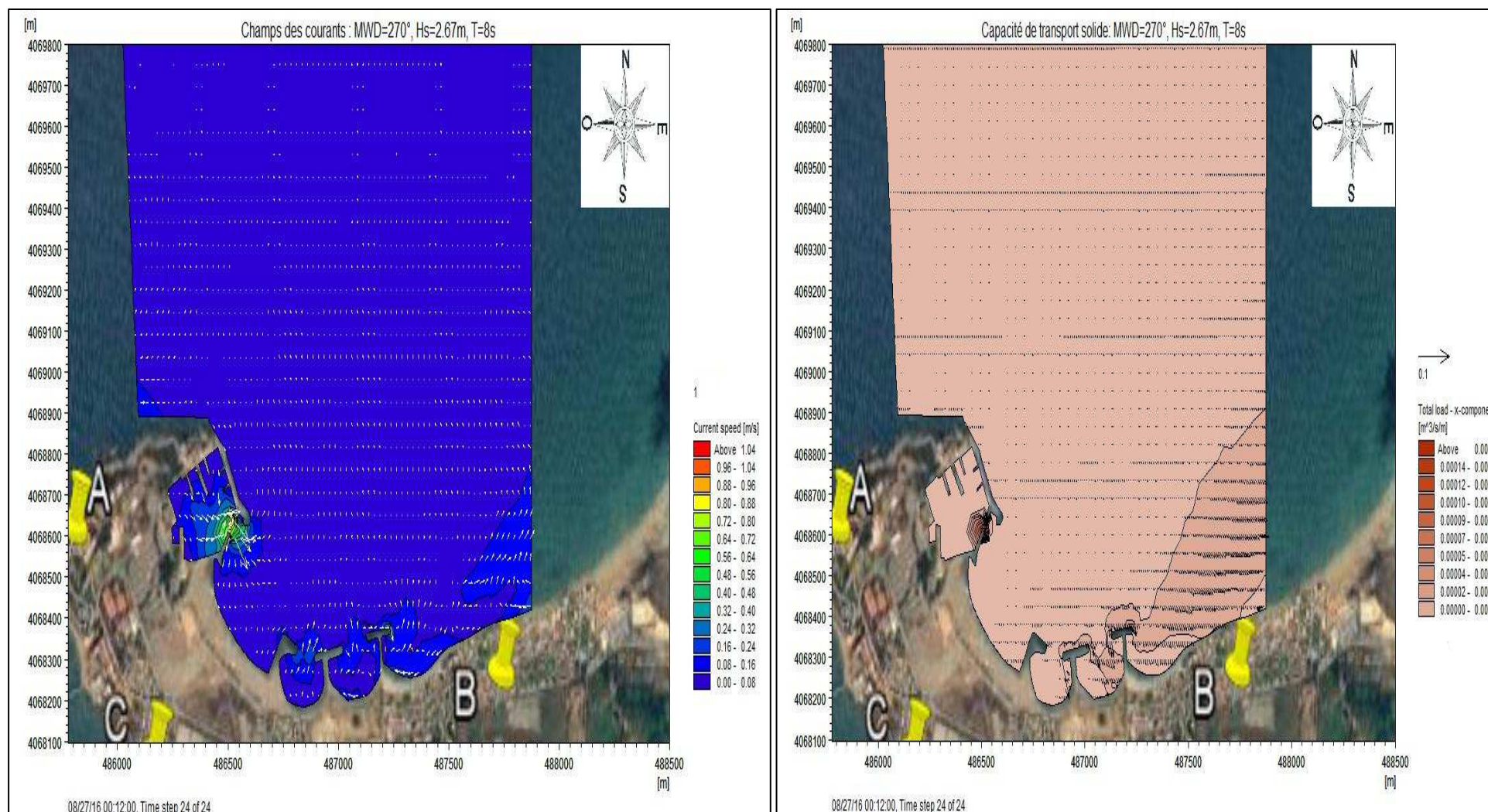


Figure 6.10 : Champs des courants et capacité du transport solide sur la plage de SIDI Fredj pour: MWD= 315°, Hs=2.64m, T=8s.

1. Les modèles numériques hydrodynamiques :

Les modèles numériques hydrodynamiques est un ensemble d'équations, qui décrivent le comportement de l'élément liquide, et des substances en solution ou en suspension qui forme un système aujourd'hui insoluble dans le cas général. Pour utiliser ce système, on devra effectuer un certain nombre de simplifications relatives à la géométrie du bassin, et à la forme des côtes, ou bien des hypothèses qui concernent les lois physiques et se traduiront dans l'expression même des équations. Moyennant un nombre de simplifications et d'hypothèses assez considérable, on pourra effectuer une résolution analytique, mais l'intérêt présenté par cette solution s'en trouvera fortement limité. (Salomon.J, et al. 1981).

2. Choix des modèles :

Une première étape dans notre étude a consisté à choisir le modèle de vague qui peut donner un résultat de simulation proche à la réalité dans les conditions de cette étude.

L'usage voulait que les modèles WAM ou WW3 soient utilisées à l'échelle globale et régionale, et que SWAN soit utilisé pour les grilles littorales.

Le modèle WW3 est alors implémenté sur toute la façade de la côte algérienne. Il génère un forçage à une première grille SWAN, une seconde imbrication vers des échelles plus côtières est alors réalisée avec une grille SWAN localisée sur une région fait partie de la baie d'El Djamila avec une résolution spatiale petite.

2.1. Description du modèle (WaveWatch III) :

Il est un modèle d'onde de troisième génération développé à NOAA / NCEP dans l'esprit du modèle WAM. Il résout la phase spectrale équation d'équilibre de densité d'action aléatoire pour les spectres wavenumber-direction. L'hypothèse implicite de cette équation est que les propriétés de milieu (profondeur de l'eau et du courant), ainsi que le champ d'ondes se varient sur des échelles de temps et d'espace qui sont beaucoup plus grandes que les échelles de variation d'une seule vague. Avec la version 3.14 des options à long terme de source pour (zone de surf) d'eau extrêmement peu profonde ont été inclus, ainsi que le mouillage et le séchage des points de la grille. Alors que la physique surf-zone mises en œuvre jusqu'à présent est encore assez rudimentaires, cela implique que le modèle d'onde peut maintenant être appliqué à l'eau peu profonde arbitraire (Noaa, 2016).

2.1.1. Caractéristiques du modèle

2.1.1.1. Caractéristiques physiques:

- Les équations de WaveWatch III TM comprennent la réfraction et de forcer le champ d'ondes en raison de variations temporelles et spatiales de la profondeur moyenne de l'eau et du courant moyen (marées, surtensions, etc.), le cas échéant.
- Paramétrages des processus physiques (termes sources) comprennent la croissance des vagues et la pourriture due à l'action du vent, les interactions de résonance non linéaire, la dissipation (`whitecapping `), le frottement de fond, (la rupture induite par la profondeur) surf-rupture et la diffusion due aux interactions de la vague.

- La propagation des ondes est considérée comme linéaire. effets non linéaires pertinents tels que les interactions de résonance sont donc inclus dans les termes sources (physique).
- Le modèle comprend dynamiquement mis à jour la couverture de glace (Noaa, 2016).

2.1.1.2. Caractéristiques numériques:

- Le modèle utilise une grille de longitude, latitude régulièrement espacées (longitude et latitude incrément ne doivent pas nécessairement être égales) et, éventuellement, une grille cartésienne.
- Le modèle est mis en place pour la nidification d'une manière traditionnelle, où les réseaux de modèle sont gérés comme des modèles séparés consécutivement, en commençant par les modèles avec la résolution spatiale la plus faible.

2.1.1.3. Options de sortie:

- Les paramètres moyennes d'ondes telles que la hauteur significative des vagues, des directions, des fréquences etc.
- Sortie de spectres d'ondes à des emplacements choisis.
- Sortie de spectres d'ondes le long des voies arbitraires (Noaa, 2016).

2.2. Description du modèle d'onde (SWAN) :

SWAN est le modèle le plus largement utilisé d'ordinateur pour calculer des vagues irrégulières dans les environnements côtiers, en fonction des conditions profondes d'onde de l'eau, le vent, la topographie du fond, les courants et les marées (eau profonde et peu profonde). SWAN prend explicitement en compte tous les processus pertinents de la propagation, la production par le vent, les interactions entre les vagues et la décomposition par rupture et frottement sur le fond. Diffraction est incluse d'une manière approximative dans SWAN. SWAN peut fonctionner en mode stationnaire ou transitoire. Il est formulé en coordonnées cartésiennes (domaines de faible emprise) ou sphériques (pour les petites et grandes échelles), le maillage pouvant être rectangulaire ou curviligne (Tamsie, 2016).

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial c_x N}{\partial x} + \frac{\partial c_y N}{\partial y} + \frac{\partial c_\sigma N}{\partial \sigma} + \frac{\partial c_\theta N}{\partial \theta} = \frac{S}{\sigma}$$

Avec: $S = S_{in} + S_{nl} + S_{wc} + S_{bf} + S_{dib}$

- $N(\sigma\theta)$: Spectre de densité de l'action de la houle
- σ : Fréquence relative
- θ : Direction de propagation
- S_{in} : Action du vent
- S_{nl} : Interaction houle-houle non linéaire
- S_{wc} : Dissipation liée au moutonnement
- S_{bf} : Dissipation liée au frottement au fond
- S_{dib} : Dissipation liée au déferlement bathymétrique

- **S** : Termes source (3 parties : interaction vent/vague, interaction houle/houle non-linéaire, dissipation ou « whitecapping »).

Cx et Cy correspondent aux vitesses de propagation de la houle.

Il couvre le spectre de houle complet en termes de fréquences et de direction (0°-360°), ce qui signifie que des champs de vagues se propageant dans différentes directions simultanément (ainsi que leurs interactions) peuvent être modélisés. Son intérêt par rapport aux modèles globaux tels que WW3 est sa précision sur des maillages allant jusqu'à 20 x 20 m, mais surtout sur des régions de très faible profondeur, jusqu'à la zone de déferlement (**Tamsie, 2016**).

2.2.1. Principe :

Connaissant la climatologie au large, il est possible 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 par l'équation suivante qui est déjà mentionnée :

$$K_r = \frac{H_s \text{ local}}{H_s \text{ large} * K_s}$$

Les calculs de la réfraction de la houle entre le large et la côte ont été effectués par le modèle mathématique SWAN pour différentes conditions de houle au large (hauteur, période et direction). Le logiciel est modéliser la propagation de la houle en prenant notamment en compte les phénomènes de :

- réfraction, sur les fonds et autour des ouvrages,
- déferlement, et est donc parfaitement adopté à la problématique du littoral Ouest algérien. Le coefficient de réfraction est calculé par Swan.

Les résultats sont alors exploités sous forme :

- Des épures de réfraction qui montrent qualitativement comment hauteur de houle et direction changent au cours de la propagation de la houle (**Tamsie, 2016**).

2.2.2. Données d'entrées :

- Dans cette étude on a utilisé les résultats de la simulation de la houle au large à une échelle régionale par le modèle WW3, concernant le mois d'Avril 2016 forcé par un modèle atmosphérique du vent arome basé sur la composante horizontale et verticale qui tourne en opérationnelle à l'ONM, pour donner les paramètres spectrale de la houle au bord du domaine de calcul au modèle SWAN et passer vers une sous grille à une échelle locale.
- Les sorties du modèle WW3 pour chaque 06 heures représentent les paramètres moyennes de la houle comme Hs, Tp et la direction à un point considérée sur le bord Nord de cette grille qui vont être utilisés par la suite comme des données input pour le modèle SWAN, ensuite on va passer à l'intégration du modèle SWAN.
- Des données bathymétriques.

3. Implémentation spatiale :

Le domaine grande emprise du modèle de vague WW3 s'étend sur toute la côte Algérienne, afin de simuler correctement les houles formées loin de notre zone d'étude, mais susceptibles de se propager dans la baie d'El Djamila. Sa résolution est $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ avec un pas de temps de 6h, autrement dit quatre simulations par jour. La bathymétrie utilisée pour les différents domaines est issue de la bathymétrie Gebco effectuée par des observations satellitales.

Le domaine de petite emprise représentant la partie Ouest de la baie d'El Djamila. Ce domaine étant situé dans la zone pré-littorale, avec des profondeurs supérieures à -50 m, il s'agit de la zone d'action des vagues. Elle commence dès que les vagues sont significativement modifiées par le fond. Et puisque y a pas beaucoup de variabilité concernant la densité d'énergie spectrale de la houle sur tout le segment Nord du domaine et aussi à l'échelle de la région et ça a été vérifié à partir plusieurs points dans la baie d'El Djamila, on a pris le point considéré avec les coordonnées cartésiennes suivantes : $X=487000$ m ; $Y=4072300$ m comme limite pour la grille du SWAN, et à l'aide de la simulation du WW3, on a fait ressortir les paramètres de la houle (H_s , T_p et direction) pour l'intégrer dans le modèle SWAN.

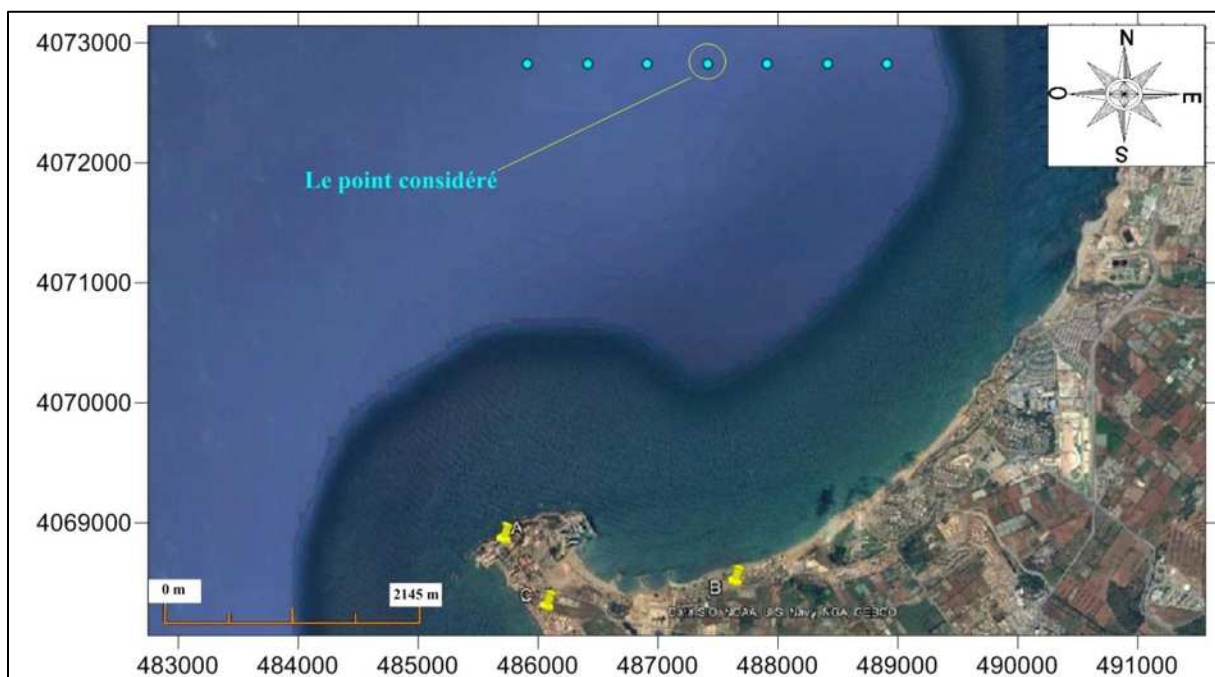


Figure 6.11 : les bords du domaine de calcul pour le modèle SWAN.

3.1. Couplage multi-grille (one way):

On s'intéresse à un couplage entre deux modèles de résolution spatiales différentes. Ce couplage est unidirectionnelle ce qui signifie que la simulation ne s'effectue pas au même temps, et l'échange des paramètres est aussi unidirectionnelle.

3.2. Méthode de travail :


3.2.1 Etape 1 :

Acquisition de la bathymétrie en fichier Excel comprenant les coordonnées métriques ainsi que la profondeur, puis on va créer la grille de la bathymétrie sur surfer

3.2.2 Etape 2 :

Exporter la bathymétrie à partir de la grille vers le format .DAT, puis on va extraire la colonne Z du fichier.DAT par Excel en faisant attention à ce que la bathymétrie soit en positif et la topographie en négatif et la réenregistrer en format .txt.

3.2.3. Etape 3 :



Remplir les fichiers de commande Swan pour chaque direction et pour chaque période annuelle et à partir de l'invite des commandes, on va exécuter le fichier test1 qui contient tous les paramètres caractéristiques de la grille de calcul et aussi les paramètres d'entrés pour forcer le modèle Swan aux bords des domaines (la hauteur significative, période de pic et la direction et les paramètres de sorties calculés au sein du domaine qu'on veut la représenter sur Surfer (Hsig, Dir)  cd lien du dossier contenant le fichier commande

 swanrun fichier de commande.

3.2.4. Etape 4 :

Ouvrir le fichier de sortie crée pour chaque fichier de commande, et l'importer vers l'Excel pour créer la grille pour Hs et pour la direction sur Surfer.

3.2.5. Etape 5 :

Aller sur toolbar options  on sélectionne new contour mapper pour représenter Hs  add «2-Grid vector layer » pour représenter la direction.

Pour la mise en forme on va vers property pour afficher une carte finale de SWAN.

4. Résultats des modèles de vagues

4.1. Scénario mensuel

4.1.1. Le modèle Wavewatch 3 :

Voici quelques cartes de la simulation du modèle ww3 de toute la côte Algérienne, forcé par un modèle atmosphérique du vent (Arome) qui tourne en opérationnelle dans l'ONM, pour le mois d'Avril 2016 par un pas de temps de 6 heures, et on a obtenue à partir de cette opération

- 117 cartes pour le WW3 concernant tous le mois d'Avril avec une moyenne de 4 cartes par jour.
- Une série de simulation (output de WW3) pour SWAN, représentée par les paramètres moyenne de la houle Hs, Tp et la direction concernant aussi tous le mois d'Avril dans le tableau suivant :

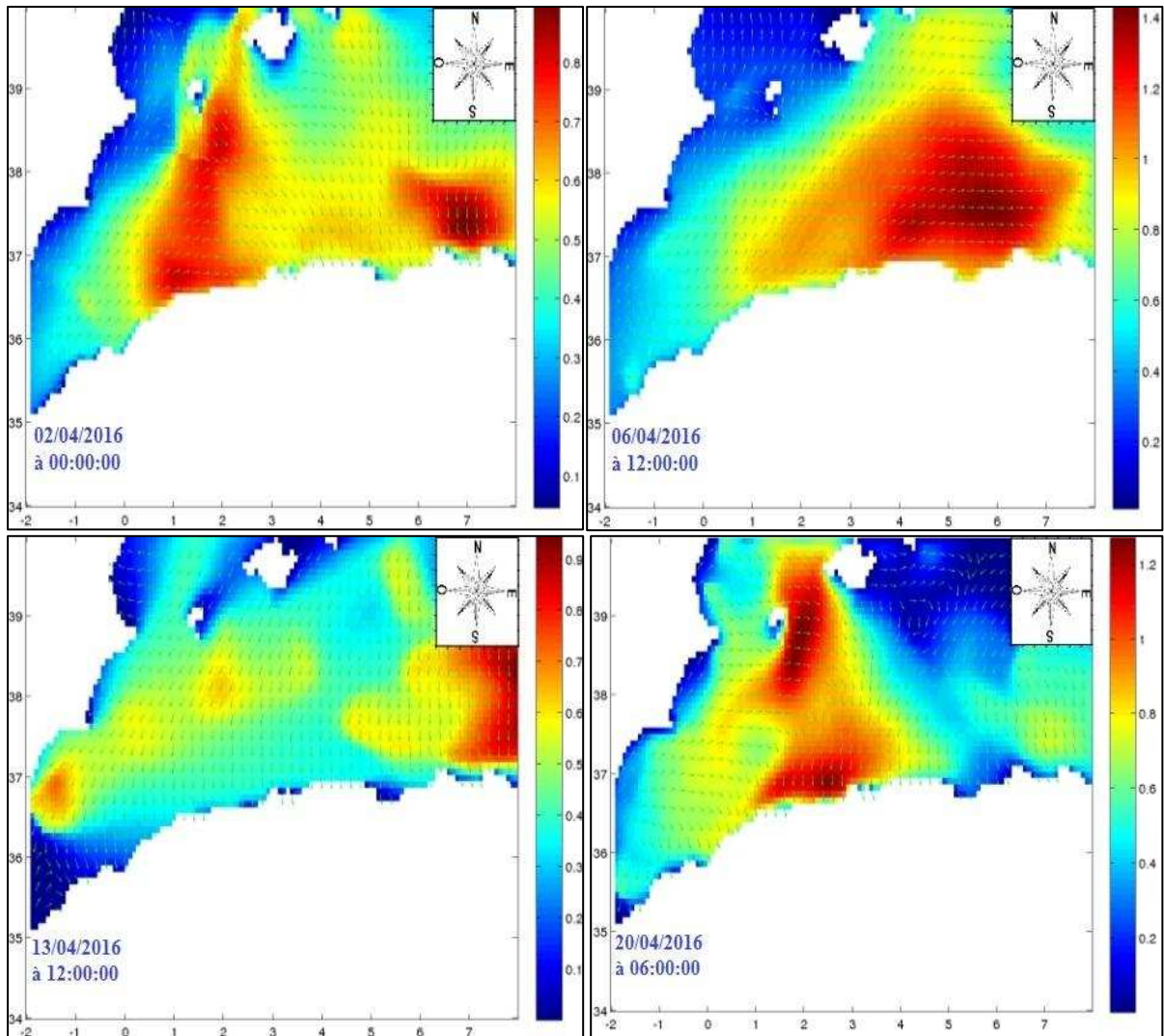


Figure 6.12 : Champs de houles pour différentes périodes du mois d’Avril pour toute la côte algérienne du modèle WW3.

Tableau 6.6 : les paramètres de sortie du WW3 qui vont être intégrés dans les bords du domaine de SWAN.

Date	Time			Hs (m)	Tp s	Dir (d,N)
	heure	minute	seconde			
02/04/2016	0	0	0	0,8	5,04	314,4
06/04/2016	12	0	0	0,558	5,77	347,1
13/04/2016	12	0	0	0,32	5,65	275
20/04/2016	6	0	0	1,137	6,81	41

Commentaire :

D’après les représentations, on observe que l’énergie spectrale de la houle est très faible en ce qui concerne les hauteurs significatives et les périodes de pic, et cela pourrait être due après une confirmation sur les archives de l’office national de la météorologie que le mois d’Avril de l’année 2016 a connu une période climatique relativement calme ce qui signifie à son tour que l’état de la mer était un peu agitée autrement dit calme.

4.1.2. Le modèle SWAN:

A partir de la série de simulation, on a opté le tableau précédent en se basant sur les directions fréquentes avec leurs hauteurs pendant ce mois pour l'intégrer dans le modèle SWAN, et après une exécution sur l'invite des commandes, on a obtenu un fichier texte qui décrit l'évolution des paramètres depuis les limites du domaine jusqu'à la zone côtière, et on les a traduit sous forme des cartes à l'aide du logiciel surfer, les cartes sont les suivantes :

- Réfraction des houles de direction Nord-Ouest au large (314.4°) :

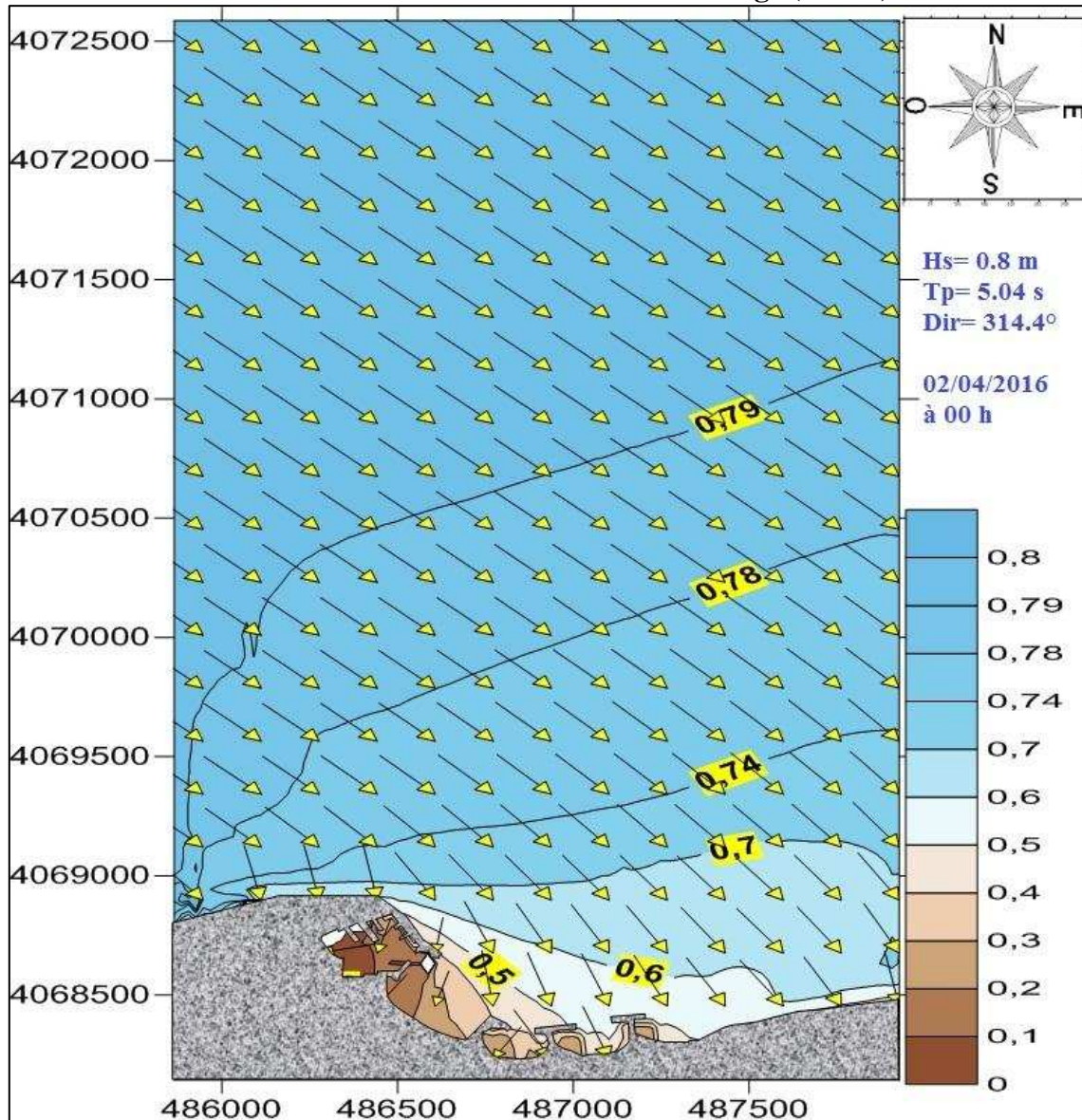


Figure 6.13 : Champs de houles ($Dir=314.4^\circ$) sur la plage Est de Sidi Fredj.

Commentaire :

Cette figure représente les résultats obtenus de l'étude de la réfraction de la houle de $314.4^\circ N$ et cela pour une période de 5.08 s. Au large, ces houles de direction Nord (314.4°) ne subissent aucune modification, mais au fur et à mesure, lorsque la houle commence à ressentir

le fond, la hauteur de la houle diminue considérablement. A environ de -30m de profondeur, on observe que la hauteur est environ de 0.79 m, sans aucun pivotement des orthogonales. A l'approche de la côte jusqu'à -1m de profondeur, on observe que les hauteurs de la houle ne subissent pas une grande diminution surtout dans les zone qui ne sont pas abritées comme la plage Moretti, à ce niveau la houle présente des hauteurs qui atteignent les 0.5 m avec des coefficients de réfraction entre 0.4 et 0.5, et cela pourrait créer des déséquilibres en ce qui concerne le transit sédimentaire sur cette plage.

Par contre au niveau de la plage Est de SIDI Fredj, les ouvrages de protection et la zone abritée du port, une diminution remarquable des hauteurs qui varient entre 0.2 m et 0.3 m avec des coefficients de réfraction relativement faible entre 0.2 à 0.3 et cela signifie que la houle perd une grande partie de son énergie presque trois quarts 3/4 lors de son évolution vers la côte. Cette dissipation d'énergie est accompagnée par un pivotement considérable des orthogonales vers le Nord surtout au niveau de la plage Est de SIDI Fredj.

• Réfraction des houles de direction presque Nord au large (347.1°) :

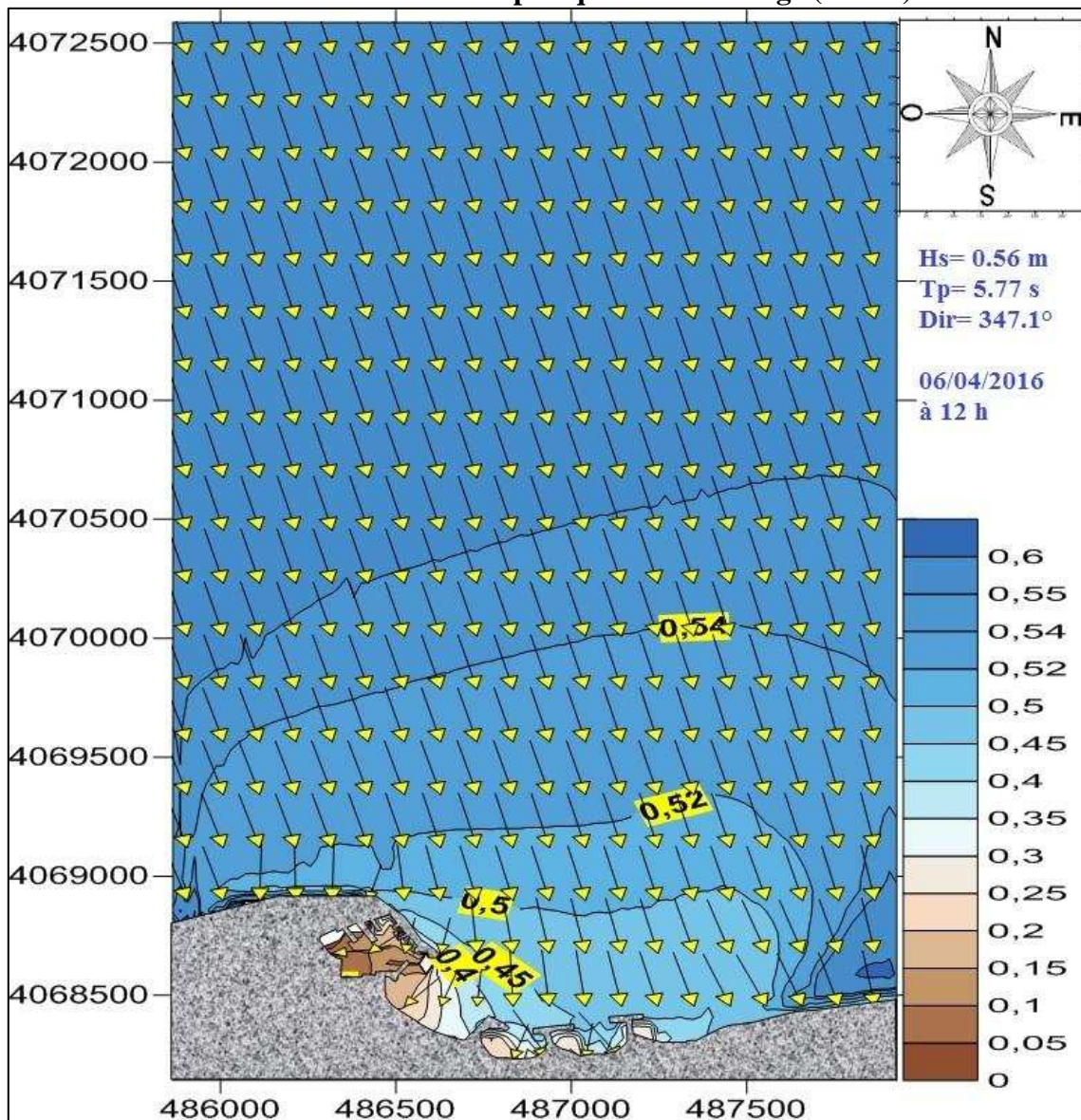


Figure 6.14 : Champs de houles (Dir=347.1°) sur la plage Est de Sidi Fredj.

Commentaire :

Cette figure représente les résultats obtenus de l'étude de la réfraction de la houle de 347.1°N et cela pour une période de 5.77 s. Au large, ces houles de direction Nord (347.1°) ne subissent aucune modification, mais au fur et à mesure, lorsque la houle commence à ressentir le fond, la hauteur de la houle diminue considérablement.

A environ de -30m de profondeur, on observe que la hauteur est environ de 0.55 m et à -20m la hauteur est presque de 0.54 m, marquant qu'il n'y a aucun pivotement des orthogonales.

A l'approche de la côte jusqu'à -1m de profondeur, on observe que les hauteurs de la houle ne subissent pas une grande diminution surtout dans les zone qui ne sont pas abritées comme la plage Moretti, ou la houle présente une direction quasi frontale et atteint à la plage avec une énergie considérable et cela pourrait avoir une influence sur cette plage.

Par contre au niveau de la plage Est de SIDI Fredj, les ouvrages de protection et la zone abritée du port, une diminution remarquable des hauteurs jusqu'à 0.1 m avec des coefficients de réfraction relativement faible entre 0.3 à 0.35 et cela signifie que la houle perd une grande partie de son énergie presque trois quarts $2/3$ lors de son évolution vers la côte. Cette dissipation d'énergie est accompagnée par un pivotement des orthogonales vers le Nord Est avec un faible degré surtout au niveau de la plage Est de SIDI Fredj.

- **Réfraction des houles de direction presque Ouest au large (275°) :**

Commentaire :

Cette figure représente les résultats obtenus de l'étude de la réfraction de la houle de 275°N et cela pour une période 5.65 s. Au large, ces houles de direction Ouest (275°) ne subissent aucune modification, mais à partir d'environ -30 m de profondeur, on observe un pivotement des orthogonales qui devient de plus en plus important lorsque on se rapproche vers la côte .

Pour cette direction Ouest, on voit que la hauteur de houle est très faible presque qui initie par une valeur de 0.32 m et subie une diminution relativement brutale lorsque la houle rencontre des obstacles, surtout la jetée principale du port qui protège plus normalement la zone à l'intérieur du port, la plage Est jusqu'au niveau des ouvrages de protection, ou on observe des valeurs presque atteignent le 0.1 m avec un pivotement remarquable des orthogonales presque sur toute la zone et au niveau du musoir ou les phénomènes de diffraction se manifestent ce qui signifie que la houle perd une très grande partie de son énergie, ce qui en accord avec la réalité et les très faibles coefficients de réfraction sauf pour la zone loin des ouvrages (plage Moretti), ou la houle a une direction presque frontale et présente un degré moyen de diminution qui pourrait avoir une influence concernant le transit sédimentaire au niveau de la plage.

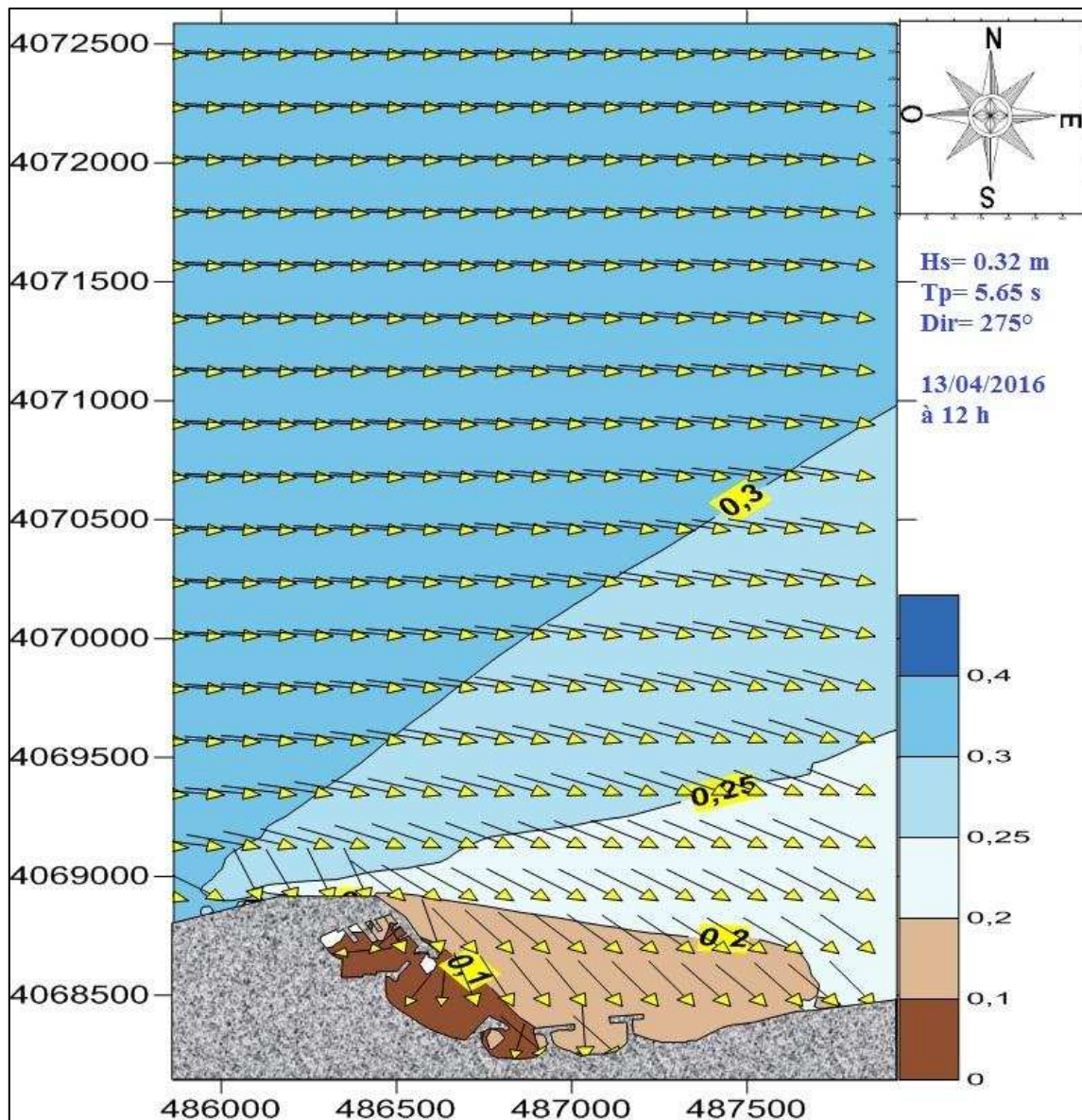


Figure 6.15 : Champs de houles (Dir=275°) sur la plage Est de Sidi Fredj.

- Réfraction des houles de direction presque Nord-Est au large (41°) :

Commentaire :

Cette figure représente les résultats obtenus de l'étude de la réfraction de la houle de 41°N et cela pour une période de 5.04 s. Au large, ces houles de direction presque Nord –Est (41°) ne subissent aucune modification et présentent des valeurs faibles, mais au fur et à mesure, lorsque la houle commence à ressentir le fond, la hauteur de la houle diminue considérablement.

Dans un premier temps, on constate que la hauteur de la houle varie sur une faible gamme entre 1.13 m et 0.1 m à la côte, jusqu'à environ de -10 m de profondeur, la hauteur de la houle connaît une très légère diminution environ de 0.02 m ($H=1.1\text{m}$), et presque à -1 m, on note une diminution remarquable d'environ de 0.6 m avec des coefficients de réfraction varient entre 0.35 et 0.45 et aussi un pivotement moyen des orthogonales, et cela signifie que la houle garde une partie de son énergie pendant son évolution depuis le large vers la côte, ce qui en

accord relativement avec les résultats du MIKE21, concernant les coefficients de réfraction et le ration de l'énergie dissipée de la houle.

Au niveau des ouvrages de protection et à l'intérieur du port, on marque des hauteurs significatives très faibles variant entre 0.1 m et 0.2 m, à cause que ces zones sont spatialement abrités.

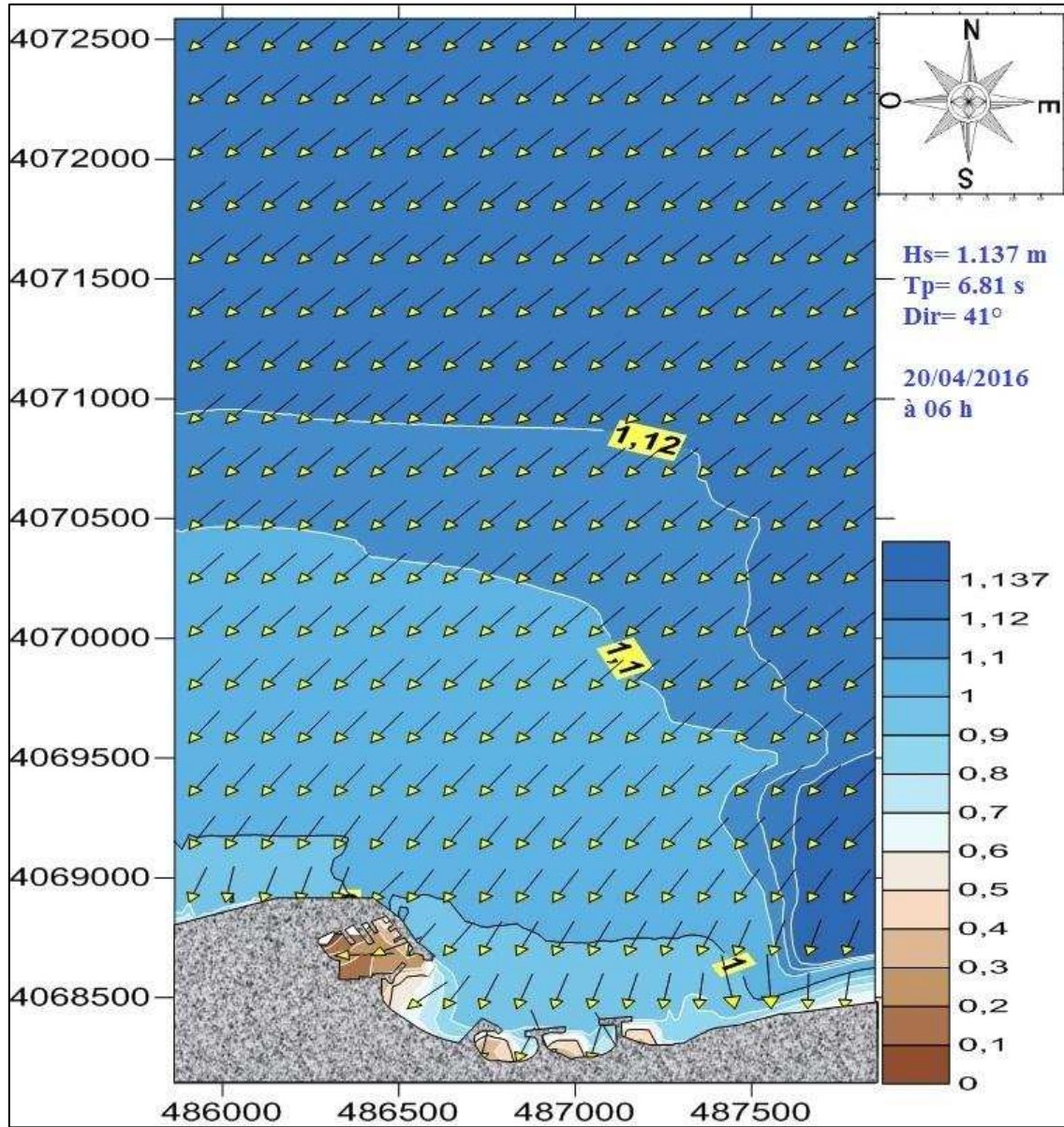
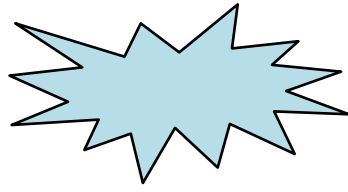


Figure 6.16 : Champs de houles ($Dir=41^\circ$) sur la plage Est de Sidi Fredj.



*Impact des
infrastructures
et propositions
des solutions*

1. Introduction :

Les littoraux sont des milieux en constante évolution. C'est pourquoi, les concernant, il est préférable d'utiliser la notion « d'équilibre » plutôt que de « stabilité ».

L'érosion côtière est perçue depuis quelques années comme le recul accéléré des côtes, en grande partie dû aux changements climatiques récents. Toutefois, plusieurs témoignages et des photos historiques nous rappellent que le recul des côtes ne date pas des récentes années. Les environnements terrestre et marin sont en constante évolution et les côtes qui sont une zone d'interface, s'adaptent constamment à ces modifications de façon à établir un équilibre. Outre ces différents éléments naturels, l'intervention de l'homme joue un rôle essentiel dans l'évolution du littoral. L'implantation d'équipements en front de mer ou des modifications du couvert végétal perturbent la dynamique côtière et contribuent souvent à aggraver les phénomènes d'érosion (**Degryse, 2003**).

Vu que de ces interventions, la préservation du trait de côte est devenue un enjeu essentiel. Il faut pour cela avoir une meilleure compréhension des processus d'érosion.

La solution est de construire des ouvrages de défense contre la mer (mur, épis...). Mais cette solution d'aménagements « lourds » a parfois conduit à des effets contraires à ceux attendus : les ouvrages stoppent l'érosion à cet endroit mais l'accroissent à proximité. Aujourd'hui des solutions alternatives « souples » parfois dites « douces », peuvent selon les cas être préconisées afin d'éviter les effets pervers des ouvrages de défense. L'idée générale n'est plus de se « défendre » ou d'aller « contre » la mer mais d'accompagner et d'aller « avec » la mer et les processus littoraux.

2. Problématique et enjeux de la zone :

La plage Est de Sidi-Fredj a été considérée en équilibre 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 (**AINI, 2012**).

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 Béni Messous (**AINI, 2012**).

3. Travaux maritimes

3.1. La construction du port:

3.1.1. Historique du port de SIDI Fredj :

Le port de Sidi Fredj est une mine d'or et une histoire de tout le peuple Algérien, c'est le premier port de plaisance en Algérie, il a été implanté en 1969 par l'architecte français Fernand Pouillon, a été inauguré en 1971 (HMI, 2016).

3.1.2. Dimensionnement du port :

Le port de Sidi Fredj est réalisé entre deux jetées de type à talus faibles, protégées côté mer à une profondeur de 1.5m par des blocs d'enrochement naturel :

- Une jetée nord principale avec une longueur de 200 m se termine par un musoir servant de barrière de protection contre la houle.
- Une jetée secondaire avec une longueur de 190 m sublimant la plage Est.

Ainsi qu'il est composé d'un quai et de dix appontements jouent un rôle d'une passerelle pour assurer une occupation équilibrée du plan d'eau suivant le nombre d'embarcations et le tirant de l'eau (HMI, 2016).

Tableau 7.1 : les caractéristiques du port de Sidi Fredj.

Ouvrages de protection	Longueur (m)
Jetée principale Nord	200
Petit jetée Sud	190
Total	390
Ouvrages d'accostage	Longueur (m)
Quais	495
5 Appontements en Béton	340
5 Appontements Flottants	110
Total	945
Passe d'entrée	50
Terre-plein	Surface (ha)
	5.00
Plan d'eau	2.00

3.1.3. Impact de la construction du port :

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 arrêté 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 600 m environ sur 50 m à 200 m de largeur (Aini, 2012).

4. Techniques et solutions dures de protection du littoral

4.1. Méthodes dures déjà mises en œuvre :

4.1.1. La construction des ouvrages de protection :

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 épi 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 6.1), 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).

Tableau 7.2 : les dimensions des ouvrages de protection.

La longueur du premier épi en T	290 m
La longueur du deuxième épi en T	280 m
La longueur de l'épi en T	200 m
L'espace entre les épis	100 m
La distance par rapport à la côte	150 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 2 m, (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 escomptés et l'érosion du trait de côte au milieu des alvéoles persiste toujours. L'épi crée une accumulation de sable du côté exposé au courant et une érosion du côté 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.

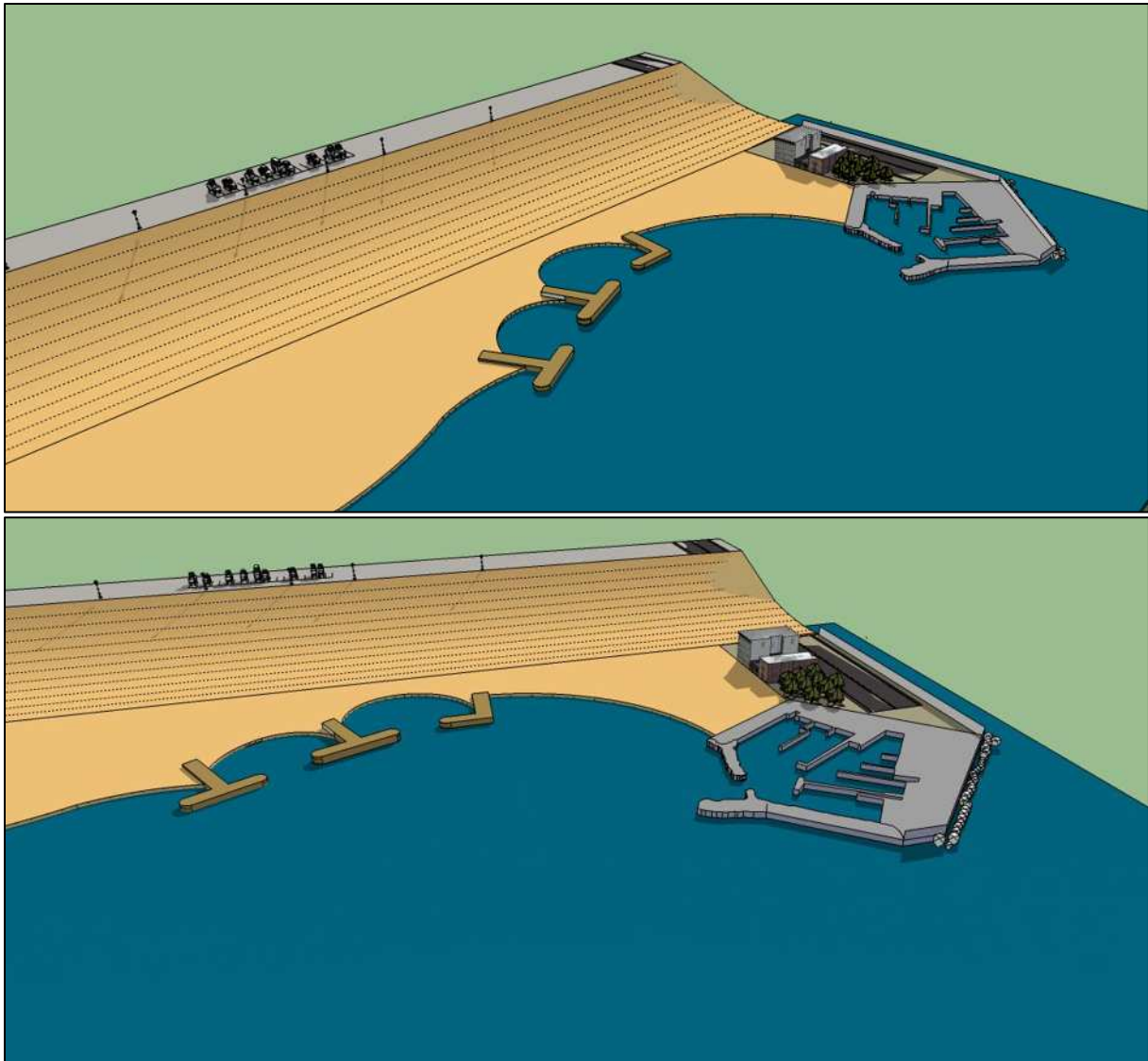


Figure 7.1 : Plan des dimensions des différents ouvrages dans la zone de SIDI Fredj fait par le logiciel Skeytchup.

4.2. Méthode et solutions envisageables

4.2.1. Stabilisateurs des fonds :

C'est une solution envisageable pour la reconstitution du profil de plage. Il permet d'augmenter significativement la rugosité du fond et de stabiliser les fonds. Il est nécessaire d'avoir une analyse sur le choix des matériaux, sur la zone d'implantation, sur le mode de fixation pour obtenir une meilleure efficacité (Than, 2015). Mais il faut intégrer ici aussi la protection de l'écosystème, principalement s'il y a des champs de posidonies.

5. Techniques et solutions souples de protection du littoral

Dans tous les cas, une bonne gestion du littoral, passe par une bonne connaissance du fonctionnement naturel de la zone (phénomènes naturels extrêmes passés, morphodynamique du littoral, écosystèmes) combinée à l'appréciation des enjeux (sociaux, économiques, préservation de l'environnement). Ces méthodes souples consistent à composer avec le milieu naturel.

5.1. Méthodes souples déjà mises en œuvre :

5.1.1. Le rechargement de plage :

Il a pour objectif de compenser le déséquilibre du littoral résultant d'une érosion naturelle ou d'une action humaine. Sa finalité peut être touristique, en permettant d'élargir la plage, mais aussi sécuritaire, en créant une zone intermédiaire qui joue un rôle protecteur en cas de tempête surtout pour la plage Moretti. Cette méthode demande une planification et un suivi à long terme. Le rechargement de plage n'a pas pour but de stopper le phénomène d'érosion, mais il permet de le limiter et d'agir sur ses effets. Dans le cas de la plage Est de SIDI Fredj plusieurs rechargements ont effectués dans la plage émergée en sable fin vers le moyen au front de cordon dunaire afin de limiter le recul du cordon. Le dernier rechargement a été effectué en juin 2016.

5.2. Méthode et solutions souples envisageables

5.2.1. Le « by-passing » ou le rétablissement du transit littoral :

Le « by-passing » est le transfert artificiel de sédiments leur permettant de franchir un obstacle tel qu'un ouvrage. La méthode mécanique consiste en la manipulation des sédiments par bulldozers et camions. La méthode hydraulique prévoit le transport du sable au moyen d'une pompe, éventuellement orientée par une grue mobile. Les coûts sont relativement importants. Une bonne compréhension de la dynamique sédimentaire du site est primordiale avant de mettre en place un « by-passing » (**Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, 2011**).

5.2.2. Les Brises lames narval :

Il est unique, très performant et conçu pour prévenir l'érosion des berges et protéger les infrastructures telles que le port de SIDI Fredj, hôtel El Riadh, les plages sableuses, etc. Le brise-lame Narval dissipe et absorbe l'énergie des vagues en créant une divergence du mouvement orbital caractéristique des vagues. Ce brise lame flottant très efficace, déplaçable et peut prendre plusieurs configurations selon les conditions du site à protéger, il se distingue par son moindre coût, sa facilité d'installation et d'utilisation ainsi que par son faible impact sur l'environnement (**Jean, 2012**).

Composantes :

- 5 tubes horizontaux en polyéthylène haute densité (PEHD).
- 2 plaques de bouts galvanisées
- 4 plaques d'amortissement galvanisées.

Tableau 7.3 : Caractéristiques d'un brise lame narval :

Longueur	7,3 m
Largeur	2,4 m
Hauteur	3,0 m
Poids	7,1 t.



Figure 7.2 : la structure et la configuration d'un brise lame narval.

5.3. Solutions de gestion durable du littoral

5.3.1. La gestion intégrée des zones côtières, concept :

La GIZC est décrite comme « un processus dynamique de gestion et d'utilisation durables des zones côtières, prenant en compte simultanément la fragilité des écosystèmes et des paysages côtiers, la diversité des activités et des usages, leurs interactions, la vocation maritime de certains d'entre eux, ainsi que leurs impacts à la fois sur la partie marine et la partie terrestre ». (Pegaso, 2008).

➤ Pourquoi un cadre GIZC :

La côte algéroise connaît un énorme développement, elle est soumise à une forte anthropisation par de nombreuses grandes villes et des ports qui concentrent une grande partie du développement industriel et touristique de la région. La croissance de l'industrie touristique, l'expansion des villes côtières et le développement des ports ont conduit à une profonde transformation du littoral et des zones marines adjacentes. La diversité des situations géopolitiques du bassin ajoute à cette complexité et favorise les conflits concernant l'utilisation de l'espace et les défis environnementaux.

Donc vu que de cette complexité, il faut élaborer des approches systémiques et les mettre dans cadre de GIZC pour pouvoir cerner et globaliser les différents enjeux de la zone de SIDI Fredj et d'essayer de la résoudre de façon complémentaire en impliquant différents acteurs qui vont travailler en collaboration et en concertation dans des ateliers sur la base de quelques recommandations pour planifier des programmes d'actions.

➤ **Recommandations stratégiques :**

- Articuler les échelles spatiales de diagnostic de l'aléa physique, de planification des choix d'urbanisme et des aménagements opérationnels.
- Développer une gestion territoriale conjointe et cohérente des risques liés à l'érosion côtière et à la submersion marine qui prévoit la désignation d'un chef de file chargé de l'élaboration d'un schéma territorial et du respect de sa mise en œuvre par les acteurs en fonction de leurs compétences respectives.
- Justifier les choix d'aménagement opérationnels du trait de côte par des analyses coûts-bénéfices et des analyses multicritères.
- Recourir à des techniques souples de gestion du trait de côte pour les secteurs à densité moyenne (urbanisation diffuse...) ou à dominante agricole.

Programme d'actions :

Sur la base des principes et des recommandations stratégiques, le programme d'actions a vocation à être mis en œuvre conjointement par l'État et les collectivités territoriales. Il peut s'organiser autour de quatre axes.

Axe A : Développer l'observation du trait de côte et identifier les territoires à risque érosion pour hiérarchiser l'action publique.

- Action 1 : Créer un réseau d'observation et de suivi de l'évolution du trait de côte à l'échelle nationale, en s'appuyant sur les acteurs régionaux.
- Action 2 : Établir une cartographie nationale de l'érosion côtière et identifier les territoires à risque érosion.

Axe B : Élaborer des stratégies partagées entre les acteurs publics et privés.

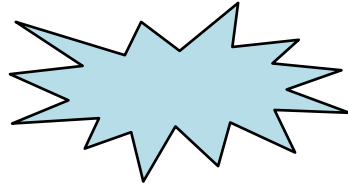
- Action 3 : Dans les territoires à risque érosion : élaborer des stratégies locales des risques érosion.
- Action 4 : Mieux utiliser les outils d'urbanisme et de prévention des risques.
- Action 5 : Faire évoluer les modalités de gestion du domaine public maritime
- Action 6 : Établir un plan de communication et de sensibilisation des populations aux risques littoraux.

Axe C : Évoluer vers une doctrine de recomposition spatiale du territoire.

- Action 7 : Préparer la mise en œuvre de l'option relocalisation des activités et des biens dans une dynamique de recomposition territoriale.
- Action 8 : Innover en matière de génie écologique.

Axe D : Préciser les modalités d'intervention financière.

- Action 9 : Identifier des principes de financement pour la politique de gestion intégrée du trait de côte (**Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, 2010**).



Conclusion

générale

Conclusion générale :

Les plages sableuses sont des systèmes complexes. Leur fonctionnement est dominé par l'interaction de différents forçages qui apportent de l'énergie et transportent des éléments entre les compartiments du système. Le résultat s'observe généralement par une modification du volume de ces compartiments et par une évolution de la morphologie des interfaces. La compréhension globale des processus mis en jeu est bien souvent délicate et nécessite des études pluridisciplinaires (Amrouni, 2008).

Dans notre étude qui s'est focalisée sur la modélisation numérique de la morphodynamique d'une côte sableuse soumise à l'effet des vagues et des houles appliquées au littoral de SIDI Fredj, le but de ce mémoire est de comprendre les interactions entre le domaine marin et terrestre via les échanges hydro-sédimentaires. Cette étude a été réalisée en fonction des données morphologiques et sédimentologiques de terrain, en utilisant un ensemble des techniques, des moyens et en particulier des outils de modélisation afin de bien comprendre cette dynamique en relation avec la morphologie et de diagnostiquer l'état de ce système dans une échelle spatio-temporelle.

Commençant par le contexte général de cette thématique, dans cette partie, on s'est préoccupé de mettre quelques concepts et des approches générales qui portent des caractérisations concernant le littoral, le profil d'une côte sableuse, le forçage hydrodynamique en décrivant tous les zones d'un point de vue océanographique qui les traversent depuis la génération dans la zone de fetch jusqu'aux limites de transition et d'échange avec la bande terrestre, et aussi les différents phénomènes qui accompagnent et affectent cet évolution en se focalisant sur le substrat et les différents mode de son transport à condition d'arriver aux seuils de mise en mouvement.

La deuxième partie, on s'est intéressé de présenter en premier lieu notre zone, en terme de sa situation géographique régional et local, et en second lieu les différents aperçues qui la caractérisent que ce soit des aperçues géologiques, géomorphologique, la dynamique sédimentaire, climatologique, hydrologique et océanographique.

Concernant l'étude topobathymétrique qui résume un travail de collecte et de traitement des données par un rassemblement d'une part, des techniques de mesures sur terrain représentés par l'utilisation d'un théodolite pendant la semaine du stage et une sortie pour des relevés bathymétriques jusqu'à -7 m de profondeur, et d'autre part l'extraction et la visualisation par des techniques de mesure numérique, en utilisant deux logiciels, le premier est l'Arcgis 10.2.2 qu'à travers de celui, on a pu géoréférencier et digitaliser un ensemble des cartes pour obtenir les coordonnées tridimensionnelles nécessaires pour compléter et bien s'étaler notre relevé bathymétrique jusqu'à -50 m. Le deuxième logiciel, c'est le Global mapper qui nous a permis d'obtenir des cartes topobathymétriques et aussi des profils représentatifs qui révèlent une topographie sous-marine globalement régulière descendant en pente douce, sauf pour le côté Ouest du port qui présente un pendage un peu élevé.

CONCLUSION GENERALE

Le quatrième chapitre est consacré à l'étude granulométrique de la plage aérienne et sous-marine du littoral Est de SIDI Fredj, décrivant la stratégie et la procédure d'échantillonnage et aussi tout le matériel utilisé à différents stades depuis le prélèvement sur terrain passant par l'analyse de la fraction fine et grossière au laboratoire, à l'aide des tamis et une tamiseuse ensuite un traitement numérique par Excel, Matlab et Surfer pour calculer, faire sortir et cartographier les différents paramètres et indices sédimentologiques qui nous a renseigné sur la granulométrie de notre zone qui est un sable fin avec un mode de 160 μm dans les deux unités émergées et immergées, et aussi sur la répartition spatiale des pélites, diamètre moyen des grains, les déciles, les quartiles et d'autre indice caractérisant l'asymétrie et le tri de sédiment qui est très bien triés et uniforme.

Quand il s'agit l'évolution du trait de côte, à une méso échelle spatio-temporelle, vu qu'on a étudié son évolution sur une période de 14 ans, en utilisant un ensemble des imageries satellitaires de 2002 jusqu'à 2016 traitées par Arcgis 10.2.2, pour pouvoir superposer juste les lignes de rivage digitalisés et calculer le taux de variation (EPR) par l'extension DSAS de Arcgis 10.2.2 de chaque trait de côte entre deux périodes données par rapport à une ligne de référence afin de mettre en évidence les zones en érosion et celles en accrétion et les quantifier.

En effet, le suivi de l'évolution du littoral de SIDI Fredj a fait ressortir particulièrement que la plage de Moretti connaît une récession remarquable due à l'effet des facteurs météorologiques, hydrodynamiques et humains, et d'après la situation actuelle de la zone, on peut dire que cette ne s'atténue pas au fil du temps, bien au contraire, elle a continué à sévir enfonçant encore plus la plage dans une déroute automatiquement incontrôlable.

Tandis que un gain de sédiment marqué dans la plage Est de SIDI Fredj et entre les ouvrages de protection.

Le sixième chapitre est consacré seulement pour la modélisation de la réfraction de la houle, champs des courants et capacité de transport solide en utilisant en premier lieu, Les modèles couplés de mike21/3 couplé Model FM des houles, des courants et des transports sédimentaires qui nous ont permis de déterminer la direction des courants côtiers et le sens de transit sédimentaire et quantifier ce déplacement en relation avec l'hydrodynamique en présence d'ouvrages de protection.

L'analyse des données disponibles et le résultat des calculs montrent que le processus hydrodynamique, le transport de sable et l'évolution du fond marin ont été modifiés en présence d'ouvrages de protection.

Dans cette simulation, on a utilisé la donnée de SSMO (Summury of Synoptic Meteorological Observations), cette observation retenue pour notre zone d'étude 04 directions qui sont :

- 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.

CONCLUSION GENERALE

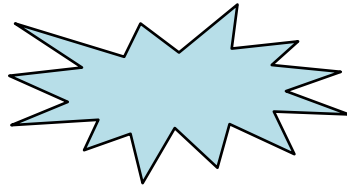
Dans la zone Est de Sidi-Fredj, les houles proviennent des secteurs Est et Nord-Est ont une influence importante sur la plage de Sidi-Fredj.

En second lieu, on a travaillé aussi avec un modèle couplé, l'un régional (WW3) et l'autre local (SWAN), en utilisant comme input pour le forçage du modèle WW3, un modèle atmosphérique du vents qui tourne en opérationnelle dans l'ONM (Office National de la Météorologie), en se basant sur leur composante horizontale U et verticale V, ensuite après la simulation à grande échelle de WW3 de toute la côte Algérienne, ce dernier nous a donné un ensemble des paramètres moyennes de la houle comme la hauteur significative, la période de pic et la direction à un point considéré au bord du domaine de calcul local (à petite échelle) et les intégrer dans le modèle SWAN, pour les traduire sous forme graphique récente à l'aide de SURFER.

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, les brises lames narval et la solution la plus importante qui assure une durabilité de tous le secteur et fait intervenir presque la totalité des enjeux de la zone est la gestion intégrée des zones côtières.

Finalement, nous nous sommes rendues compte que le but d'un travail d'un mémoire n'est pas forcément de collecter les données les plus fiables pour donner des réponses concrètes mais le plus important la compréhension, la vision, la méthode d'analyse et de traitement avec des moyens simples, même si c'est d'une façon limitée, et d'essayer de bien transmettre le message pour pouvoir au minimum contribuer aux problématiques actuelles.

Dans un autre registre, ce travail m'a permis en premier d'élargir mes connaissances sur la modélisation numérique des systèmes côtiers, en second lieu, le savoir-faire dans son sens global, et aussi m'a rendu plus ambitieux et plus motivé pour continuer et approfondir ce modeste bagage dans le domaine de la recherche scientifique et professionnelle.



Bibliographie

BIBLIOGRAPHIE

AL SID CHIKH, Safa. (2009). *baie de bou-ismail et d'el djamila : paramètres océanographiques, gestion littorale et imagerie bathymétrique.* Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 77 p.

AINI, A. (2012). *Morphodynamique de la zone côtière Est de la presqu'île de Sidi-Fredj (Ouest d'Alger).* Mémoire de magister. sciences de la terre et l'univers. Alger : U.S.T.H.B, p. 105-106.

AMROUNI, O. (2008). *Morphodynamique d'une plage sableuse microtidale à barres : côte nord de Mahdia (Tunisie orientale).* [En ligne]. Thèse de doctorat. Sciences géologiques. Tunis : l'Université Tunis-el Manar. [Consulté le 13/05/2016]. Disponible sur le web :

https://www.academia.edu/8885997/Morphodynamique_d_une_plage_sableuse_microtidale_%C3%A0_barres_c%C3%B4te_nord_de_Mahdia_Tunisie_orientale.>

ASSASSI, C., OTMANI, H. (2010). *Etude de protection de la zone de Club des Pins.* Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, p. 11-12.

ASBAI, R. (2013). *Les étapes de la conception et la modélisation d'une base de données SIG sur le littoral, cas du littoral centre.* Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 105 p.

BAGNOLD (1973). The nature of saltation and "bed load" transport in water. Coastal engineering conference. [En ligne]. Proceedings of the Royal Society. [Consulté le 26 mars 2016]. Disponible sur le web : <http://rspa.royalsocietypublishing.org/content/332/1591/473>

BELLAHSENE, Y., MESSAOUDI, S. (2005). *Etude bathymétrique, sédimentologique et pollution par les métaux lourds de la baie d'El Djamila.* Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ISMAL, p.19-41.

BENALLAL, M., OURABI, K. (1989). *Etude hydrogéologique et géotechnique de la zone côtière de Staoueli-Sidi Fredj (Ouest Algérois).* Mémoire d'ingénieur. Sciences de la terre et de l'univers. Alger : U.S.T.H.B, 90 p.

BENALLAOUA, S. (2013). *Suivi de la qualité physico-chimique des effluents de la station d'épuration des eaux usées domestiques de Béni-Messous : Traitement complémentaire par photo-catalyse.* Mémoire de magister. Océanographie et climatologie. Alger : ENSSMAL, 129 p.

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. Aménagement du littoral. Alger : ISMAL, p. 122-123.

BIBLIOGRAPHIE

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.* [En ligne]. Thèse de doctorat. Océanographie. Bordeaux : l'Université Bordeaux 1. [Consulté le 22/06/2016]. Disponible sur le web :

<http://www.epoc.u-bordeaux.fr/indiv/bonneton/Divers/These_Castelle.pdf>

CERTAIN, R. (2002). *Morphodynamique d'une côte sableuse microtidale à barres : le golfe du lion (Languedoc-Roussillon).* [En ligne]. Thèse de doctorat. océanologie-géologie. Perpignan : l'Université de Perpignan. [Consulté le 22/06/2016]. Disponible sur le web :

<http://www.epoc.u-bordeaux.fr/indiv/bonneton/Divers/These_Certain.pdf>

CHAUCHAT, J. (2007). *Contribution à la modélisation diphasique du transport sédimentaire en milieux côtiers et estuariens.* [En ligne]. Thèse de doctorat. Sciences de la terre. Caen : l'Université de Caen. [Consulté le 22/06/2016]. Disponible sur le web :<<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00173387/document>>

DEGRYSE, C. (2003). *Morphodynamique de la zone de Swash.* [En ligne]. Thèse de doctorat. Sciences de la terre et l'univers, Espace. Caen : l'Université de Caen. [Consulté le 18/03/2016]. Disponible sur le web :

<<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00003997/file/tel-00003997.pdf>>

DENAMIEL, C. (2006). *Modélisation hydrodynamique 3D en zone pré-littorale : Caractérisation des effets des houles de tempête sur la circulation océanique.* [En ligne]. Thèse de doctorat. Sciences de la terre et de l'univers. Montpellier : l'Université Montpellier 2. [Consulté le 02/005/2016]. Disponible sur le web :

<<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00680405v2/document>>

DHEEWA, M. (2011). *Etude de la canalisation totale de l'Oued Béni-Messous : rapport d'activité.* Document non publié. Alger : Direction de l'hydraulique et de l'économie de l'eau.

DHI (2014). *MIKE ZERO: Creating 2D Bathymetries. Bathymetry Editor & Mesh Generator.* [En ligne]. *Scientific Documentation.* [Consulté le 22/06/2016]. Disponible sur le web :

<www.mediafire.com/view/yc3w6h2c2elqnhh/BathymetryGeneration_ScientificDoc.pdf>

DHI (2014). *MIKE 21 Spectral Wave Module.* [En ligne]. *Scientific Documentation.* [Consulté le 22/06/2016]. Disponible sur le web :<www.mediafire.com/view/rr6pv2o6bf6k87u/M21SW_Scientific_Doc.pdf>

DHI (2014). *MIKE 21/3 Couple Model FM.* [En ligne]. [Consulté le 22/06/2016]. Disponible sur le web :

BIBLIOGRAPHIE

<www.mediafire.com/view/4extjtmhec4v69v/MIKE_213_Coupled_Model_FM.pdf.>

DREANO, J. (2009). *Dynamique et morphologie de dépôts sédimentaires en chenal expérimental*. [En ligne]. Thèse de doctorat. Physique. Bretagne : l'Université Européenne de Bretagne. [Consulté le 10/06/2016]. Disponible sur le web :

<<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00462405/document>.>

DURAFOUR, M. (2014). *Dynamique sédimentaire en zone côtière dans le cas de sédiments hétérogènes : application au domaine côtier haut-normand*. [En ligne]. Thèse de doctorat. Mécanique. Havre : l'Université du Havre. [Consulté le 06/06/2016]. Disponible sur le web : <[file:///C:/Users/mohamed/Downloads/Marine_Durafour%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/mohamed/Downloads/Marine_Durafour%20(1).pdf).>

EHRHOLD, A. (1994). *Approche bidimensionnelle des transports sédimentaires à partir des variations granulométriques des sédiments superficiels : exemple de la partie occidentale de la baie du Mont Saint-Michel*. IVème journées nationales génie civil - génie côtier. 17-19 avril 1996. [En ligne]. Acte de colloque. [Consulté le 01 Avril 2016], p.277-284. Disponible sur le web : <<http://archimer.ifremer.fr/doc/00285/39620/>.>

ERWAN, G. (2012). *Dynamique morpho-sédimentaire d'un littoral sous influence amazonienne : impact des forçages hydro sédimentaires sur la migration des bancs de vase et la mangrove côtière : Le cas de la Guyane française*. [En ligne]. Thèse de doctorat. Sciences de la Terre. Pas-de-Calais, Nord : l'Université du Littoral Côte d'Opale. [Consulté le 01/06/2016]. Disponible sur le web :

<<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00799403v2/document.pdf>.>

FAYE, I. (2010). *Dynamique du trait de côte sur les littoraux sableux de la Mauritanie à la Guinée-Bissau (Afrique de l'Ouest) : Approches régionale et locale par photo-interprétation, traitement d'images et analyse de cartes anciennes*. [En ligne]. Thèse de doctorat. Géographie. Bretagne : l'Université de Bretagne Occidentale. [Consulté le 15/05/2016]. Disponible sur le web :

<<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00472200/pdf/dynamique-du-trait-de-cote-en-afrique-de-l-ouest-mauritanie-guinee-bissau-volume1.pdf>.>

FAYE, I. (2012). Cartographie normalisée de l'évolution du trait de côte. [En ligne]. *Conférence de cartographie*, Acte de colloque. [Consulté le 8 Juillet 2016]. Disponible sur le web : <<http://mappemonde.mgm.fr/num32/articles/art11404.html>.>

GLANGEAUD, K. (1932). *Etude géologique de la région littorale de la province d'Alger*. *Bull. série. Carte géologique*. Alger : Bureau des recherches géologiques et minières, 112 p.

BIBLIOGRAPHIE

GLANGEAUD ., AYME ., CAIRE .et al. (1952). *Histoire géologique de la province d'Alger.* publ. XIX ème CGI. Monogr. Région, 1ère sér. Algérie. N° 25.

GRASSO, F. (2009). *Modélisation physique de la dynamique hydro-sédimentaire des plages.* [En ligne]. Thèse de doctorat. Océans, atmosphère, hydrologie. Grenoble : l'Université JOSEPH FOURIER- Grenoble1. [Consulté le 05/08/ 2016]. Disponible sur le web :

<<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00432041/document>.>

HIMMELSTOSS ., ZICHICHI ., ERGUL. et al. (2016). Installation Instructions and User Guide DSAS4.0. *U.S. Geological Survey*, p. 79.

HMI, (2011). *Etude hydro sédimentaire de la zone de SIDI Fredj : Rapport d'activité.* Document non publié. Alger : hydro marine ingénierie.

INCT, (2016). *Carte géologique et répartition sédimentaire de la Baie d'El Djamilia (modifiées).* Alger : institut national de la cartographie et la télédétection.

JEAN, P. (2012). *Narval Brise-Lames Technologie.* [En ligne]. [Consulté le 08 Aout 2016]. Disponible sur le web :<<http://www.narvaltech.com/>.>

KHALDI, N. (2015). *Modélisation de l'hydrodynamique sédimentaire soumise à l'action de la houle et des courants : application à la côte de Sidi-Fredj.* Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 47 p.

LAASSILIA, O. (2013). *Approche multidisciplinaire de suivi de la dynamique marine du littoral de Mohammedia.* Mémoire de fin de stage. Sciences et Techniques Eau et Environnement. Marrakech : l'Université de Cadi Ayyad, 142 p.

MICHAUD, H. (2011). *Impacts des vagues sur les courants marins : modélisation multi échelle de la plage au plateau continental.* [En ligne]. Thèse de doctorat. sciences de la terre et de l'univers. Montpellier : l'Université Montpellier 2. [Consulté le 30/06/2016]. Disponible sur le web : <<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00410870v2/document>.>

MILLOT, C. (1987). *Circulation in the western Mediterranean sea.* *Oceanologica Acta.* Vol.10, 107 p.

Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, (2010). Stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte. [En ligne]. *Développement durable.* [Consulté le 22Aout 2016]. Disponible sur le web :

<<http://www.gladys-littoral.org/resources/theses/raphael-certain.pdf>.>

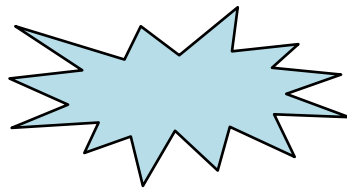
Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, (2011). *Gestion du trait de côte.* 2^o éd. Brest : Christophe picaud. 293 p.

BIBLIOGRAPHIE

- SENECHAL, N. (2003).** *Etude de la propagation des vagues au-dessus d'une bathymétrie complexe en zone de surf.* [En ligne]. Thèse de doctorat. Océanographie, paléoocéanographie. Bordeaux : l'Université Bordeaux 1. [Consulté le 14/06/2016]. Disponible sur le web : <http://www.epoc.u-bordeaux.fr/indiv/bonneton/Divers/These_Senechal.pdf>
- PEGASO, L. (2008).** Gestion intégrée des zones côtières en Méditerranée : de la vision à l'action. *Protocole GIZC en Méditerranée*. Vol. 2, 14 p.
- ROCHE, C. (2011).** *Analyse des solutions en érosion côtière dans la Baie de Plaisance, Îles-de-la-Madeleine.* Étude en hydraulique maritime. [En ligne]. Rapport final. N/Réf. : 61933. [Consulté le 05/05/2016]. Disponible sur le web : <www.muniles.ca/images/Upload/3_services_municipaux/7_developpement_milieu_et_aménagement_territoire/6_publications/erosion_im_rapport_final_08-11-2011_reduit_partie1.pdf>
- SALOMON, J., LEHIR, P. (1981).** *Etude de l'estuaire de la Seine - Modélisation numérique des phénomènes physiques.*, Rapport, ifremer, France : Quae.
- SHFM, (2016).** *Contexte général de la zone de SIDI Fredj.* Service hydrographique des forces navales. Alger : Bureau des recherches géologique et minières.
- SOURDAT, MICHEAL. (2000).** Etudes granulométriques par les méthodes classiques et par l'analyse factorielle des correspondances : application aux formations superficielles du Sud-Ouest de Madagascar. *Vème Journées Nationales génie civil.* [En ligne]. Acte de colloque. [Consulté le 04 Avril 2016]. p.126-131. Disponible sur le web : <http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/cahiers/geologie/20101.pdf>
- STEPANIAN, A. (2002).** *Evolution morphodynamique d'une plage macrotidale à barres : Omaha beach (Normandie).* [En ligne]. Thèse de doctorat. Sciences de la terre et de l'univers, espace. Caen. L'Université de Caen. [Consulté le 15/06/2016]. Disponible sur le web : <<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00003997/file/tel-00003997.pdf>>
- THAN, V. (2015).** *Modélisation d'érosion côtière : application à la partie ouest du tombolo de Giens* [En ligne]. Thèse de doctorat. Mathématiques. Marseille : l'Université d'Aix-Marseille. [Consulté le 12/05/2016]. Disponible sur le web : <<http://www.theses.fr/2015AIXM4736>>
- The Open University, (1999).** *Waves, Tides and Shallow Water Processes.* 2^e éd, Oxford : Butterworth-Heinemann. 227 p.
- USGS, (2016).** Installation Instructions and User Guide version 4.3. [En ligne]. [Consulté le 11/07/2016]. Disponible sur le web : <<http://www.innovateteam.com>>

BIBLIOGRAPHIE

ZEMENZER, S. (2004). *Ensablement du port par transport sédimentaire simulation et application du modèle de Gao et Collins (1994) au port de Sidi Fredj.* Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, p.31-41.



Annexes



Tableau: Taux d'évolution du trait de côte du littoral Sidi-Fredj de 2002 à 2016.

Profils	De 15.07.2002 à 15.07.2008		De 15.07.2008 à 15.07.2012		De 15.07.2012 à 15.07.2016		De 15.07.2002 à 15.07.2016		De 2002-2008- 2012 et 2016
	NSM (m)	EPR (m/an)	NSM (m)	EPR (m/an)	NSM (m)	EPR (m/an)	NSM (m)	EPR (m/an)	LPR (m/an)
P1	-8,36	-1,39	-1,15	-4,59	-0,73	-2,9	-1,13	-15,85	-1,15
P2	-7,39	-1,23	-1,02	-4,08	-0,76	-3,05	-1,04	-14,52	-1,05
P3	-6,62	-1,1	-0,69	-2,75	-0,87	-3,48	-0,92	-12,85	-0,91
P4	-9,68	-1,61	-1,16	-4,66	-1,39	-5,55	-1,42	-19,89	-1,41
P5	-11,45	-1,91	-0,91	-3,65	-1,1	-4,4	-1,39	-19,5	-1,38
P6	-10,47	-1,74	-0,77	-3,06	-1,01	-4,02	-1,25	-17,55	-1,24
P7	-9,49	-1,58	-0,71	-2,84	-0,86	-3,44	-1,13	-15,77	-1,11
P8	-9,78	-1,63	-0,68	-2,7	-0,75	-3,01	-1,11	-15,49	-1,1
P9	-7,89	-1,31	-0,53	-2,11	-0,73	-2,93	-0,92	-12,93	-0,91
P10	-5,24	-0,87	-0,43	-1,74	-0,75	-3	-0,71	-9,98	-0,7
P11	-0,84	-0,14	-0,01	-0,05	-0,67	-2,69	-0,26	-3,58	-0,23
P12	0,4	0,07	0,56	2,23	-0,88	-3,52	-0,06	-0,89	0
P13	-0,68	-0,11	0,52	2,07	-0,68	-2,7	-0,09	-1,31	-0,04
P14	-6,59	-1,1	-0,01	-0,05	0	-0,01	-0,47	-6,65	-0,47
P15	-2,03	-0,34	0,1	0,4	-0,31	-1,26	-0,21	-2,89	-0,19
P16	1,62	0,27	0,13	0,51	-0,54	-2,17	0	-0,04	0,02
P17	2,68	0,45	-0,29	-1,16	-0,44	-1,77	-0,02	-0,25	-0,02
P18	2,43	0,4	-0,44	-1,77	-0,29	-1,16	-0,04	-0,5	-0,05
P19	1,98	0,33	-0,62	-2,46	-0,5	-1,98	-0,18	-2,46	-0,19
P20	-0,18	-0,03	-1,11	-4,43	0,29	1,17	-0,25	-3,44	-0,31
P21	-1,77	-0,29	-0,06	-0,24	-0,59	-2,38	-0,31	-4,39	-0,29
P22	-4,23	-0,7	0,17	0,66	-0,03	-0,11	-0,26	-3,68	-0,25
P23	-3,81	-0,63	0,45	1,78	0,17	0,69	-0,1	-1,34	-0,08
P24	-0,55	-0,09	0,26	1,04	0,49	1,96	0,17	2,45	0,17
P25	3,33	0,55	0,39	1,57	0,55	2,19	0,51	7,09	0,5
P26	6,05	1,01	0,55	2,18	0,65	2,59	0,77	10,82	0,76
P27	7,18	1,2	0,51	2,06	0,71	2,86	0,86	12,1	0,85
P28	7,88	1,31	0,4	1,6	0,82	3,26	0,91	12,74	0,88
P29	8,66	1,44	0,58	2,3	0,92	3,7	1,05	14,66	1,03
P30	7,26	1,21	0,74	2,97	0,85	3,41	0,97	13,64	0,97
P31	5,94	0,99	0,84	3,37	0,71	2,85	0,87	12,16	0,87
P32	5,77	0,96	0,88	3,52	0,66	2,64	0,85	11,93	0,86
P33	4,75	0,79	0,8	3,18	0,78	3,14	0,79	11,07	0,79
P34	4,2	0,7	0,3	1,2	0,53	2,11	0,54	7,51	0,52
P35	0,22	0,04	0,65	2,6	0,5	1,98	0,34	4,8	0,35
P36	-1,65	-0,27	0,61	2,44	0,75	2,99	0,27	3,78	0,27
P37	0,57	0,09	0,36	1,42	0,42	1,68	0,26	3,67	0,26
P38	-0,02	0	0,23	0,94	0,02	0,1	0,07	1,02	0,08
P39	0,44	0,07	-0,19	-0,77	0,04	0,17	-0,01	-0,16	-0,02
P40	1,68	0,28	0,05	0,2	-0,04	-0,15	0,12	1,73	0,13
P41	-0,1	-0,02	0,51	2,05	0,01	0,04	0,14	1,99	0,17
P42	0,66	0,11	0,32	1,29	0,37	1,48	0,24	3,43	0,24
P43	4,39	0,73	0,89	3,55	0,62	2,47	0,74	10,41	0,76
P44	6,98	1,16	0,93	3,73	0,66	2,62	0,95	13,33	0,96
P45	7,97	1,33	0,76	3,05	0,71	2,86	0,99	13,88	0,99
P46	7,71	1,28	0,71	2,83	0,56	2,26	0,91	12,8	0,92
P47	-5,35	-0,89	-0,37	-1,48	-0,58	-2,31	-0,65	-9,14	-0,64
P48	-5,4	-0,9	0,02	0,09	-1,13	-4,5	-0,7	-9,81	-0,64

Profils	De 15.07.2002 à 15.07.2008		De 15.07.2008 à 15.07.2012		De 15.07.2012 à 15.07.2016		De 15.07.2002 à 15.07.2016		De 2002-2008- 2012 et 2016
	NSM (m)	EPR (m/an)	NSM (m)	EPR (m/an)	NSM (m)	EPR (m/an)	NSM (m)	EPR (m/an)	LPR (m/an)
P49	-4,42	-0,74	-0,17	-0,68	-1,07	-4,28	-0,67	-9,38	-0,63
P50	-3,03	-0,5	-0,5	-1,99	-0,85	-3,4	-0,6	-8,42	-0,59
P51	-4,48	-0,75	-0,56	-2,24	-0,66	-2,64	-0,67	-9,36	-0,66
P52	-4,82	-0,8	-0,06	-0,23	-0,96	-3,83	-0,63	-8,88	-0,59
P53	-5,49	-0,91	0,28	1,13	-1	-4,01	-0,6	-8,37	-0,53
P54	-9,72	-1,62	0,7	2,79	-0,74	-2,95	-0,71	-9,88	-0,63
P55	-10,85	-1,81	-0,07	-0,3	-0,28	-1,1	-0,87	-12,25	-0,85
P56	-12,76	-2,13	0,1	0,38	-0,48	-1,92	-1,02	-14,3	-0,98
P57	-13,09	-2,18	0,67	2,67	-0,59	-2,34	-0,91	-12,76	-0,84
P58	-9,25	-1,54	0,6	2,41	-0,45	-1,79	-0,62	-8,63	-0,55
P59	-8,12	-1,35	0,56	2,25	0,02	0,08	-0,41	-5,79	-0,38
P60	-8,48	-1,41	0,95	3,8	0,07	0,29	-0,31	-4,39	-0,26
P61	-1,15	-0,19	-0,15	-0,6	0,85	3,4	0,12	1,65	0,08
P62	4,23	0,7	0,3	1,21	0,48	1,9	0,52	7,34	0,51
P63	6,09	1,01	0,11	0,43	0,72	2,88	0,67	9,4	0,64
P64	5,9	0,98	-0,11	-0,42	0,88	3,52	0,64	9	0,59
P65	4,66	0,78	0,58	2,34	0,72	2,87	0,7	9,87	0,7
P66	3,62	0,6	0,78	3,12	0,54	2,17	0,64	8,91	0,65
P67	4	0,67	0,46	1,85	0,86	3,46	0,66	9,31	0,65
P68	0,21	0,03	0,78	3,13	0,45	1,82	0,37	5,16	0,39
P69	3,85	0,64	-0,06	-0,24	1,07	4,29	0,56	7,9	0,51
P70	5,13	0,85	0,62	2,46	0,55	2,19	0,7	9,78	0,7
P71	5,11	0,85	0,36	1,42	0,7	2,79	0,67	9,32	0,65
P72	3,82	0,64	0,05	0,21	0,94	3,76	0,56	7,79	0,51
P73	2,83	0,47	0,12	0,46	0,65	2,62	0,42	5,91	0,4
P74	3,48	0,58	0,15	0,59	0,79	3,14	0,51	7,21	0,48
P75	3,29	0,55	0,29	1,15	0,72	2,89	0,52	7,33	0,5
P76	2,56	0,43	0,29	1,16	0,74	2,95	0,48	6,67	0,46
P77	2,31	0,38	-0,05	-0,2	0,72	2,88	0,36	4,99	0,32
P78	2,46	0,41	0,27	1,09	0,5	1,98	0,39	5,53	0,38
P79	-2,4	-0,4	0,25	0,99	0,97	3,88	0,18	2,47	0,15
P80	1,43	0,24	-0,37	-1,46	0,77	3,09	0,22	3,06	0,17
P81	3,08	0,51	-0,33	-1,33	0,7	2,78	0,32	4,53	0,27
P82	3,16	0,53	0,07	0,27	0,51	2,03	0,39	5,46	0,37
P83	1,54	0,26	0,43	1,74	0,12	0,47	0,27	3,75	0,28
P84	1,97	0,33	0,28	1,12	-0,54	-2,14	0,07	0,95	0,1
P85	0,79	0,13	0,5	2,02	-0,6	-2,41	0,03	0,4	0,08

Les paramètres de sortie du modèle WW3 qui est forcé par un modèle atmosphérique
Arome :

Tableau : les résultats de simulation de WW3 dans un point considéré.

Date	Time			Hs (m)	Tp s	Dir (d,N)
	heure	minute	seconde			
20160401	0	0	0	0,146	2,35	280
20160401	6	0	0	0,818	4,85	286,7
20160401	12	0	0	0,894	5,42	284,6
20160401	18	0	0	0,815	5,08	293,5
20160402	0	0	0	0,8	5,04	314,4
20160402	6	0	0	0,679	5,20	325,3
20160402	12	0	0	0,57	5,19	332
20160402	18	0	0	0,424	4,85	337,2
20160403	0	0	0	0,347	4,66	346,1
20160403	6	0	0	0,266	4,30	351,9
20160403	12	0	0	0,171	3,91	353,5
20160403	18	0	0	0,088	3,48	353,3
20160404	0	0	0	0,075	3,47	302,1
20160404	6	0	0	0,174	4,18	273,9
20160404	12	0	0	0,223	4,61	272,8
20160404	18	0	0	0,341	6,15	273
20160405	0	0	0	0,399	6,15	273,6
20160405	6	0	0	0,423	6,35	275,1
20160405	12	0	0	0,445	6,72	276,6
20160405	18	0	0	0,43	7,20	275,7
20160406	0	0	0	0,421	6,47	275,6
20160406	6	0	0	0,405	5,92	287,5
20160406	12	0	0	0,558	5,77	347,1
20160406	18	0	0	0,669	5,65	16,7
20160407	0	0	0	0,823	5,53	21,5
20160407	6	0	0	0,886	5,41	22,3
20160407	12	0	0	0,883	5,43	23,3
20160407	18	0	0	0,881	5,61	24,7
20160408	0	0	0	0,878	5,65	25,4
20160408	6	0	0	0,826	5,69	20,9
20160408	12	0	0	0,698	5,58	18,2
20160408	18	0	0	0,544	5,29	19,1
20160409	0	0	0	0,433	5,12	19
20160409	6	0	0	0,367	5,18	22,4
20160409	12	0	0	0,329	5,34	27,9
20160409	18	0	0	0,314	5,38	23
20160410	0	0	0	0,276	4,96	12,7

Date	Time			Hs	Tp	Dir
	heure	minute	seconde	(m)	(s)	heure
20160410	6	0	0	0,234	4,62	341,4
20160410	12	0	0	0,253	4,88	298,5
20160410	18	0	0	0,309	5,38	283,3
20160411	0	0	0	0,327	5,60	278,6
20160411	6	0	0	0,325	5,64	276,5
20160411	12	0	0	0,323	5,65	275,6
20160411	18	0	0	0,322	5,65	275,3
20160412	0	0	0	0,322	5,65	275,2
20160412	6	0	0	0,322	5,65	275,2
20160412	12	0	0	0,322	5,65	275,2
20160412	18	0	0	0,322	5,65	275,3
20160413	0	0	0	0,322	5,65	275,5
20160413	6	0	0	0,321	5,65	275,1
20160413	12	0	0	0,32	5,65	275
20160413	18	0	0	0,316	5,64	274,9
20160414	0	0	0	0,288	5,41	274,8
20160414	6	0	0	0,248	5,18	274,7
20160414	12	0	0	0,208	4,86	274,6
20160414	18	0	0	0,171	4,67	274,9
20160415	0	0	0	0,14	4,49	276
20160415	6	0	0	0,15	4,24	323,5
20160415	12	0	0	0,184	3,98	40,3
20160415	18	0	0	0,344	3,64	6,9
20160416	0	0	0	0,443	4,05	316,5
20160416	6	0	0	0,623	5,59	289
20160416	12	0	0	0,699	6,32	283,2
20160416	18	0	0	0,679	6,51	280,5
20160417	0	0	0	0,63	6,41	279,9
20160417	6	0	0	0,575	6,26	280
20160417	12	0	0	0,508	5,95	279,8
20160417	18	0	0	0,418	5,72	278,9
20160418	0	0	0	0,332	5,34	277,5
20160418	6	0	0	0,249	4,98	276,1
20160418	12	0	0	0,244	4,67	314,1
20160418	18	0	0	0,715	4,42	35,5
20160419	0	0	0	1,083	5,71	50
20160419	6	0	0	1,135	6,26	49,6
20160419	12	0	0	1,118	6,34	44,9
20160419	18	0	0	1,111	6,53	42,9
20160420	0	0	0	1,085	6,74	42,9
20160420	6	0	0	1,137	6,81	41

Date	Time			Hs	Tp	Dir
	heure	minute	seconde	(m)	(s)	heure
20160420	12	0	0	1,035	6,50	32,5
20160420	18	0	0	0,897	5,36	10,4
20160421	0	0	0	0,767	5,23	330,6
20160421	6	0	0	0,641	4,71	313
20160421	12	0	0	0,589	5,77	301,7
20160421	18	0	0	0,504	6,18	287,8
20160422	0	0	0	0,398	5,83	285,4
20160422	6	0	0	0,297	5,34	286,9
20160422	12	0	0	0,216	4,85	289,3
20160422	18	0	0	0,149	4,43	294,8
20160423	0	0	0	0,096	4,01	298,1
20160423	6	0	0	0,062	3,66	301,4
20160423	12	0	0	0,041	3,78	302
20160423	18	0	0	0,039	4,12	303,5
20160424	0	0	0	0,071	4,62	304,2
20160424	6	0	0	0,126	4,63	311,6
20160424	12	0	0	0,166	4,33	313,3
20160424	18	0	0	0,181	4,33	313,6
20160425	0	0	0	0,17	4,31	314
20160425	6	0	0	0,174	4,05	332,2
20160425	12	0	0	0,407	5,56	17,8
20160425	18	0	0	0,593	5,69	22,1
20160426	0	0	0	0,597	5,07	28,4
20160426	6	0	0	0,492	4,81	41,6
20160426	12	0	0	0,359	4,61	49,3
20160426	18	0	0	0,252	4,33	55,4
20160427	0	0	0	0,174	4,10	60,4
20160427	6	0	0	0,122	3,89	64,5
20160427	12	0	0	0,088	3,64	68,5
20160427	18	0	0	0,07	3,75	72,1
20160428	0	0	0	0,063	3,91	73,8
20160428	6	0	0	0,057	3,85	73,2
20160428	12	0	0	0,052	3,65	67,1
20160428	18	0	0	0,079	2,66	18,9
20160429	0	0	0	0,254	3,48	9,8
20160429	6	0	0	0,287	4,13	37,6
20160429	12	0	0	0,36	4,34	43,1
20160429	18	0	0	0,465	4,55	49,5
20160430	0	0	0	0,596	4,86	53,4

Modélisation numérique de la morphodynamique d'une côte sableuse soumise à l'effet des vagues et des houles cas : Plage Est de SIDI Fredj

Résumé :

Le littoral, zone de transition entre la mer et le continent, est soumis à une double action des agents dynamiques (houle et courants associés, vent et marée) et de la pression anthropique. Donc il est en perpétuel mouvement. L'étude présentée ici, focalisée sur la morpho-hydrodynamique littorale actuelle, sous l'effet de l'hydrodynamisme côtier. Le cadre d'étude est le littoral de la presqu'île de SIDI-Fredj qui fait partie d'un projet touristique sous la direction et la décision de plusieurs acteurs à différents échelles. L'analyse des données disponibles à partir des modèles de simulation qui nous a donné un ensemble des résultats de calcul montrent que le processus hydrodynamique, le transport de sable et l'évolution du fond marin ont été modifiés en présence d'ouvrages de protection.

Mots clés : littoral, hydrodynamique, anthropique, modèle de simulation, transport de sable.

Summary:

The coastline, transition area between the sea and the mainland, is subjected to a double action dynamic agents (associated waves and currents, winds and tides) and anthropogenic pressure. So it is in perpetual motion. The study presented here focused on the current coastal morpho-hydrodynamics, due to the coastal hydrodynamics. The study is part of the coast of the peninsula of Sidi Fredj, which is part of a tourism project under the direction and the decision of several players at different scales. Analysis of the data available from simulation models gave us a set of calculation results show that the hydrodynamic process, sand transport and the evolution of the seabed have been modified in the presence of protective structures.

Keywords: coast, hydrodynamic, anthropogenic, simulation model, sand transport.

موجز:

الساحل، منطقة انتقالية بين البحر والبر، وتعرض لمضاعفة العمل وكلاء الحيوي (موجات المرتبطة والتيارات والرياح والمد والجزر) والضغط الاصطناعي. لذلك هو في حركة دائمة. الدراسة التي قدمت هنا ركزت على الساحلي مورفو-الهيدروناميكا الحالي، نظرا لالهيدروناميكا الساحلية. والدراسة هي جزء من ساحل شبه جزيرة سيدي فرج، الذي هو جزء من مشروع سياحي تحت إشراف وقرار العديد من اللاعبين على مختلف المستويات. تحليل البيانات المتاحة من نماذج المحاكاة قدم لنا مجموعة من تظهر نتائج العملية الحسابية أن عملية الهيدروديناميكية والنقل الرمال وتطور قاع البحر قد تم تعديلها في وجود هياكل واقية.

كلمات البحث: الساحل، الهيدروديناميكية أو من صنع الإنسان، ونموذج المحاكاة، ونقل الرمال