

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة الساحل

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



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

OPTION : AMENAGEMENT DU LITTORAL

Thème :

Impacts des forçages météorologiques et anthropiques sur la dynamique morfo-sédimentaire du littoral Ouest algérois.

Présenté par:

-BOUZEROURA Amine

-HOUA Bendeyfallah

Soutenu le dimanche 08/07/2018 devant le jury suivant :

Mme LAOUR. A	Maître-Assistant A	(ENSSMAL)	Présidente
Mr MEZOUAR. K	Maîtres de Conférences A	(ENSSMAL)	Promoteur
Mr OTMANI. H	Maître-Assistant A	(ENSSMAL)	Examineur
Mr BOUAICHA. F	Maître-Assistant A	(ENSSMAL)	Examineur
Mme SALEM CHERIF. Y	Doctorante	(ENSSMAL)	Co-promotrice

Promotion : 2017-2018

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions Allah le tout puissant pour nous avoir donné la santé, le courage et la volonté, pour réaliser ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer toutes nos reconnaissances à ceux qui, à divers titres, ont collaboré à la réalisation de ce travail. Nous les devons à de nombreuses personnes que nous avons le plaisir et l'honneur de citer ci-après.

Mr, MEZOUAR Khoudir et Mme, SALEM CHRIF Yousra avoir dirigé ce travail et lui avoir accordé un intérêt tout au long de son élaboration.

Nous tenons à remercier :

Mme, LAOUR d'avoir acceptée de présider le jury de cette soutenance.

Mr, OTMANI nous avoir honoré de sa présence, d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Mr, BOUAICHA on le remercie d'avoir accepté examiner notre travail.

BOUZEROURA et HOUA

Dédicaces

*Je dédie ce travail à ma famille « **Horoune, Aya et Nawel** » et mes amis **Fodil, Bilal, Houari et Ayoub**. Je remercie Mr **Mezour**, Mr **sallaye** et Mme **Salem chrif**, et tous mes proches pour leurs soutiens et leurs confiances, sans eux ce travail n'aurait pas pu voir le jour.*

Bougeroura Amine

*Je dédie ce mémoire à : · Mes parents : Ma mère, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude. Mon père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi. Mes frères et sœurs qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité. Mes professeurs de **l'ENSSMAL** qui doivent voir dans ce travail la fierté d'un savoir bien acquis.*

HOUI Ben dayfallah

Sommaire

Remerciement

Dédicaces

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction général.....2

Chapitre I : Généralités

1.1 Introduction.....5

1.2 Morphodynamique côtière.....5

1.2.1 Principes et concepts.....6

1.2.2 Relation spatio-temporelles en morpho-dynamique côtière6

1.3 Processus hydrodynamiques.....8

a) Les vagues.....8

b) La houle.....8

c) Les courants.....8

d) Le vent.....8

e) La Marée.....9

1.4 Transport sédimentaire.....9

1.4.1 Les différents modes de transport.....9

1.5 La pression anthropique.....10

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

2.1 Cadre géographique.....12

2.2 Cadre géologique.13

2.2.1 Le massif d'Alger.....13

2.2.1 Le Sahel.....13

Sommaire

2.3	La bathymétrie.....	14
2.4	Données hydrologiques.....	17
2.4.1	Oued Beni Messous.....	17
2.4.2	Oued Mazafran.....	17
2.5	Données météo-océaniques.....	18
2.5.1	La précipitation.....	18
2.5.2	La température.....	19
2.5.3	Le vent.....	20
2.5.4	La houle.....	20
2.5.5	Les courants.....	21
2.6	Les facteurs anthropiques.....	21
2.6.1	Urbanisation.....	21
2.6.2	La fréquentation humaine.....	21
2.6.3	L'aménagement et protection du littoral.....	21
2.7	Historique de la zone.....	22
a)	Sidi Fredj	22
b)	Bou Ismail	22

Chapitre III : L'évolution du trait de côte

3.1	Introduction.....	26
3.2	Les logiciels utilisés.....	26
a)	Mouvement net des rivages (NSM)	27
b)	La méthode des points extrêmes (End Point Rate - EPR).....	27
c)	La méthode de la régression linéaire (Linear Regression - LRR)	27
3.3	Résultats.....	27
A-	Sidi Fredj.....	28
a)	Mouvement net des rivages (NSM)	29
b)	Le taux de point final (EPR)	30

Sommaire

c)	Le liner Régression Rate-of-change (LRR)	31
d)	Analyse du bilan sédimentaire.....	31
B-	Bou Ismail.....	33
a)	Mouvement net des rivages (NSM).....	34
b)	Le taux de point final (EPR).....	36
c)	Le liner Régression Rate-of-change (LRR)	39
d)	Analyse du bilan sédimentaire.....	41

Chapitre IV : Modélisation hydrodynamique

Introduction.....	45
4.1 Modélisation numérique.....	45
4.1.1 Mike Zéro.....	45
4.1.2 MIKE 21.....	46
4.1.3 Modèle de vague de MIKE.....	46
4.1.4 Modèle de transport de sable MIKE21 ST.....	46
4.1.5 Modèle hydrodynamique de MIKE.....	47
4.2 Approche méthodologique.....	48
4.2.1 Principe de simulation du MIKE 21-DHI.....	48
4.2.2 Création 2D Bathymétries sous le maillage.....	48
4.3 Mike 21/3 FM.....	53
4.3.1 Module SW.....	54
4.3.2 Résultats des simulations.....	55
4.3.3 Module HD.....	60
4.3.4 Résultats des simulations	61

Chapitre V : Etude granulo-sédimentaire

5.1 Prélèvement et échantillonnage.....	67
5.1.1 Prélèvement d'échantillons sédimentaires sur la partie aérienne.....	67
5.1.2 Prélèvement d'échantillons sédimentaires sur la partie marine.....	68
5.2 Travaux au laboratoire.....	69
5.2.1 Etude au laboratoire.....	69
5.2.2 Protocole d'analyse.....	70
5.2.3 Préparation du matériel.....	70
5.2.4 Méthode d'analyse.....	70
5.2.5 Paramètres granulométriques.....	71
5.3. Les résultats.....	72
a. Analyse de la fraction fine.....	72
• L'échantillonnage au niveau des unités émergées.....	73
1- Sidi Fredj.....	73
2- Partie de baie Bou-Ismaïl.....	74
• L'échantillonnage au niveau des unités immergées.....	76
1- Sidi Fredj.....	76
2- Partie de baie Bou-Ismaïl.....	77
b. Analyse de la fraction grossière.....	78
• L'échantillonnage au niveau des émergées.....	78
1- Sidi Fredj.....	78
2- Partie de baie Bou-Ismaïl.....	79
• L'échantillonnage au niveau des unités immergées.....	81
1- Sidi Fredj.....	81
2- Partie de baie Bou-Ismaïl.....	82
5.4 Modélisation du transport sédimentaire.....	83

Sommaire

.

Conclusion.....89

Bibliographie.....91

Annexes

Liste des figures

Figure I.1 : différents domaines du littoral (LARID.M, 2011).....	5
Figure I.2 : Schéma représente les composants d'un système morpho-dynamique côtier (DE VRIEND et al, 1993).....	6
Figure I.3 : Relation spatio-temporelle des systèmes morphodynamiques côtiers. Synthèse proposée par LEVOY (2000)	7
Figure I.4 : Représentation des paramètres caractéristique des vagues (KHALDIN, 2015)	8
Figure I.5 : Les trois modes de transport sédimentaire (CAMENEN, 2002) d'après (FREDSOE & DEIGAARD, 1994) : transport par charriage, transport par suspension, transport par «sheetflow».....	10
Figure II.1 : situation géographique de la zone d'étude (Google Earth, 2008).....	12
Figure II.2 : Cartes géologiques à 1/50 000 de la wilaya d'Alger (EGIS EAU, 2012).....	14
Figure II.3 : Cartes la bathymétrie de la baie de Bou Ismail et Baie de El Djamila (BOUZEOURA,HOUA.2018).....	14
Figure II.4 : Cartes La bathymétrie de la partie de Sidi Fredj (BOUZEOURA, HOUA. 2018).....	15
Figure II.5 : Cartes La bathymétrie de la partie de baie de Bou Ismail (BOUZEOURA, HOUA. 2018).	15
Figure II.6 : Le réseau hydrographique régional (BOUZEROURA, HOUA. 2018).....	17
Figure II.7 : précipitation annuelles et inter annuelles en mm (ONM, DAR EL BEIDA, 2017).....	19
Figure II.8 : température de l'air annuelles et inter annuelles « jour et nuit »en (c°) (ONM, DAR EL BEIDA, 2017)	19
Figure II.9 : Rose des vents sur une période annuelle (BOUZEOURA, HOUA. 2018).....	20
Figure II.10 : Rose des houles au large de la côte Algérienne (BOUZEOURA, HOUA. 2018).....	20

Figure II.11 : circulation de l'eau atlantique modifiée dans la Méditerranée (MILLOT,1987).....	21
Figure III.1 : Evolution du trait de côte de la plage Est de Sidi Fredj selon différentes périodes entre 2004 et 2018	28
Figure III.2 : Evolution de la ligne de côte de la plage Est de Sidi Fredj entre 2004 et 2018 et position des transects	28
Figure III.3 : Illustrations du Mouvement net des rivages (NSM) de la plage Est de Sidi Fredj entre 2004 jusqu'à 2018	29
Figure III.4 : Illustration du rythme d'évolution du trait de côte de la plage Est de Sidi Fredj entre 2004 jusqu'à 2018	30
Figure III.5 : représentation de LRR selon chaque transect dans la plage Est de Sidi Fredj entre 2004 et 2018.....	31
Figure III.6 : analyse du taux d'évolution en surface entre 2004 et 2018.....	32
Figure III.7 : Bilan sédimentaire de la plage Est de Sidi Fredj entre 2004 et 2018.....	32
Figure III.8 : Evolution de ligne de côte de la baie Bou-Ismaïl entre 2004 et 2018 et position de transects.....	33
Figure III.9 : Illustration du Mouvement net des rivages (NSM) de la première partie de la baie de Bou Ismaïl entre 2004 et 2018.....	34
Figure III.10 : Illustration du Mouvement net des rivages (NSM) de deuxième partie de la baie de Bou Ismaïl entre 2004 et 2018.....	35
Figure III.11 : Evolution du trait de côte au niveau de baie Bou Ismaïl entre 2004 et 2018.	36
Figure III.12 : Illustration du rythme d'évolution du trait de côte de la première partie de la baie de Bou Ismaïl entre 2004 et 2018.....	37
Figure III.13 : Illustration du rythme d'évolution du trait de côte de deuxième partie de la baie de Bou Ismaïl entre 2004 et 2018.....	38
Figure III.14 : représentation de LRR selon chaque transect dans la première partie de baie Bou Ismaïl entre 2004 et 2018.....	39
Figure III.15 : représentation de LRR selon chaque transect dans de deuxième partie de la baie Bou Ismaïl entre 2004 et 2018.....	40

Figure III.16 : analyse de taux d'évolution en surface de la première partie de la baie de Bou Ismail entre 2004 et 2018.....	41
Figure III.17 : analyse de taux d'évolution en surface de la deuxième partie de la baie de Bou Ismail entre 2004 et 2018.	42
Figure III.18 : Bilan sédimentaire de la Baie de Bou Ismail entre 2004 et 2018.....	43
Figure IV.1 : l'interface de Mike Zéro.....	45
Figure IV.2 : Etapes de Modélisation Mike 21 : « FM MIKE21/3 couplé » (HAMADOUCHE, BRAHMI, M, 2017).....	48
Figure IV.3 : Carte bathymétrique de la zone de Sidi Fredj jusqu'au Oued Mazafan (2018), (BOUZEOURA, HOUA, 2018).....	50
Figure IV.4 : les étapes de définition de maillage -1-.....	51
Figure IV.5 : les étapes de définition de maillage avec interpolation -2-.....	52
Figure IV.6 : le maillage de la zone d'étude d'Oued Mazafran jusque Sidi Fredj (BOUZEROURA, HOUA, 2018) Erreur ! Signet non défini.....	53
Figure IV.7 : champs des houles dans la zone de Sidi Fredj jusqu' à l'Oued Mazafran (Dir =22.5°N; Hs =1.7m ; Tp =8.9s)	55
Figure IV.8 : champs des courants dans la zone de Sidi Fredj jusqu' à l'Oued Mazafran (Dir =45°N ; Hs =1.34 ; Tp =6.6)	56
Figure IV.9 : champs des courants dans la zone de Sidi Fredj jusqu' à l'Oued Mazafran (Dir =270°N ; Hs =2.4 ; Tp =7.4)	57
Figure IV.10 : champs des courants dans la zone de Sidi Fredj jusqu' à l'Oued Mazafran (Dir =292.5°N ; Hs =1.9 ; Tp =6.8)	58
Figure IV.11 : champs des courants dans la zone de Sidi Fredj jusqu' à l'Oued Mazafran (Dir =244°N ; Hs =3.97 ; Tp =9.13)	59
Figure IV.12 : champs des courants dans la zone de Sidi Fredj jusqu' à l'Oued Mazafran(Dir =22.5°N ; Hs =1.7 ; Tp =8.9).....	61
Figure IV.13 : champs des courants dans la zone de Sidi Fredj jusqu' à l'Oued Mazafran (Dir =45°N ; Hs =1.34 ; Tp =6.6).....	62
Figure IV.14 : champs des courants dans la zone de Sidi Fredj jusqu' à l'Oued Mazafran (Dir =270°N ; Hs =2.4 ; Tp =7.4).....	63
Figure IV.15 : champs des courants dans la zone de Sidi Fredj jusqu' à l'Oued Mazafran (Dir =292.5°N ; Hs =1.9 ; Tp =6.8)	63

Figure IV.16: champs des courants dans la zone de Sidi Fredj jusqu' à l'Oued Mazafran (Dir =244°N ; Hs =3.97 ; Tp =9.13).....	64
Figure V.1 : Positionnement des points de prélèvement dans la partie aérienne dans la plage Est de Sidi Fredj).....	66
Figure V.2: Positionnement des points de prélèvement dans la partie aérienne dans partie de bais Bou Ismail.....	67
Figure V.3 : Schéma des différents volets de l'analyse granulométrique.....	67
Figure V.4 : matériel utilisé pour analyse.....	67
Figure V.5 : Carte de la répartition des pélites dans la partie aérienne de plage Est de Sidi Fredj	72
Figure V.6 : Carte de la répartition des pélites dans la première partie aérienne de la baie de Bou-Ismaïl.....	73
Figure V.7 : Carte de la répartition des pélites dans la deuxième partie aérienne de la baie de Bou-Ismaïl.....	74
Figure V.8: carte de la répartition des pélites dans la partie marine de plage Est de Sidi Fred.	75
Figure V.9 : carte de la répartition des pélites dans la partie marine de la baie de Bou-Ismaïl (à côté d'Oued de Mazafran)	76
Figure V.10 : carte de la répartition de la médiane (D50) dans la partie aérienne de la plage Est de Sidi Fredj.....	77
Figure V.11 : Carte de la répartition de la médiane (D50) dans la première partie aérienne de la baie de Bou- Ismaïl.....	78
Figure V.12 : Carte de la répartition de la médiane (D50) dans la deuxième partie aérienne de la baie de Bou- Ismaïl.....	79
80Figure V.14: Carte de la répartition de la médiane (D50) dans la partie marine de la baie de Bou-Ismaïl (à côté d'Oued de Mazafran).	80
Figure V.15 : modélisation du transport sédimentaire dans la zone de Sidi Fredj jusqu'à l'oued de Mazafran (direction de houle = 22.5 ; Hs = 1.77).	82
Figure V.16 : modélisation du transport sédimentaire dans la zone de Sidi Fredj jusqu'à l'oued de Mazafran (direction de houle = 45 ; Hs = 1.34).	83
Figure V.17: modélisation du transport sédimentaire dans la zone de Sidi Fredj jusqu'à l'oued de Mazafran (direction de houle = 270 ; Hs = 2.4).	84
Figure V.18 : modélisation du transport sédimentaire dans la zone de Sidi Fredj jusqu'à l'oued de Mazafran (direction de houle = 292.5 ; Hs = 1.9).	85

Figure V.19 : modélisation du transport sédimentaire dans la zone de Sidi Fredj jusqu'à l'oued de Mazafran avec une houle exceptionnelle

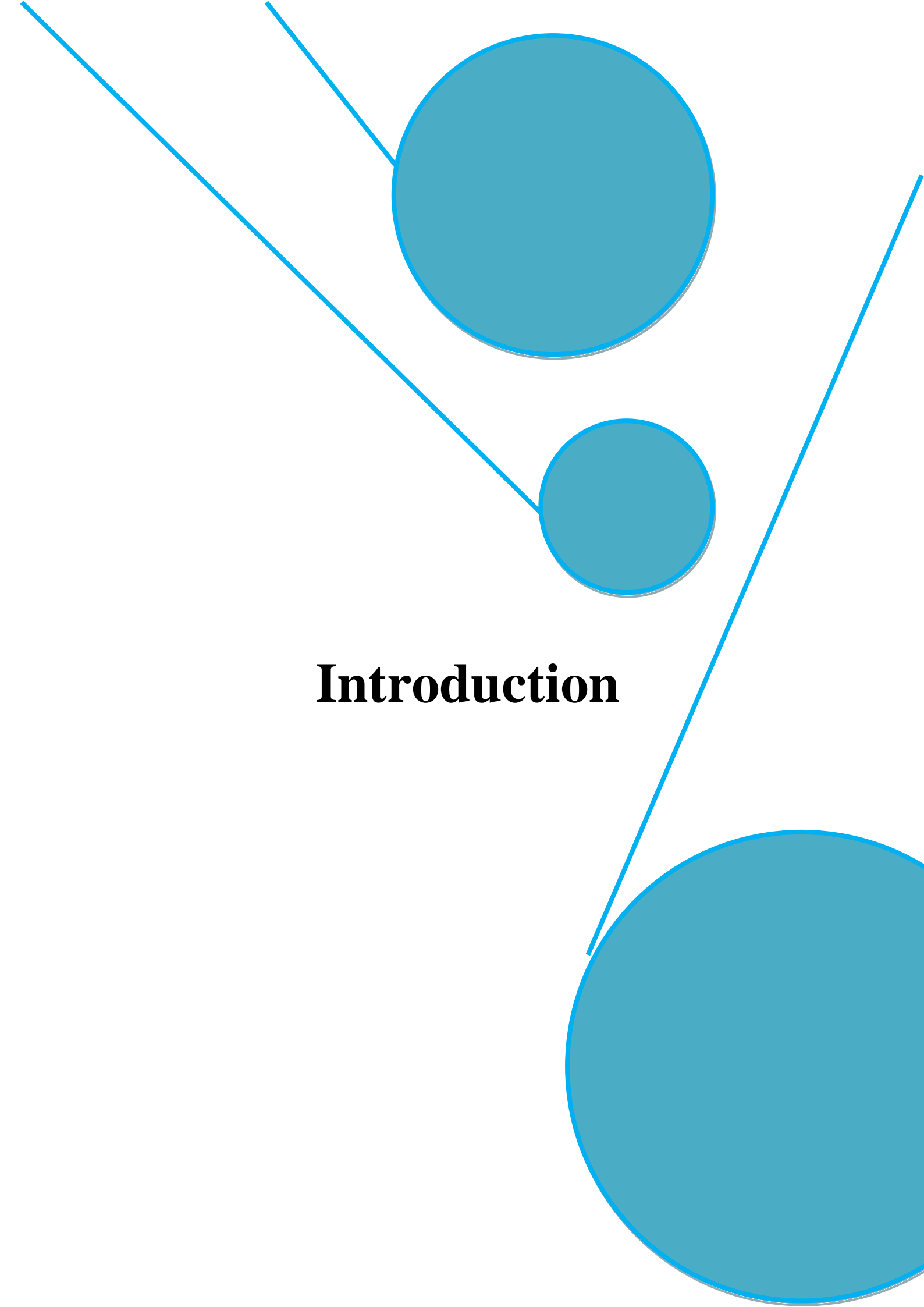
(direction de houle = 292.5 ; Hs = 3.5 ; Tp = 9.8).	86
Photo 1 : Oued Guergour	18
Photo 2 : Oued Malma.....	18
Photo 3 : Oued artificiel	18
Photo 4 : Oued Sidi Manif	18
Photo 5 : Oued Mazafran.....	18
Photo 6 : photo aérien de la plage Est de Sidi Fredj de 1975.	22
Photo 7 : image satellitaire de la plage Est de Sidi Fredj de 2018.	22
Photo 8 : photo aérien de la partie de baie Bou Ismail en 1959.	23
Photo 9 : image satellitaire de la partie de baie Bou Ismail en 2018.	23
Photo 10 : Plage Ouest Sidi Fredj.....	23
Photo 11 : Palm Beach.....	23
Photo 12 : Plage Sable d'Or.....	24
Photo 13 : Azur Plage.....	24
Photo 14 : Plage Du Complexe Touristique.....	24
Photo 15 : Plage El Kheloufi.....	24
Photo 16 : Prélèvement des échantillons sur embarcation El Awras dans la baie de Bou Ismail... ..	68

Liste des tableaux

Tableau IV.1 : présentation des paramètres des houles et des vents (www.ventusky.com)..	54
Tableau V.1 : Les valeurs adoptées de Mz (MEZOUAR, 2009)	70
Tableau V.2 : Les valeurs adoptées de So pour le classement.....	71
Tableau V.3 : Les valeurs adoptées de SK pour l'asymétrie avec l'interprétation des résultats (MEZOUAR, 2009)	71

Liste des abréviations

°C	Degré Celsius
DHI	Institut H ydrologique D anois
DSAS	D igital S horeline A nalysis S ystem
ENSSMAL	E cole N ationale S upérieure des S ciences de la M er et de l' A ménagement du L ittoral.
EPR	E nd P oint R ate
GPS	G lobal P ositioning S ystem
Km	K ilomètre
LRR	L inear R egression R ate
HS	H auteur S ignificative
HD	H ydrodynamique
MNT	M odele N umérique de T errain
N	N ord
NE	N ord E st
NSM	N et S horeline M ouvement.
NW	N ord- O uest
ONM	O ffice N ational M étéorologique
SIG	S ystème d' I nformation G éographique
SK	S kenwness d e t rask
S0	S orting d e t rask.
SWAN	S imulating W aves N earshore
ST	T ransport S édimentaire
SW	S pectral W ave



Introduction

Introduction

Les littoraux constituent des environnements fragiles dans lesquels se manifestent de multiples facteurs d'évolution aux actions, interactions et rétroactions complexes. Les hommes doivent savoir utiliser ces milieux sans en abuser (**PASKOFF, 1993**).

L'ampleur des évolutions des littoraux dépend de la puissance des forçages hydrodynamiques, du temps de réponse des systèmes et des capacités techniques à observer ces modifications. La petite échelle à laquelle on s'intéresse dans ce travail, est comprise entre quelques secondes à dizaines d'années. Cette échelle englobe les variations de la ligne de côte et de la morphologie de la plage, l'étude de ces évolutions consiste d'abord à comprendre les phénomènes météorologiques (température, précipitation, vagues, courants, ...) qui constituent une source d'énergie absorbée par les forces de défense naturelles du système littoral telle que la pente, qui est anthropique dans le cas des ouvrages de défense lourd ou léger, puis la quantification du transport sédimentaire induit par ces processus dynamiques. Aujourd'hui 70% des rivages dans le monde sont soumis à l'érosion, l'homme intervient par l'installation des ouvrages de protection, mais apparemment dans la majorité des cas ces ouvrages ont aggravé la situation.

Depuis environ 30 ans; notre zone d'étude (Sidi Fredj, Staouali et Zeralda) connaît une forte fréquentation ; elle est considérée comme l'un des points les plus convoités lors de la période estivale car elle recueille un bon nombre d'infrastructures touristiques et hôtelières et l'infrastructure la plus importante est le port de plaisance de Sidi-Fredj. Mis à part sa convoitise par les estivants et les touristes ; notre zone d'étude connaît une expansion importante de la zone urbaine. Suite aux observations sur terrain et analyse des différents supports (études précédentes, images Google Earth, photos aériennes) qui ont été consultés, nous avons soulevé un problème majeur d'érosion ; ce problème provient principalement des implantations urbaines qui ont pris la place des fameux cordons dunaires et de parcelles agricoles qui ont été observés sur des photos aériennes de 1959. En plus de tout cela, la partie Est de la baie de Bou Ismail connaît un autre facteur d'érosion : c'est l'extraction de sable. A tous ces forçages anthropiques s'ajoutent des forçages météorologiques qui mettent la côte en danger en créant une instabilité des processus physiques ; dynamique hydro-sédimentaire ; lors de leurs interactions et évolution dans cet environnement totalement modifié et déstabilisé par toutes ces implantations dans le milieu côtier. C'est donc à partir de ces problèmes observés tout au long du linéaire côtier ouest algérois que notre étude a été décidée avec l'objectif de mettre en évidence et de mesurer les phénomènes d'érosion et d'accumulation intervenus depuis plusieurs décennies

L'évaluation des variations des processus physiques morpho-sédimentaires pourrait avoir lieu par plusieurs méthodes, dans ce cadre nous avons choisi d'organiser notre étude en cinq chapitres comme suit:

- La première partie consiste à introduire des notions générales sur l'étude hydrodynamique et sédimentaire.
- La deuxième partie est consacrée à la présentation de notre zone d'étude.
- La troisième partie traite la cinématique du trait de côte, c'est-à-dire l'étude de variation de la ligne de côte entre 2004 et 2018.

Introduction

- La quatrième partie est réservée pour l'application du modèle « Mike » afin de réaliser des simulations de propagation des vagues et des courants sur les côtes de notre site d'étude.
- La cinquième partie porte sur l'analyse granulométrique et le transport sédimentaire associé aux changements morphologiques des plages.

The background features a white page with abstract blue geometric elements. Three circles of varying sizes are scattered across the page: a large one at the top center, a medium one to its right, and a very large one at the bottom right. Several thin blue lines connect these circles and extend across the page, creating a network-like structure.

Chapitre I

Généralités

1. Introduction

La zone littorale est située à la frontière de la mer et de la terre, elle constitue aujourd'hui un espace de plus en plus sollicité, ce qui accentue sa fragilité. Le programme des nations unies pour l'environnement (PNUE), donne une double définition à cet espace. Il est pris soit comme littoral ou zone côtière :

- Le littoral est la zone où les interactions (terre-mer) sont les plus intenses, constitué par les éléments suivants :
 - Les eaux côtières ;
 - La zone intertidale ;
 - Le trait de côte ;
 - L'étage sublittoral ;
 - Le plateau côtier.
- La zone côtière est l'interface entre la mer et la terre, qui s'étend dans les terres et la mer de façon variable, contient les eaux marines (la plus grande partie de la ceinture côtière) et les terres intérieures (toute la région au-delà de la ceinture supra littorale), dans beaucoup de processus peuvent affecter l'état de la zone.

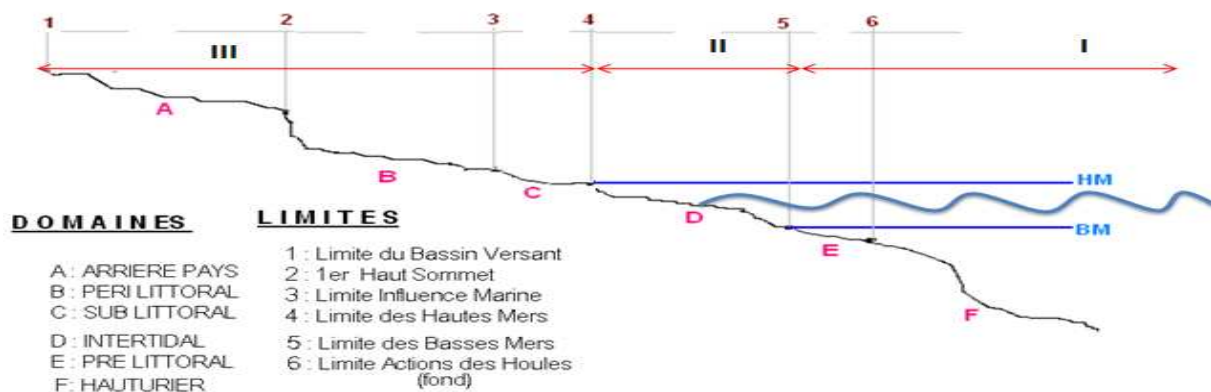


Figure I.1 : différents domaines du littoral (LARID.M, 2011).

1.2 Morphodynamique côtière

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

1.2.1 Principes et concepts :

Wright & Thom (1977) sont les premiers à avoir utilisé une approche morpho-dynamique du système côtier en identifiant l'avant et l'après modification, ainsi que les processus qui en sont responsables, tout en considérant une rétroaction possible entre les différentes composantes. Le milieu côtier est contrôlé par trois facteurs environnementaux (Figure I.2) :

- Les volumes sédimentaires apportés par les fleuves, les bassins versants.
- La géologie régionale qui définit l'espace disponible pour l'évolution du littoral.
- Les forçages externes qui correspondent aux processus énergétiques (vagues, marées, vent...) responsables des changements morphologiques.

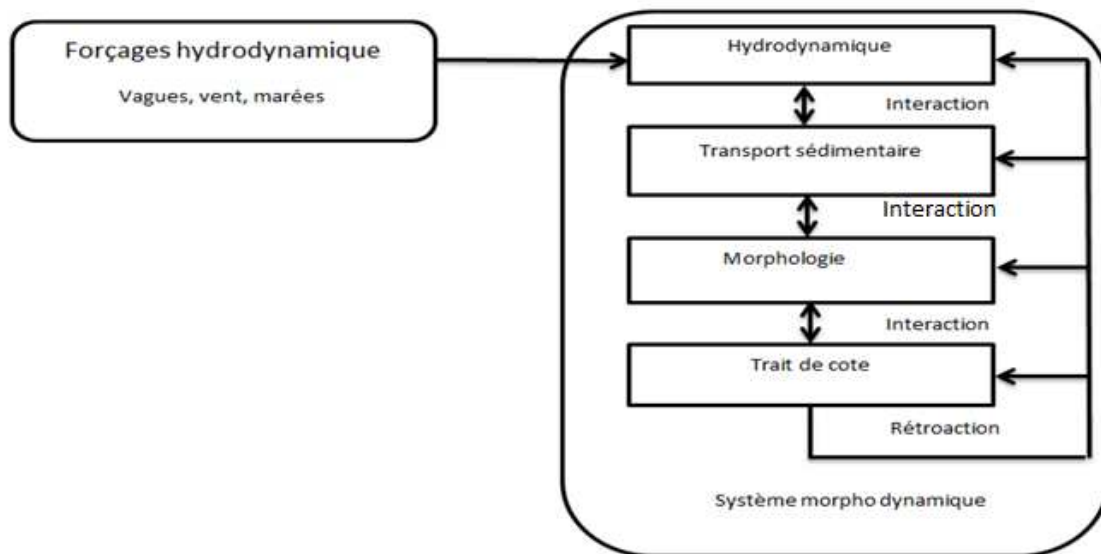


Figure I.2 : Schéma représente les composants d'un système morpho-dynamique côtier (DE VRIEND et al, 1993).

1.2.2 Relation spatio-temporelles en morpho-dynamique côtière :

La diversité des systèmes côtiers dans le monde est l'illustration de l'influence exercée par ces facteurs. Un système côtier est défini par sa morphologie (présence ou non de barres sédimentaires, de lagunes...) qui exerce une influence sur les agents hydrodynamiques responsables du transport sédimentaire (Figure I.3), notamment la houle, par l'intermédiaire des multiples transformations qu'elles subissent sur l'avant-côte. Cette influence se manifeste en particulier par des pertes d'énergie à l'approche de la côte (ARDHUIN *et al* in AHFIR.Y et MEZIANE.I, 2016). Le transport sédimentaire qu'induisent les facteurs hydrodynamiques est donc, par essence, profondément différencié selon les zones de l'avant-côte considérées, créant des secteurs en accrétion ou en érosion et contribuant ainsi au modelage d'une nouvelle morphologie. Cette boucle est rétroactive et se reproduit dans le temps à différentes échelles.

En fonction de l'échelle de temps à laquelle il est étudié, le comportement morpho dynamique d'un système côtier peut être très variable. A chaque échelle de temps est associée une échelle spatiale fonction de l'amplitude volumique des changements morphologiques mis

en jeu. Dans le cas d'un système côtier, l'existence d'une relation linéaire entre l'amplitude des évolutions spatiales du système et l'échelle temporelle associée peut être supposée (**DE VRIEND, 1991**). Il découle de cette relation une hiérarchisation spatio-temporelle (**KROON, 1994**) des processus dynamiques qui contrôlent l'évolution de la zone côtière (Figure I.3).

Selon la nomenclature de De Vriend, on peut distinguer les échelles suivantes :

- La micro-échelle ou échelle des processus qui concerne les processus physiques, constitutifs de la houle, des courants ou du transport sédimentaire, et agissant à une échelle plus courte que celle du comportement morpho-dynamique correspondant.
- La méso-échelle ou échelle dynamique qui concerne le comportement morpho-dynamique dû à l'interaction entre les processus physiques et la topographie. Elle permet de dater, entre autre, la propagation de corps sédimentaires ou encore la migration des barres.
- La macro-échelle ou échelle de tendance qui concerne les tendances ayant lieu à une échelle de temps plus longue que celle des comportements morpho-dynamiques primaires. Ces tendances peuvent être dues aux variations saisonnières de comportement ou à l'évolution progressive des forçages extérieurs (évolution du marnage, élévation du niveau moyen de la mer).

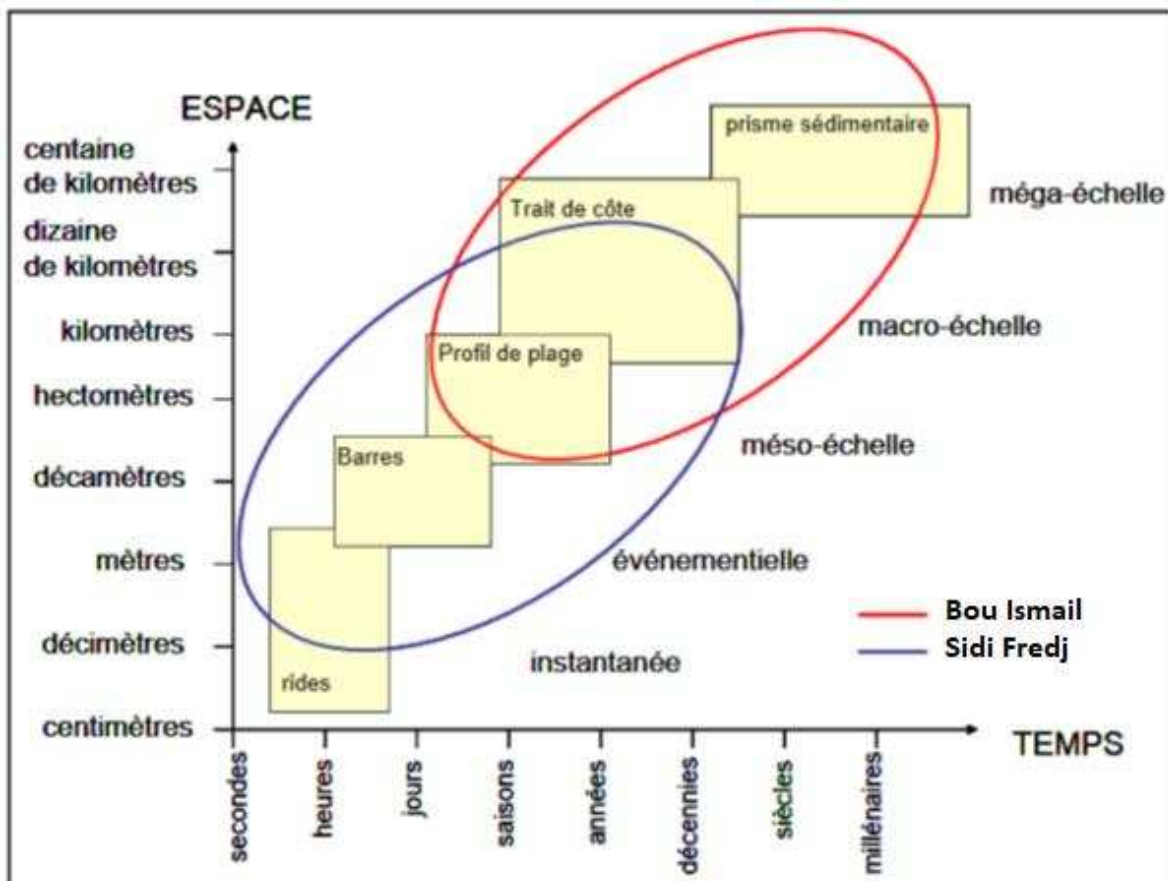


Figure I.3 : Relation spatio-temporelle des systèmes morphodynamiques côtiers. Synthèse proposée par (**LEVOY, 2000**)

1.3 Processus hydrodynamiques

a) Les vagues

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

Les principaux paramètres des vagues sont :

- La hauteur H
- La période T
- Longueur d'onde λ
- Nombre d'onde k

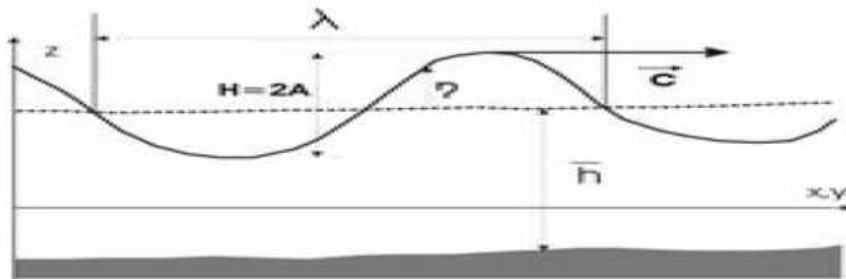


Figure I.4 : Représentation des paramètres caractéristique des vagues (KHALDI.N, 2015).

b) La houle

La houle est définie par (GUICHER ,1979) comme un système de vagues plus ou moins réguliers, dans lequel la hauteur est relativement faible par rapport à la longueur d'onde et qui se propage dans la mer hors de la présence du vent qui en a été la cause initiale.

c) Les courants

Les courants sont des déplacements des masses d'eau, caractérisés par une vitesse, une direction, et un débit précis.

Les courants généraux sont formés (CHAPON, 1984) :

- Par des forces extérieures au milieu marin (vents) ;
- Par des forces intérieures du milieu marin (différence de salinité ou de température à l'intérieur de la mer).

d) Le vent

Les vents sont toujours plus forts aux côtes qu'à l'arrière-pays immédiat. Les vents venant du large ne sont pas freinés par des obstacles ; par leur fréquence et leur vitesse ainsi que par sa direction ils génèrent la houle et les vagues dont il peut accroître la cambrure et des courants superficiels qu'il peut accélérer ou ralentir voir même inverser. (DAGHBADJ & SALEM CHERIF, 2015).

e) La Marée

La marée est connue de façon assez précise déjà depuis longtemps et les théories élaborées pour analyser ce phénomène ont permis d'établir des annuaires donnant, avec une approximation souvent suffisante, les prévisions de son amplitude pour chaque jour en de nombreux points du globe. (JACQUES VIGUIER, 2011)

1.4 Transport sédimentaire

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. 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.

1.4.1 Les différents modes de transport

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

$$Qt = Qc + Qs$$

Qt = Le taux de transport total

Qc = Le transport par charriage et saltation

Qs = Le transport en suspension

Le taux de transport représente le volume de matériaux transportés par unité de temps et par unité de longueur. Il s'exprime en m^3/s et peut être interprété comme le flux des concentrations intégré sur la hauteur d'eau.

1. Transport par charriage

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

2. Transport par suspension

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

3. Transport par « sheet flow ».

On observe ce mode de transport en présence de courants intenses et de sédiments relativement grossiers. Les sédiments au fond sont soumis à de très fortes contraintes et se déplacent à l'intérieure d'une couche très de manière désorganisée.

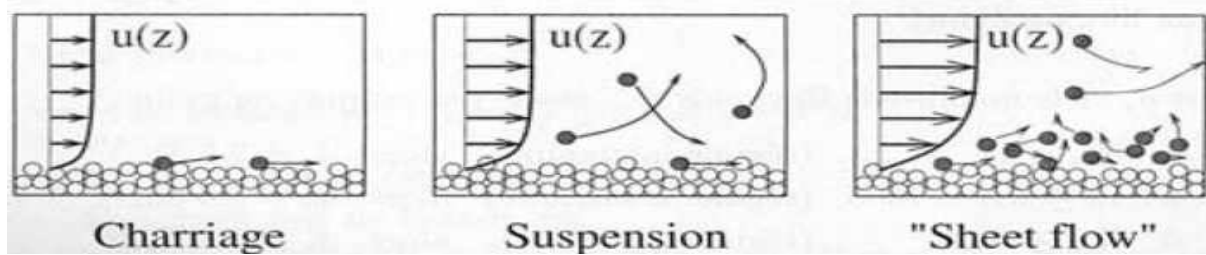


Figure I.5 : Les trois modes de transport sédimentaire (CAMENEN, 2002) d'après (FREDSOE & DEIGAARD, 1994) : transport par charriage, transport par suspension, transport par « sheet flow ».

1.5 La pression anthropique

Aujourd'hui, on a constaté que l'urbanisation du littoral s'est faite au détriment de toutes les règles de sécurité, puisque des bâtis y ont été construits en bordure de la mer sans la prise en compte de l'érosion auxquelles elles s'étaient exposées ; face à l'importance du recul de ces côtes, mais pire encore face à l'augmentation de la vulnérabilité des populations riveraines et de l'économie, il s'est avéré nécessaire de protéger ces infrastructures en réalisant des ouvrages de défense du littoral dont le choix dépend de la nature du site (hydrodynamisme) et de l'usage ultérieur de ces ouvrages.

Parmi les effets de forçage anthropique, la dégradation côtière qui est un problème que l'on retrouve dans le monde entier, notre littoral n'est malheureusement pas épargné par ce phénomène de plus en plus fréquent sur nos côtes. Le danger de voir nos plages se défigurer et perdre de leur biodiversité est aujourd'hui encore plus réel, atteignant un niveau suffisamment alarmant pour que les autorités se décident à mettre en œuvre une stratégie qui permettra leur reconstitution et leur protection (OTMANI.H, 2010).

A decorative graphic consisting of three blue circles of varying sizes and several blue lines. One large circle is at the top center, a smaller one is below it to the right, and a very large one is at the bottom right. Lines connect the circles and extend across the page.

Chapitre II

Présentation de la zone d'étude

Ce chapitre porte sur le contexte général de notre zone d'étude, la frange côtière Est et Ouest de Sidi-Fredj jusqu'à l'Oued Mazafran. En premier lieu, nous abordons la situation géographique, ensuite nous passons aux différents contextes : géomorphologique, géologique, bathymétrique, climatique, hydrographique et hydrodynamique.

2.1 Cadre géographique

Sidi-Fredj se situant à environ 25 km à l'Ouest d'Alger. Du point de vue administratif, elle appartient à la commune de Staouéli, Daïra de Zéralda et Wilaya d'Alger

Notre zone étude et partager sur deux partir :

La première partir c'est la plage Est de sidi-Fredj, ce périmètre s'étend du port de plaisance de sidi Fredj jusqu'à la plage d'El Riadh sur une distance de 1.8 Km environ et vers le large jusqu'à une profondeur de 30 m environ, ayant pour Coordonnées Géographiques : Latitude $36^{\circ}45'55.6''$ à $36^{\circ}45'36.5''$ Nord et Longitude $2^{\circ}50'50.8''$ à $2^{\circ}51'02.8''$ Est.

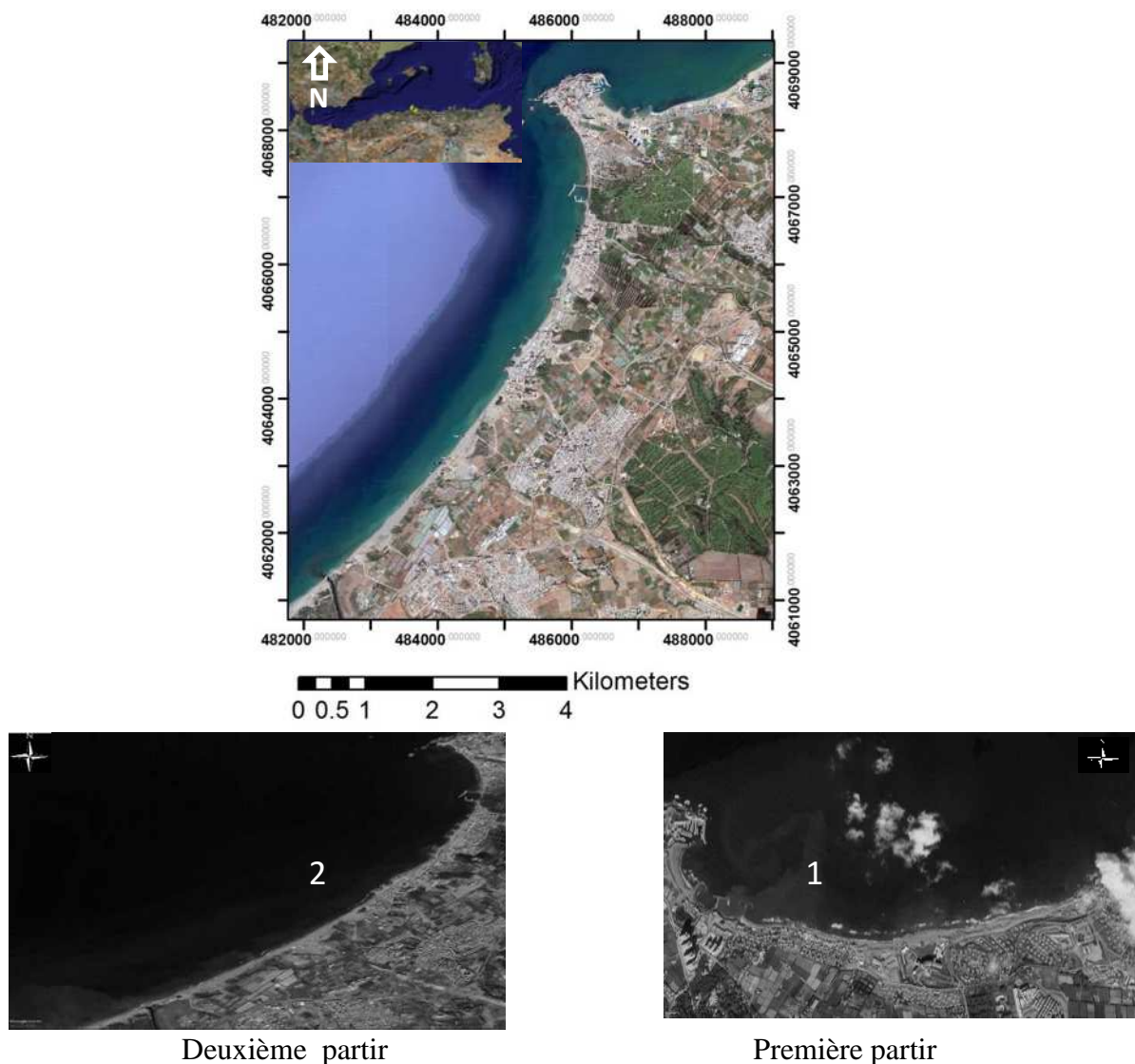


Figure II.1 : situation géographique de la zone d'étude (Google Earth, 2008).

Notre zone d'étude est délimitée :

- Au Nord par la mer Méditerranée;
- À l'Ouest par massif du Chenoua (limite communale) ;
- À l'Est par le massif d'Alger (limite communale) ;
- Au Sud par le Sahel et la plaine de la Mitidja.

La deuxième partie s'étale de Oued Mazafran jusque la station ESSMAL sur l'étendu de 9.5km ayant des coordonnées géographiques ; latitude $36^{\circ}41'49.28''$ à $36^{\circ}45'34.81''$ Nord et longitude $2^{\circ}48'1.0404''$ à $2^{\circ}50'22.81''$ Est

2.2 Cadre géologique

Les massifs littoraux d'Alger et du Chenoua sont deux fragments du domaine Kabyle interne. Ils constituent respectivement les limites géologiques Est et Ouest du littoral de Sidi Fredj, entre lesquels se situent le Sahel au Nord et la plaine de Mitidja au Sud.

2.2.1 Le massif d'Alger

C'est un élément du socle. Il est constitué par un complexe cristallophyllien de Gneiss, Schistes et micaschistes qui réapparaissent à Sidi Fredj comme témoin de la nature du substratum marin dans la zone côtière. Cet édifice constitue un pli de fond allongé Est-Ouest avec une structure écaillée, conséquence d'un charriage vers le Nord, supposé d'âge Alpin (SAADALLAH, 1981).

2.2.1 Le Sahel

C'est un bourrelet à structure anticlinal orienté Est-Ouest séparant, parallèlement à la côte, la plaine de la Mitidja de la mer. Il constitue une limite continue depuis l'Oued Nador à l'Ouest jusqu'à l'Est d'Alger. La cluse du Mazafran interrompt sa continuité. Le Sahel est formé par des terrains d'âge Mio-Plio-Quaternaire, de marnes bleues recouvertes, localement par des couches gréseuses ou sableuses.

Cet anticlinal est dissymétrique, avec un flanc sud raide et mieux conservé et un flanc Nord complément rongé par les érosions successives, liées en grande partie aux manifestations eustatiques pendant le pléistocène

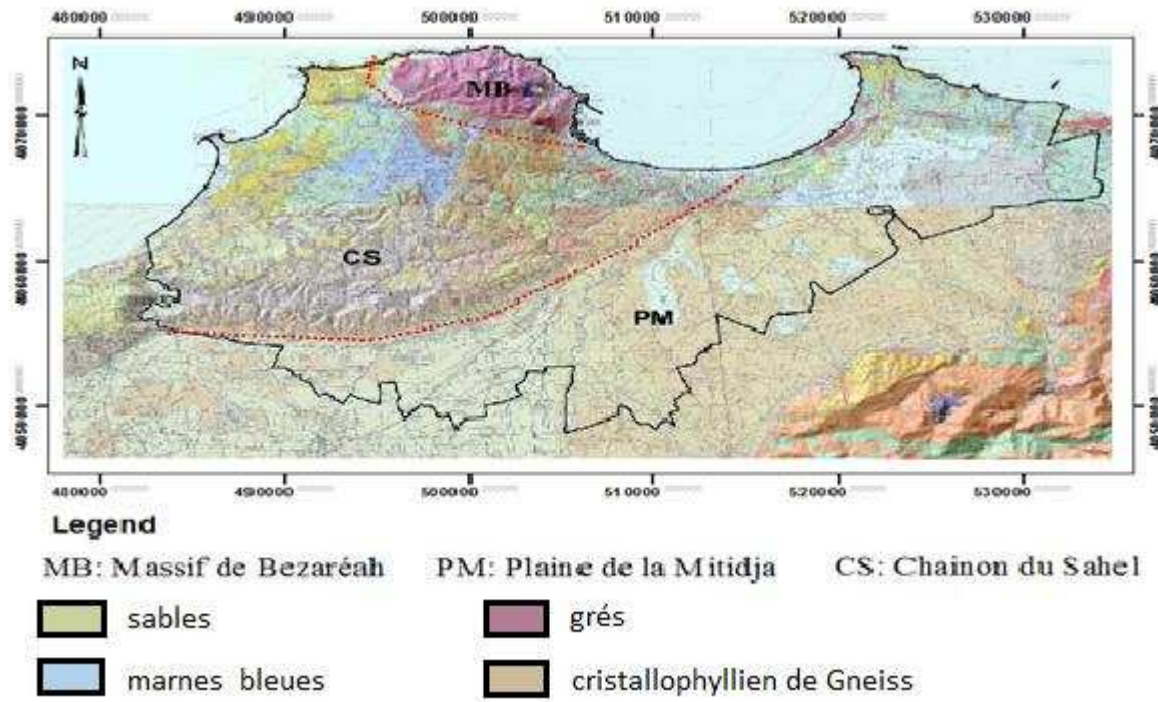


Figure II.2: Cartes géologiques à 1/50 000 de la wilaya d'Alger (EGIS EAU, 2012).

Et pour cadre géomorphologique de la zone d'étude qui est partagée en deux parties de type plages sableuses divisées par une falaise faible.

2.3 La bathymétrie

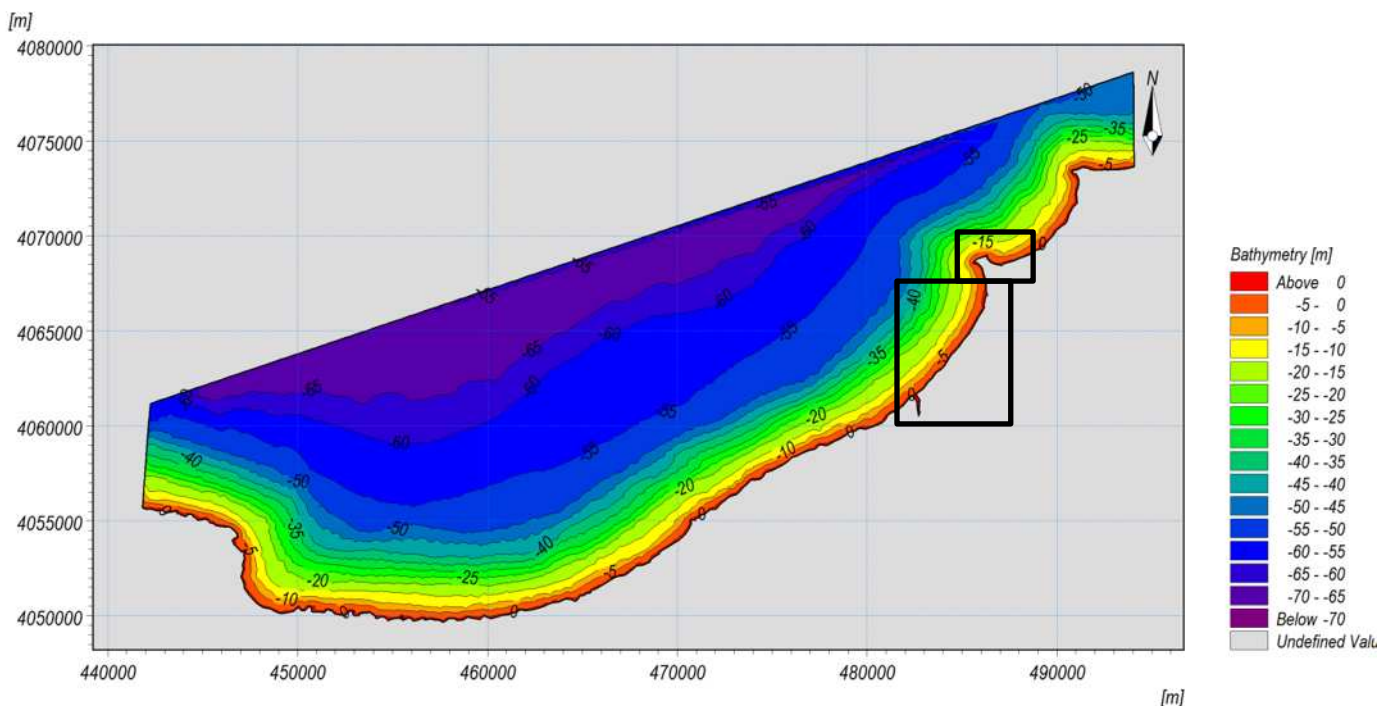


Figure II.3: Cartes La bathymétrie de la baie de Bou Ismail et Baie de El Djamilia (BOUZEOURA, HOUA.2018).

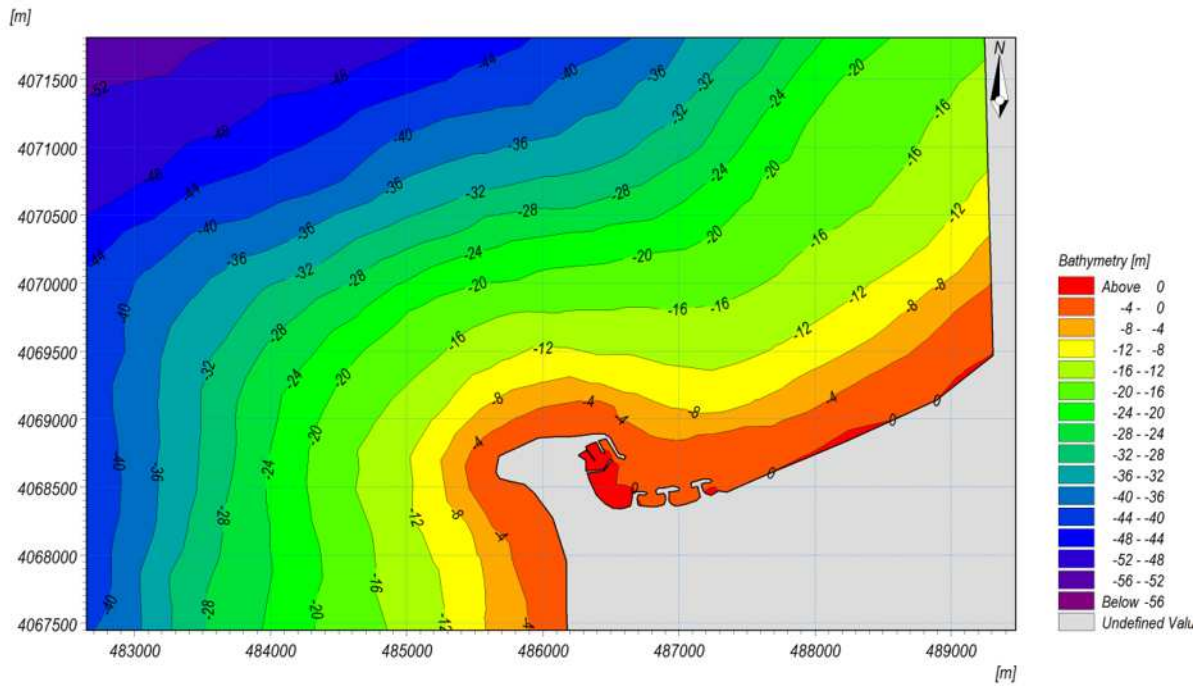


Figure II.4: Cartes La bathymétrique de la partie de Sidi Fredj (BOUZEOURA, HOUA.2018).

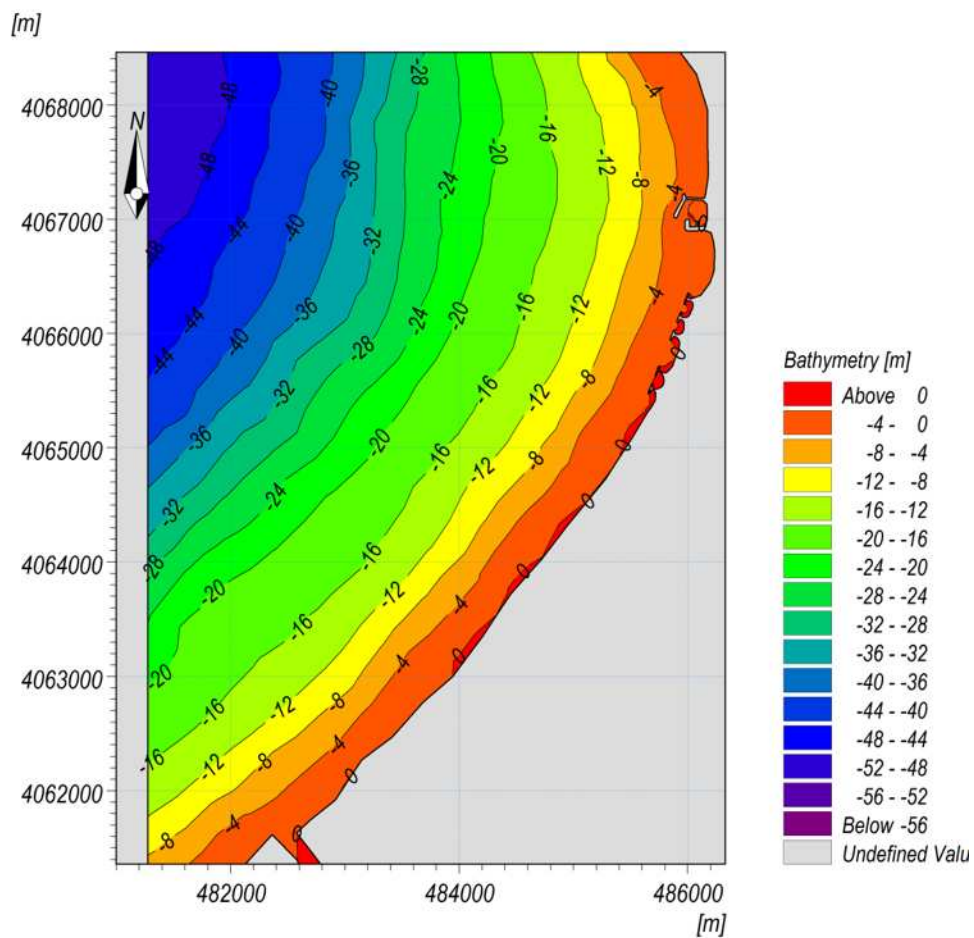


Figure II.5: Cartes La bathymétrique de la partie de baie de Bou Ismail (BOUZEOURA, HOUA.2018).

La bathymétrie obtenue pour la baie de Bou-Ismaïl présente des valeurs comprises entre -1 m et -55 m au large. Bien que l'étude bathymétrique nécessite une précision assez importante pour les calculs hydrodynamiques. D'après l'analyse de la carte bathymétrique on observe un fond marin assez régulier qui se traduit par des isobathes parallèles à la côte. Ces isobathes s'écartent au fur et à mesure que l'on avance vers l'Ouest.

L'analyse de cette carte fait ressortir deux zones :

Zone Ouest : L'analyse de la carte bathymétrique de cette zone montre des isobathes presque parallèles à la ligne de cote, très serrés entre -1 et -35m, cela est dû généralement à la morphologie complexe des fonds et les conditions hydrodynamiques ce qui montre une pente abrupte. Au-delà de cette profondeur, les isobathes se réorganisent et deviennent parallèles et un peu espacées vers le large.

La zone Est : les isobathes de cette zone sont irrégulières et bien espacées en comparant avec la première zone.

L'analyse de la carte bathymétrique de la deuxième zone montre des isobathes plus au moins régulières et parallèles à la côte. La zone présente un fond marin assez régulier dont les isobathes sont très rapprochées traduisant une pente abrupte. Cependant la partie Ouest de cette zone présente une barre sous-marine et ce n'est qu'à partir de -5 m que ces isobathes redeviennent régulières traduisant une pente plus douce, généralement dû au rapport solide et creux.

La zone de Sidi Fredj

La carte bathymétrique obtenue, présente des valeurs comprises entre 0 m et -8 m :

L'analyse de la carte bathymétrique obtenue met en évidence deux zones :

- Une zone entre 0 et -5m, il y a un resserrement des isobathes ce qui indique une pente moins douce, avec la présence de petites fosses au voisinage des ouvrages. Cela témoigne d'une hydrodynamique importante dans cette zone.
- Une zone comprise entre -5 et -8m, avec des isobathes bien espacées qui présentent un fond relativement régulier et une pente douce.

Autour des ouvrages de protection et le port on remarque une pente abrupte.

2.4 Données hydrologiques

Les principaux oueds qui alimentent la zone de Sidi Fredj se déversent dans la baie de Bou – Ismail sont au nombre de deux, et sont obliques à la côte.

2.4.1 Oued Beni Messous

Se situe à 18 km à l'Ouest d'Alger entre El Djamila et Club des Pins, alimente la Baie d'El Djamila, son débit est faible par rapport au débit des autres oueds (Oued Nador et Oued Mazafran) (BENZOHRRA, 1993).

La superficie de bassin versant d'environ 33 Km², son embouchure est à environ 2Km à l'Ouest du port d'El Djamila, il est rarement à sec, lors de fortes précipitations il a une capacité de ravinement peu importante.

Son débit est faible, estimé à 77000 H m³/an (0.245 m³/s)

2.4.2 Oued Mazafran

Situé à l'Ouest de Sidi Fredj, Oued Mazafran est formé par la ramification des Oueds DjerChaffa et Bou-Roumi, possédant un bassin versant de 1850 m², avec un apport période moyenne de 2850 Hm³/an

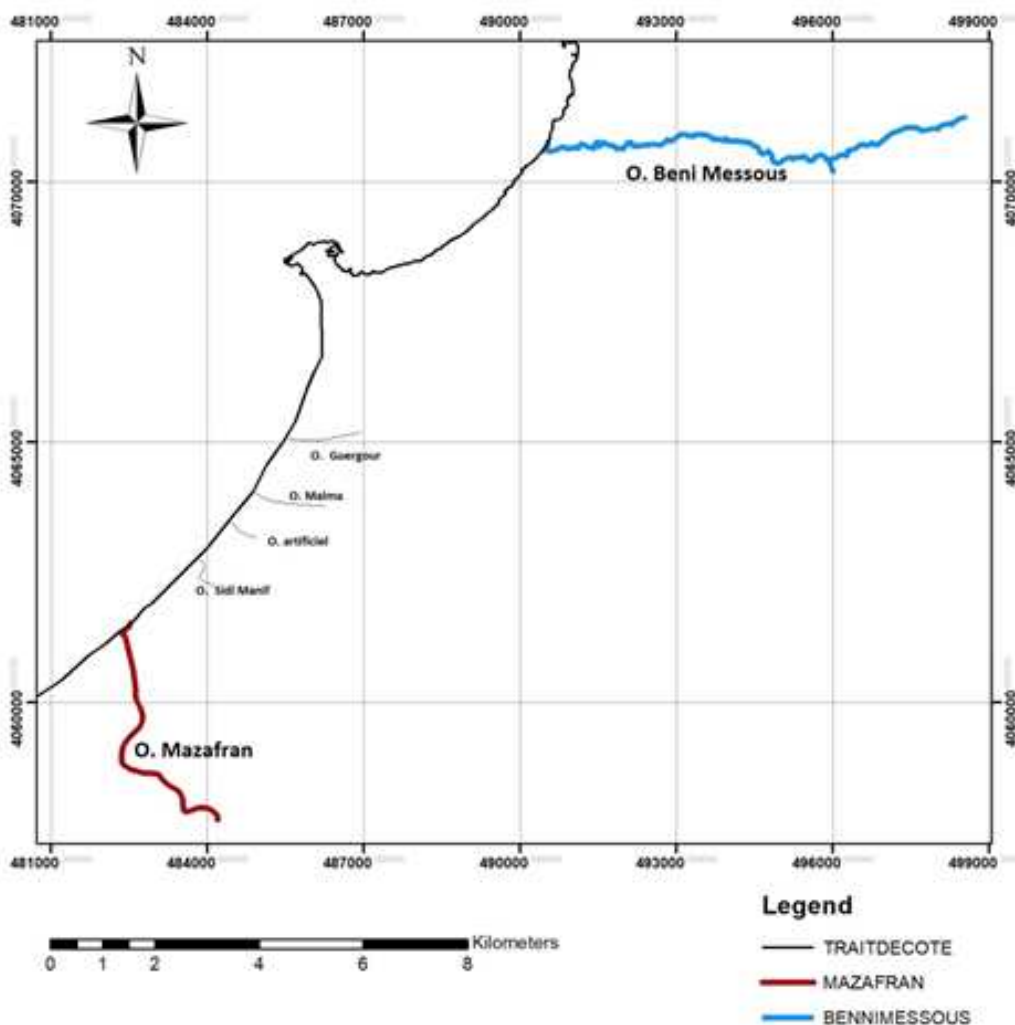


Figure II.6: Le réseau hydrographique régional (BOUZEROURA, HOUA. 2018).

Les Oueds :

Ces photos sont près en 2018



Photo 1: Oued Guergour



Photo 2 : Oued Malma



Photo 3 : Oued artificiel



Photo 4 : Oued Sidi Manif



Photo 5 : Oued Mazafran

2.5 Données météo-océaniques

2.5.1 La précipitation

La région de sidi Fredj est soumise à un climat méditerranéen, caractérisé par des pluies qui sont fréquentes en automne et en hiver et diminuent dès le fin printemps et deviennent presque nulles en été.

En remarques que dans la zone d'étude la moyenne de la précipitation entre 120mm et 0 mm et ça va influée sur les rapports sédimentaires à la zone et tout ça lui à le changement climatiques.

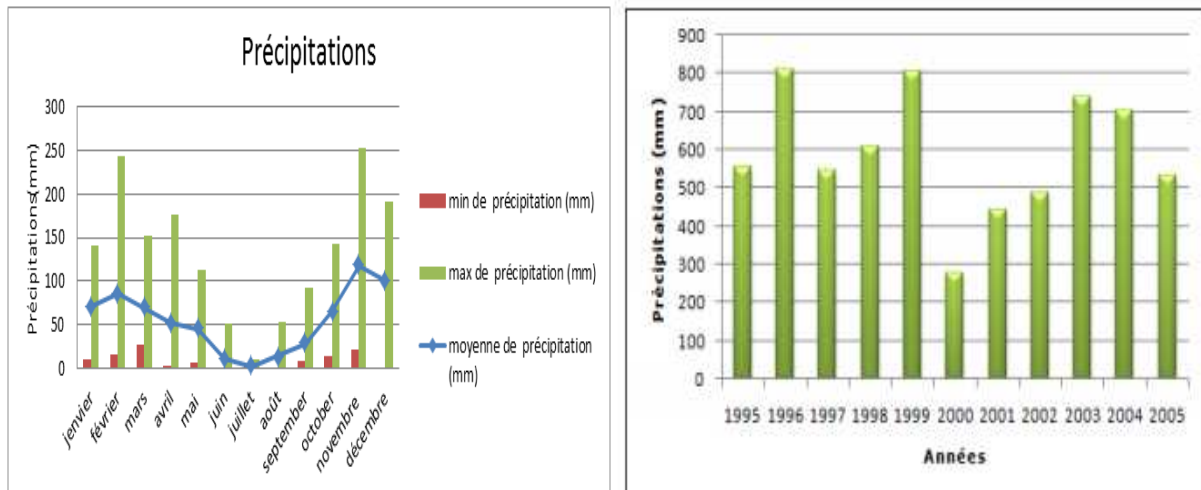


Figure II.7: précipitation annuelles et inter annuelles en mm (ONM, DAR El BRIDA, 2017).

2.5.2 La température

La température est un paramètre liée à climat de la zone, et pour notre zone d'étude on distingue deux saisons, une saison chaude qui s'étale de juin à octobre ou la température moyennes de l'air varient entre 20C° et 24C°, et se rafraichissent en novembre et une autre saison qui débute en décembre et s'achève en mars ou les températures moyennes varient entre 11C°, et 18C°.

Et dans cette figure suivant démontre la variation de température de l'air annelles jour et nuit dans année 2017.

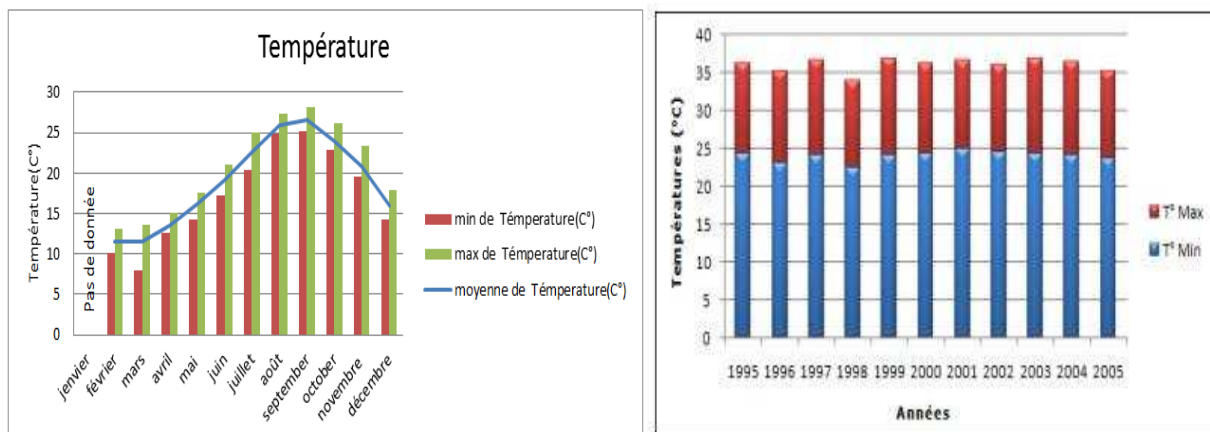


Figure II.8 : température de l'air annuelles et inter annuelles « jour et nuit » en (c°) (ONM, DAR El BEIDA, 2017).

2.5.3 Le vent

Les mesures issues de l'Office National de météorologie indiquent que les vents soufflent environ 60 % du temps dans la région de direction 67.5° et 247.5° avec une vitesse d'environ 15 à 18 m/s. Cependant, les plus importants d'entre eux, de secteur Sud-ouest, ne soufflent que pendant 11 % du temps (Figure II.9).

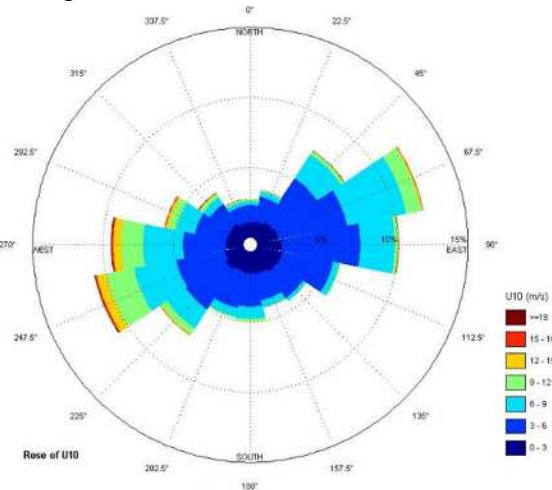


Figure II.9: Rose des vents sur une période annuelle (BOUZEROURA et HOUA, 2018).

2.5.4 La houle

La houle est le facteur le plus important dans la dynamique sédimentaire des petits fonds, Les statistiques des houles dans la côte algérienne, font apparaître deux régimes (Figure II.10)

- Les houles plus fortes sont hivernales, de direction Ouest dominante avec les plus grandes amplitudes (entre 1 et 3m) engendrant une dérive littorale de l'Est vers le Sud-Ouest
- En été, les directions dominantes sont issues du secteur Nord-Est avec des amplitudes plus faibles et leur propagation est pratiquement parallèle à la côte (OUKAZI, 1993).

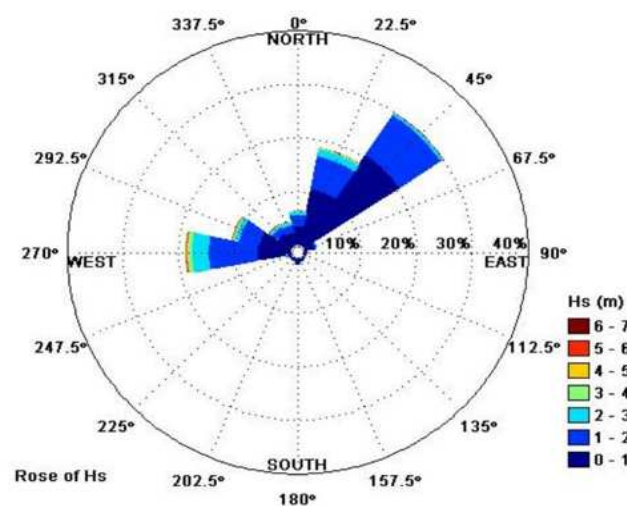


Figure II.10: Rose des houles au large de la côte Algéroise (BOUZEROURA et HOUA, 2018).

2.5.5 Les courants

Les courants jouent un rôle très important dans le transport sédimentaire et participent dans l'évolution de la morphologie côtière, et pour nous courant algérienne sont généralement faibles. D'après des études on retient que :

La direction dominante du courant général est Ouest vers l'Est. Le courant dominante (environ 75% de temps) à une vitesse de 0,25 m/s. Pendant plus de 90% du temps, la vitesse est inférieure à 0,5 m/s. La vitesse est supérieure à 1 m/s pendant seulement 1% de temps (BELABDI Khalid, 2011)

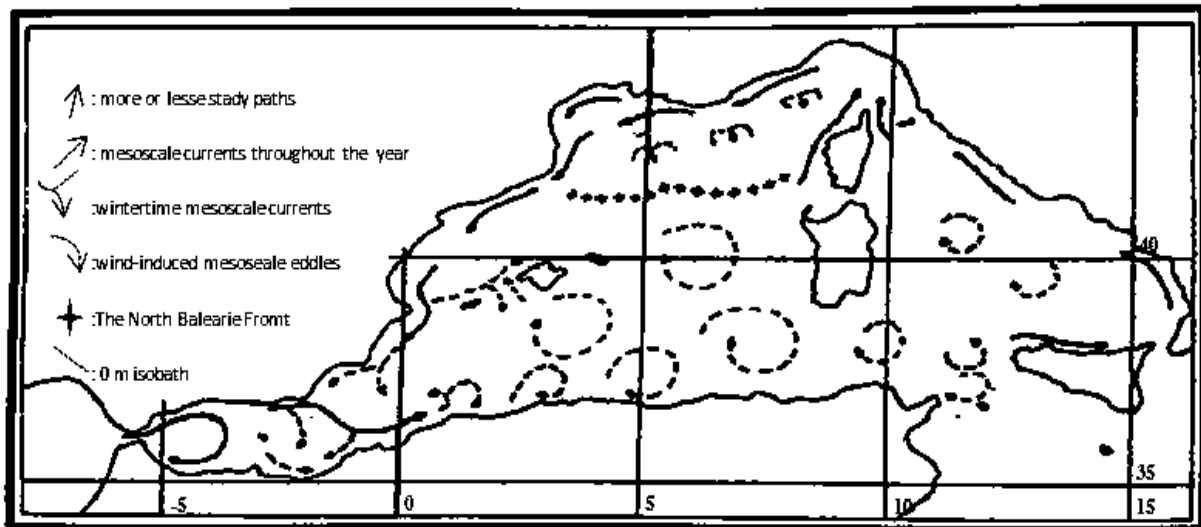


Figure II.11 : circulation de l'eau atlantique modifiée dans la Méditerranée (MILLOT, 1987).

2.6 Les facteurs anthropiques

2.6.1 Urbanisation

Les édifices construits trop proche du trait de côte ne tiennent pas longtemps. L'attaque de la construction commence à sa base par déflation du sable sous-jacent et affaissement, la fondation petit à petit se trouve à découvert et déstabilise les édifices ; à la moindre tempête l'effondrement commence.

2.6.2 La fréquentation humaine

Elle concerne sur-fréquentation des cordons dunaires qui détruit la végétation ou empêche son développement et expose le sable à l'action du vent, aussi l'extraction des matériaux modifie les échanges sédimentaires.

2.6.3 L'aménagement et protection du littoral

Se sont tout type d'ouvrage de protection face à l'action de la houle pour but de projeter un le site (urbain ou plage), et les ouvrages portuaire que soit des ports de pêche et plaisance ou bien port d'utilité armé.

2.7 Historique de la zone

a) Sidi Fredj :

On 1950, La plage Est de Sidi-Fredj a été considérée comme stable. Depuis la date de construction du port de plaisance, cette zone commence à perdre son équilibre, elle a été le siège d'une importante érosion marine, qui s'est fait beaucoup sentir durant les dernières années 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 et IDIR, 2006).

Dans les années 1970, la baie à l'est de la presqu'île a connu le développement d'un centre touristique attractif, c'est un facteur qui accentue l'érosion.

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.



Photo 6: photo aérien de la plage Est de Sidi Fredj de 1975.



Photo 7: image satellitaire de la plage Est de Sidi Fredj de 2018.

b) Bou Ismail :

La partie de la baie Bou Ismail a été présumée comme stable jusqu'à 1959. Après de cette date, la zone a commencé à avoir des changements, en 1985 l'armée militaire a construit le port et ça crée des problèmes dans la zone « le port à bloquer le transit littoral ce qui a causé le recule de trait de côte dans la zone », après l'année 2008 les autorités locales ont décidé de construire trois brise-lame et un épis au niveau la zone de complexe touristique afin de le protéger. En 2014 les autorités ont décidé de mettre en place trois brise-lames au niveau de la plage Plam Beach, et en 2016 ils ont ajouté deux autres brise-lames dans la plage Azur, qui sont série des brise-lames dans la zone.

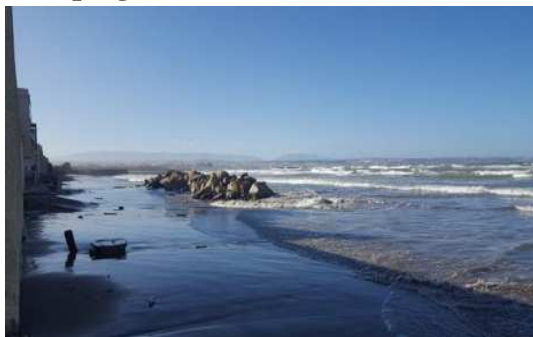


Photo 8: photo aérien de la partie de baie Bou Ismail en 1959.



Photo 9: image satellitaire de la partie de baie Bou Ismail en 2018.

Les plages de la zone en 2018:



Côte Ouest



Côte Est

Photo 10 : Plage Ouest Sidi Fredj

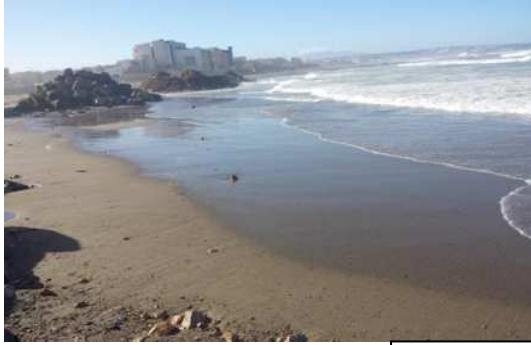


Côte Ouest

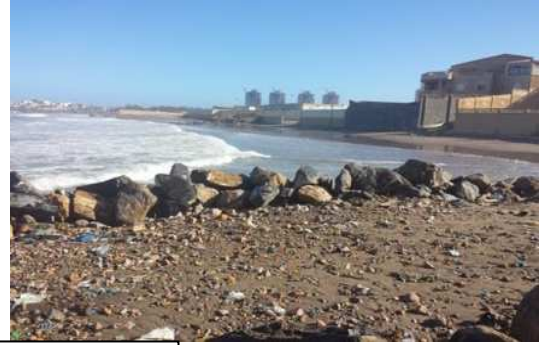


Côte Est

Photo 11 : Palm Beach



Côte Ouest



Côte Est

Photo 12 : Plage Sable d'Or

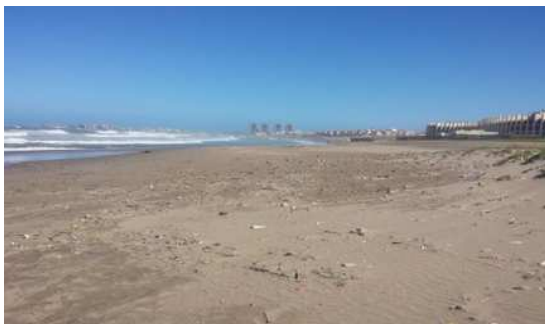


Côte Ouest



Côte Est

Photo 13 : Azur Plage

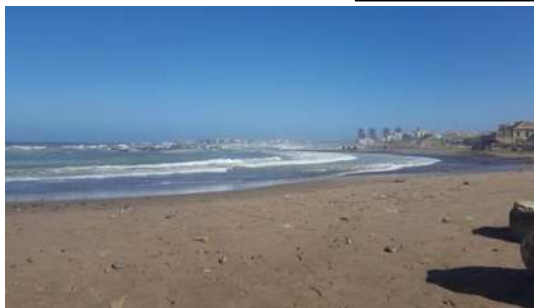


Côte Ouest



Côte Est

Photo 14 : Plage Du Complexe Touristique



Côte Ouest



Côte Est

Photo 15 : Plage El Kheloufi

The background features an abstract graphic composed of three blue circles of varying sizes and several thin blue lines. One large circle is at the top center, a smaller one is below it to the right, and a very large circle is at the bottom right. Lines connect the top-left and top-center circles, and another line connects the top-center circle to the middle-right circle. A long line also extends from the top-left towards the bottom-right, passing behind the text.

Chapitre III

L'évolution du trait de côte

3.1 Introduction :

L'analyse diachronique de l'évolution du littoral de Sidi Fredj jusqu'à l'Oued de Mazafran a été déterminée grâce à la comparaison de différentes images satellitaires obtenus à l'aide de Google Earth, qui est un logiciel SIG, et cela sur une période allant de 2004 jusqu'à 2018.

Afin d'obtenir des résultats plus significatifs et fiable concernant l'évolution de notre site d'étude, avec un espacement de 14 ans. Cette étude a été réalisée grâce à la superposition des images satellitaires.

3.2 Les logiciels utilisés

Pour étudier l'évolution du trait de côte on doit faire appel à plusieurs logiciels.

- **Google Earth Pro**

Google Earth Pro est un logiciel qui permet de voyager dans le monde via un globe virtuel et d'afficher des images satellites, des plans, des reliefs et des bâtiments 3D. C'est un logiciel qui contient des images de grande résolution de l'ordre de 30m à 60cm (SPOT, QUICKBIRD, IKONOS,...).

Ces images sont issues d'entreprises de commercialisation d'images et sont archivées sur le serveur de Google Earth Pro qui est accessible par connexion à l'internet. Elles sont mises à jour au fur et à mesure.

- **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 in LARBI, 2017) Le logiciel ArcGIS 10.2 comprend trois applications principales : ArcCatalog, ArcMap, et ArcToolbox.

Et chaque application a la en fonction fondamentale de ArcGIS.

- **Aperçu de l'extension DSAS**

Le système d'analyse Shoreline Digital (DSAS) est une application logicielle disponible gratuitement qui fonctionne avec le (ESRI) Système d'information géographique (ArcGIS). Le DSAS calcule les statistiques de taux de changements pour une série chronologique des données vectorielles du littoral. Les méthodes utilisées peuvent être décrites comme suit :

- a) **Mouvement net des rivages (NSM)**: les mouvements du littoral net signalent une distance par an. Le NSM est associé aux données de seulement deux rivages. Il prend en compte la distance totale entre les rivages les plus anciens et les plus récents pour chaque profil (AZZI, M. BOUKERT, H 2017)
- b) **La méthode des points extrêmes (End Point Rate - EPR)** : l'EPR est la distance sur le transect entre deux traits de côte, le plus récent et le plus ancien, divisée par le nombre d'années séparant ces traits de côte. (HIMMELSTOSS, 2009 in AZZI, M. BOUKERT, H 2017).
- c) **La méthode de la régression linéaire (Linear Regression - LRR)** : une droite de régression linéaire des moindres carrés est établie grâce à toutes les intersections des traits de côte historiques pour un transect. La pente de cette droite est le taux de régression linéaire en mètres par an. (HIMMELSTOSS, 2009 in AZZI, M. BOUKERT, H 2017).

Définir / Modifier les paramètres : spécifier 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 transects reconnus ajoutés au projet ArcMap actif.
- **Calculer les statistiques** : lance une boîte de dialogue peuplée avec une liste sélectionnable des statistiques de changements 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 profil 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 (Azzi 2017).

3.3 Résultats

L'évolution des variations spatio-temporelles de la position du trait de côte a été étudiée dans deux zones (Sidi Fredj, Bou Ismail).

Voici l'étude de l'évolution du trait de côte pour les deux zones :

A- Sidi Fredj :

Pour cette zone, la digitalisation de trait de côte a été faite sur sept images satellitaires de la plage Est de Sidi Fredj des dates différentes entre 2004 et 2018

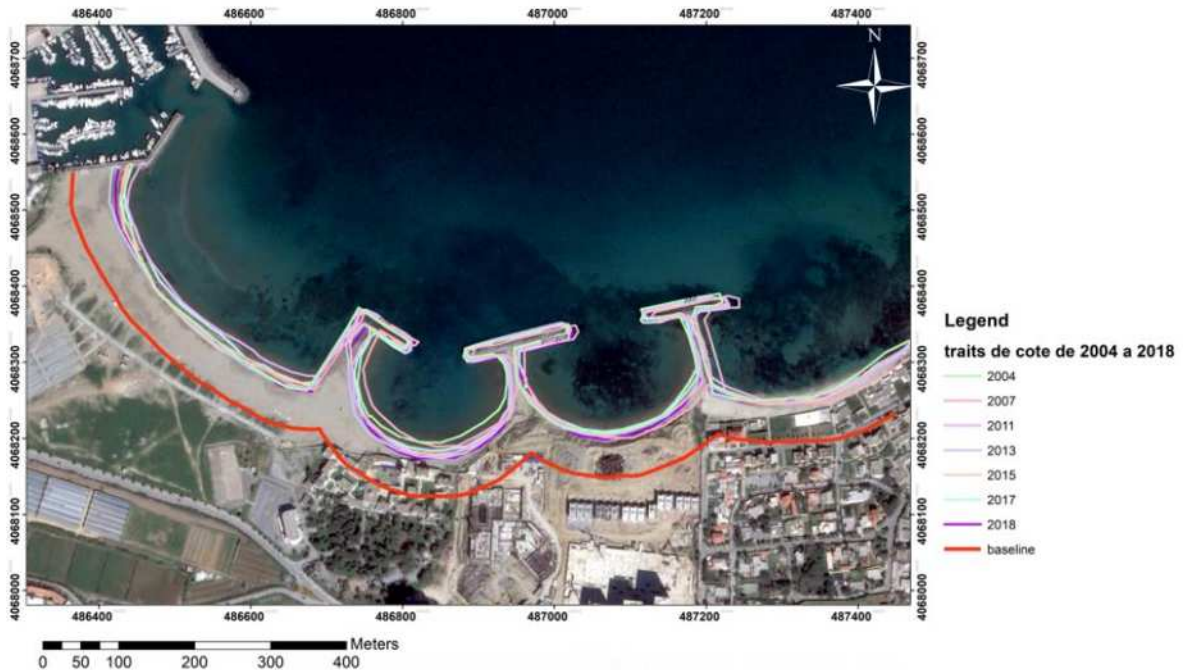


Figure III.1 : Evolution du trait de côte de la plage Est de Sidi Fredj selon différentes périodes entre 2004 et 2018.

- **Génération des transects**

L'analyse de l'évolution spatio-temporelle entre 2004 et 2018 de la position du trait de côte de la plage Est de Sidi Fredj a été faite sur 55 transects d'une longueur de 200 m espacés de 25 m.

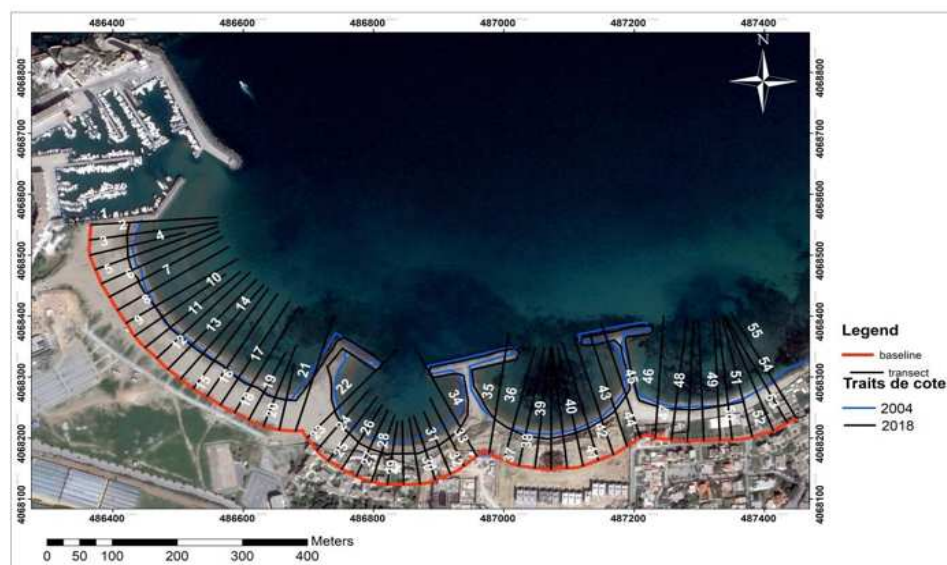


Figure III.2 : Evolution de la ligne de côte de la plage Est de Sidi Fredj entre 2004 et 2018 et position des transects.

- **Calcul statistique :**

- a) **Mouvement net des rivages (NSM)**

Pour bien comprendre la dynamique des différents traits de côte selon l'échelle spatio-temporelle, on a projeté les données statistiques du mouvement net des rivages (NSM) calculées par DSAS pour élaborer une carte représentative de la plage Est de Sidi Fredj.

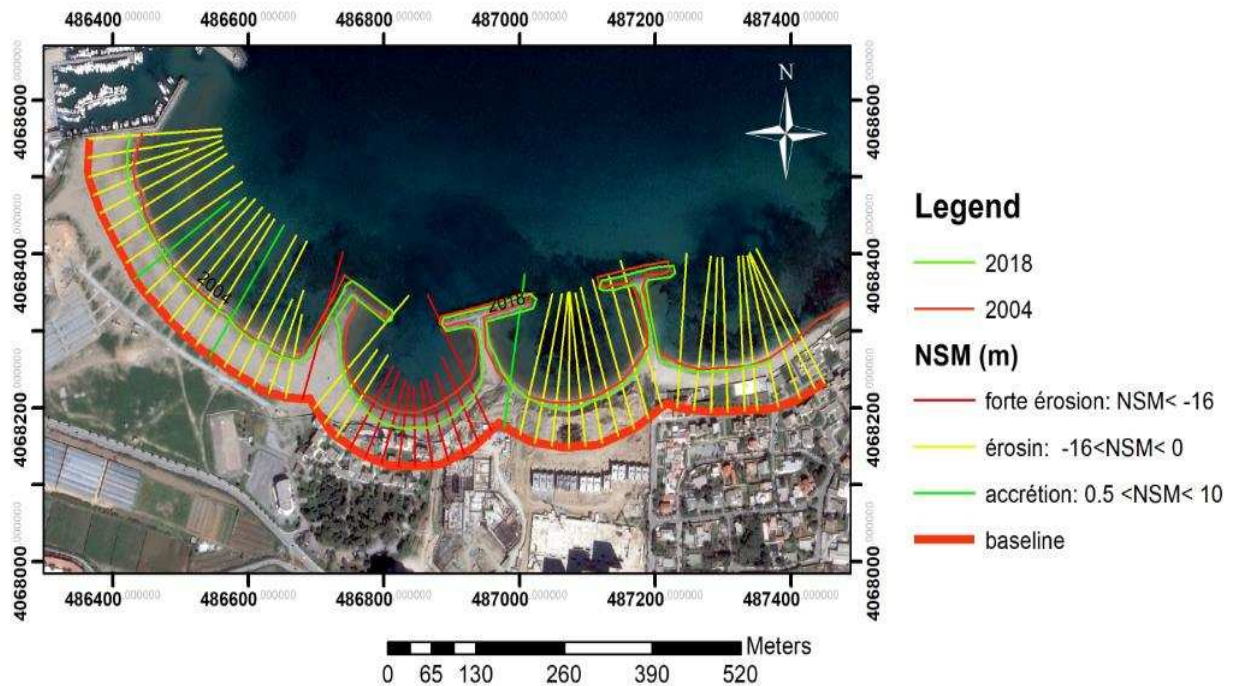


Figure III.3 : Illustrations du Mouvement net des rivages (NSM) de la plage Est de Sidi Fredj entre 2004 jusqu'à 2018.

Interprétation des résultats :

La figure III.3 nous renseigne sur la distance de déplacement du trait de côte sur chaque transect entre 2004 et 2018 dans la plage de Sidi Fredj.

La couleur verte des transects indique une accrétion de 0.5 à 10 m, par contre la couleur qui indique régressent sont le jaune et le rouge de grandeurs respectueusement d'environ 0 à 16 m et supérieur à 16 m pour les forte érosions. (Par contre les couleurs jaune et rouge indiquent la régression ; respectivement ; avec une intervalle de 0 à 16 m et supérieur à 16m)

On voit que la plage El Riadh c'est la plus érodée, recule supérieur à 16 m, par rapport à toutes les plages de Sidi Fredj qui subit une érosion inférieur à 16 m.

b) Le taux de point final (EPR)

Pour bien comprendre l'évolution de ces différents traits de côte selon l'échelle spatio-temporelle, on a projeté le support statistique du taux de point final (End Point Rate) pour l'élaboration d'une carte représentative de la plage Est de Sidi Fredj.

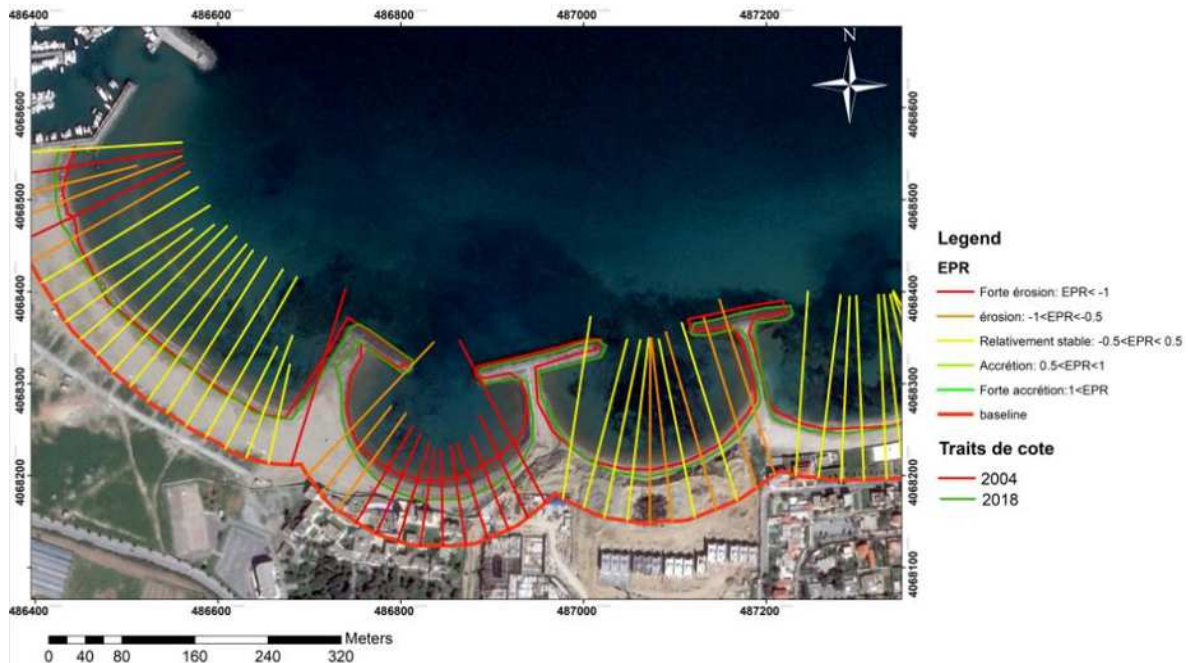


Figure III.4 : Illustration du rythme d'évolution du trait de côte de la plage Est de Sidi Fredj entre 2004 jusqu'à 2018

Interprétation des résultats

D'après la figure III.4, on peut nous renseigner sur les variations qui ont subi les plages de Sidi Fredj au cours de ces 14 dernières années, le trait de côte entre 2004 et 2018 a subi beaucoup de changements.

L'évolution de la ligne de rivage de la partie proche du port d'intense érosion qui dépasse les 1 m/an par contre la partie sud de la plage Est de Sidi Fredj qui est relativement stable avec une vitesse de -0.5 à 0.5 m/an, alors que pour la plage El Riadh on remarque une forte vitesse d'érosion avec une valeur supérieur à 1 m/an.

La plage El Menzah est caractérisée par une ligne de rivage stables de vitesse de -0.5 à 0.5 m/an.

c) Le liner Régression Rate-of-change (LRR)

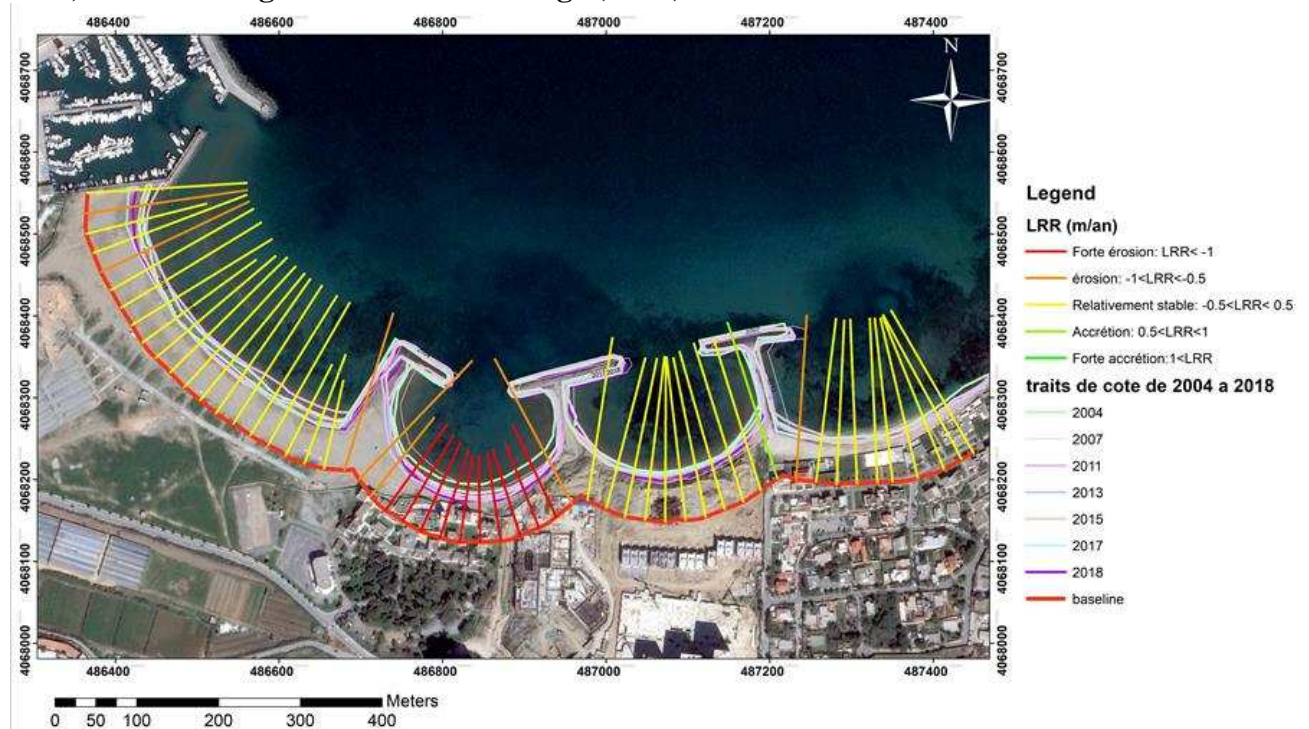


Figure III.5 : représentation de LRR selon chaque transect dans la plage Est de Sidi Fredj entre 2004 et 2018

Interprétation des résultats

La figure III.5, représente le taux de la régression linéaire dans les plages Est de Sidi Fredj , El Riadh et El Menzah entre les années 2004, 2007, 2011, 2013, 2015, 2017 et 2018. on constate que le trait de côte a subi des changements remarquables.

Au niveau de la plage d'Est et El Menzah, la tendance d'engraissement est relativement stable entre -0.5 et 0.5 m/an, cela dû en grande partie au blocage du transit sédimentaire par les épis.

Par contre dans la plage El Riadh la tendance d'érosion est plus grande de -1m/an est ceci est dû à la diffraction de la houle et aussi probablement dû à la distance entre les épis en T et en L.

d) Analyse du bilan sédimentaire

La cartographie de l'évolution surfacique des plages Est de Sidi Fredj, El Riadh et El Menzah, nous a permis de calculer les surfaces d'érosion et d'accrétion pour effectuer des histogrammes des bilans sédimentaires. L'analyse du bilan sédimentaire nous permet de quantifier les surfaces gagnées et les surfaces perdues des plages Est de Sidi Fredj, El Riadh et El Menzah et cela entre deux traits de côtes 2004 et 2018.



Figure III.6 : analyse du taux d'évolution en surface entre 2004 et 2018

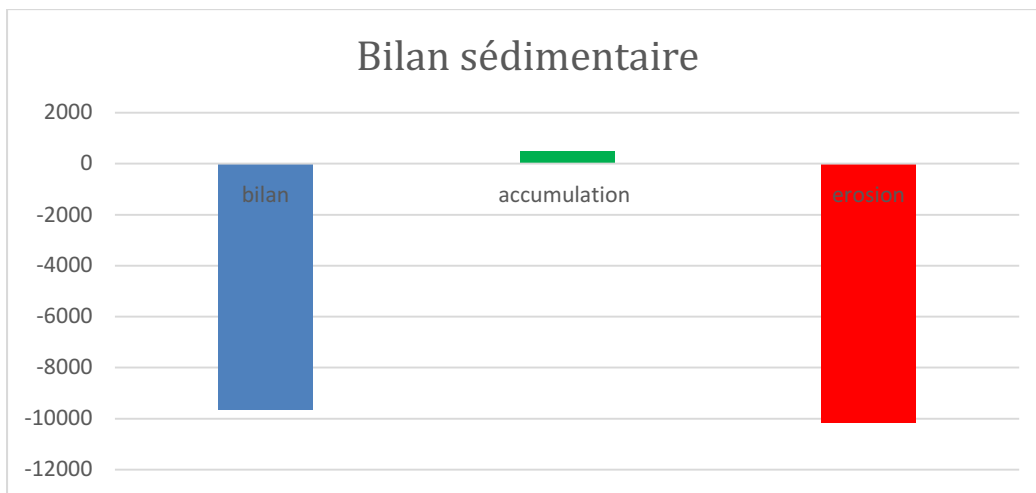


Figure III.7 : Bilan sédimentaire de la plage Est de Sidi Fredj entre 2004 et 2018.

Interprétation des résultats

Selon la figure III.7, on remarque une grande érosion dans la plage El Riadh qui peut atteindre une surface de 5994 m² et une faible érosion dans la plage Est et El Menzah avec une surface de 1747 m².

Un gain de surface 510 m² a été enregistré dans la plage El Menzah bien précisément au côté Ouest de l'ouvrage.

Le bilan sédimentaire des plages Est, El Riadh et El Menzah entre 2004 et 2018 nous renseigne sur l'état de la zone d'étude, ce bilan est négatif d'une surface de 9645 m².

B- Bou Ismail :

Dans cette deuxième zone, la digitalisation des traits de côte a été faite sur huit images satellitaires des plages Ouest de Sidi Fredj jusqu' à Oued Mazafran de dates différentes entre 2004 et 2018

Génération des transects :

L'analyse de l'évolution de la variation spatio-temporelle entre 2004 et 2018 de la position du trait de côte de la baie de Bou Ismail a été faite sur 201 transects d'une longueur de 200 m et d'un pas de mesure de 50 m et pour donner une bonne vision de résultats on a partagé la zone d'étude en deux parties.

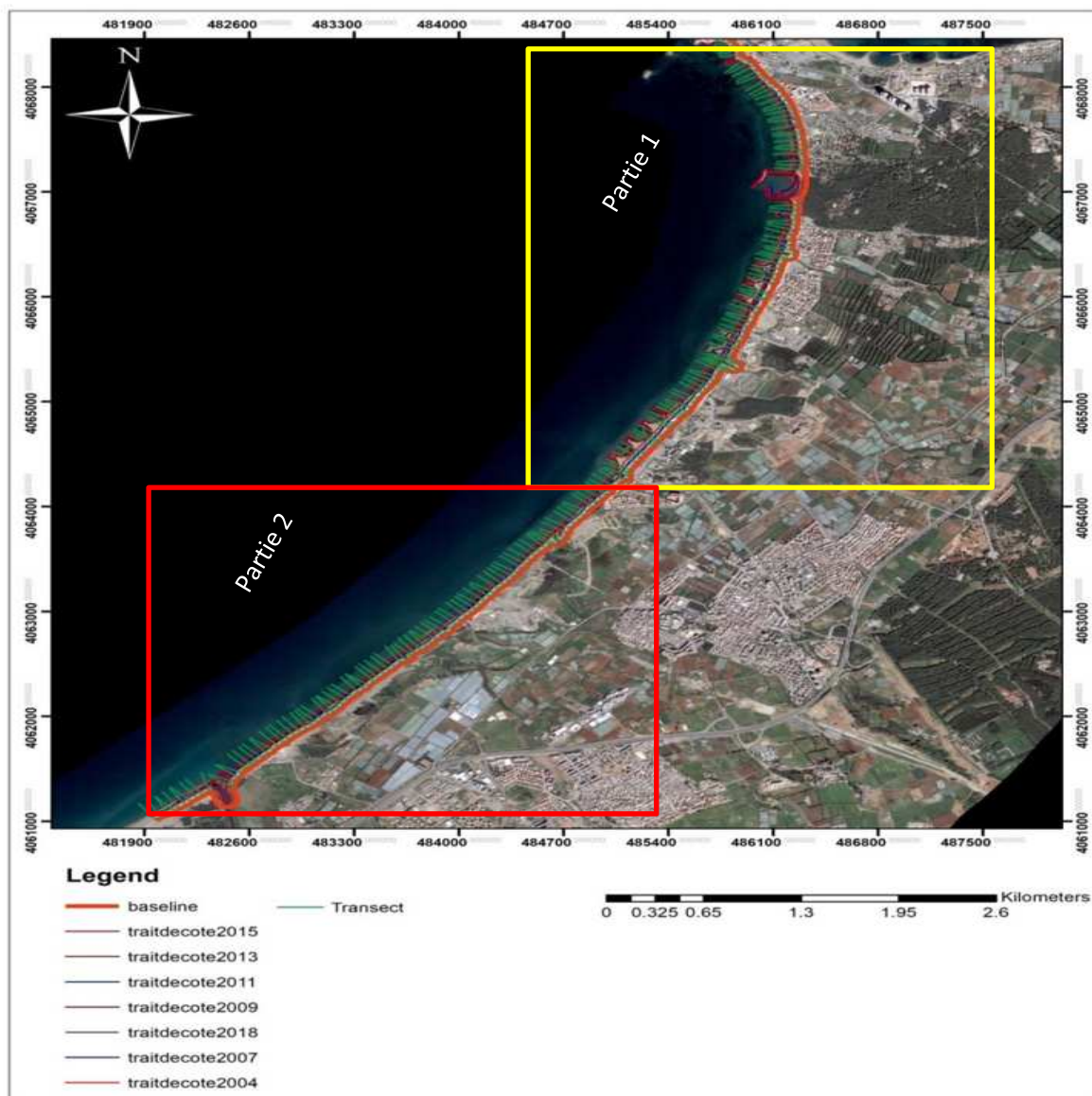


Figure III.8 : Evolution de ligne de côte de la baie Bou-Ismaïl entre 2004 et 2018 et position de transects.

- Les calculs statistiques :

- a) Mouvement net des rivages (NSM)

Pour bien comprendre la dynamique des différents traits de côte selon l'échelle spatio-temporelle, on a projeté les données statistiques du mouvement net des rivages (NSM) calculées par DSAS pour élaborer une carte représentative de la baie de Bou Ismail.

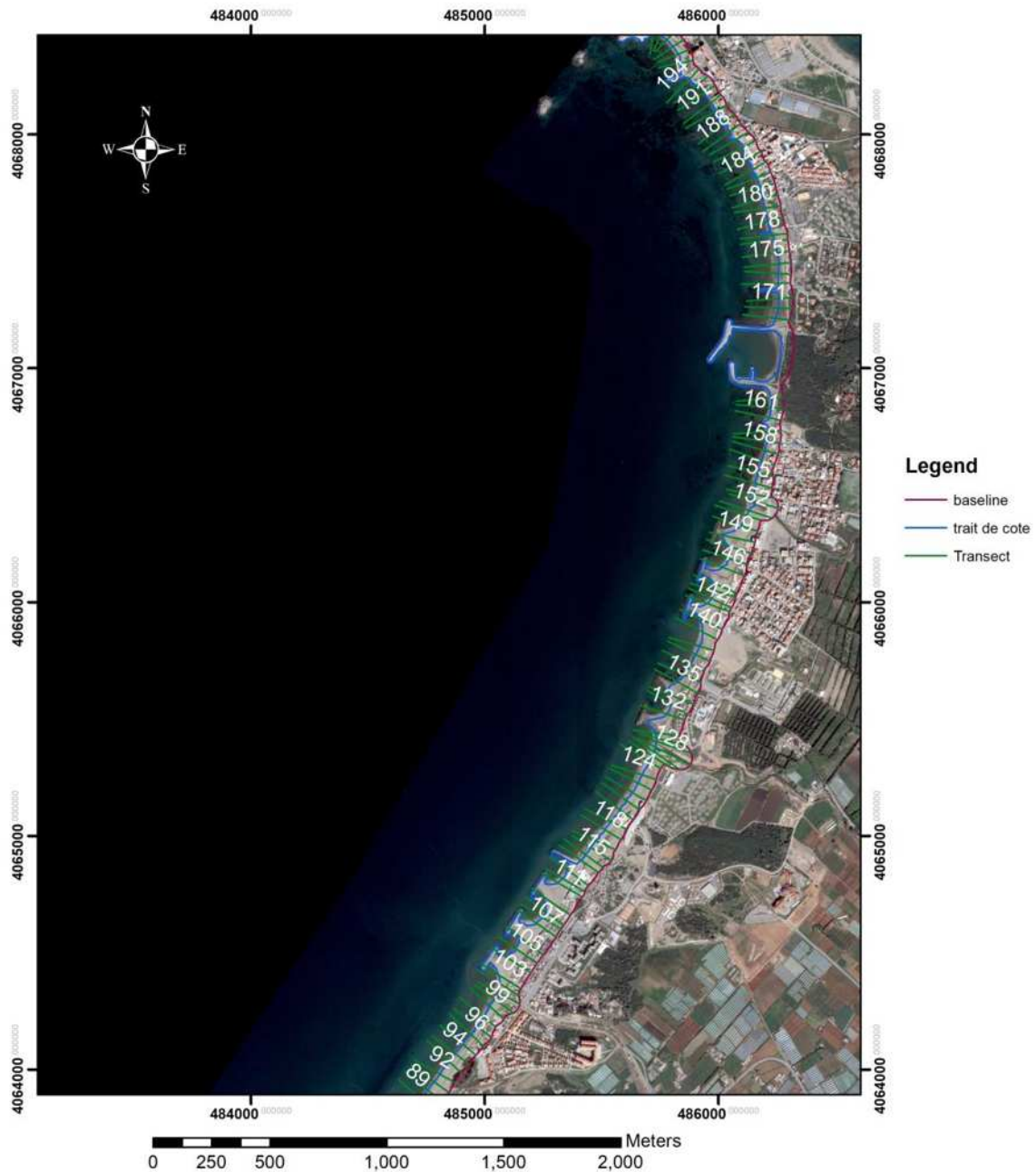


Figure III.9 : Illustration du Mouvement net des rivages (NSM) de la première partie de la baie de Bou Ismail entre 2004 et 2018.

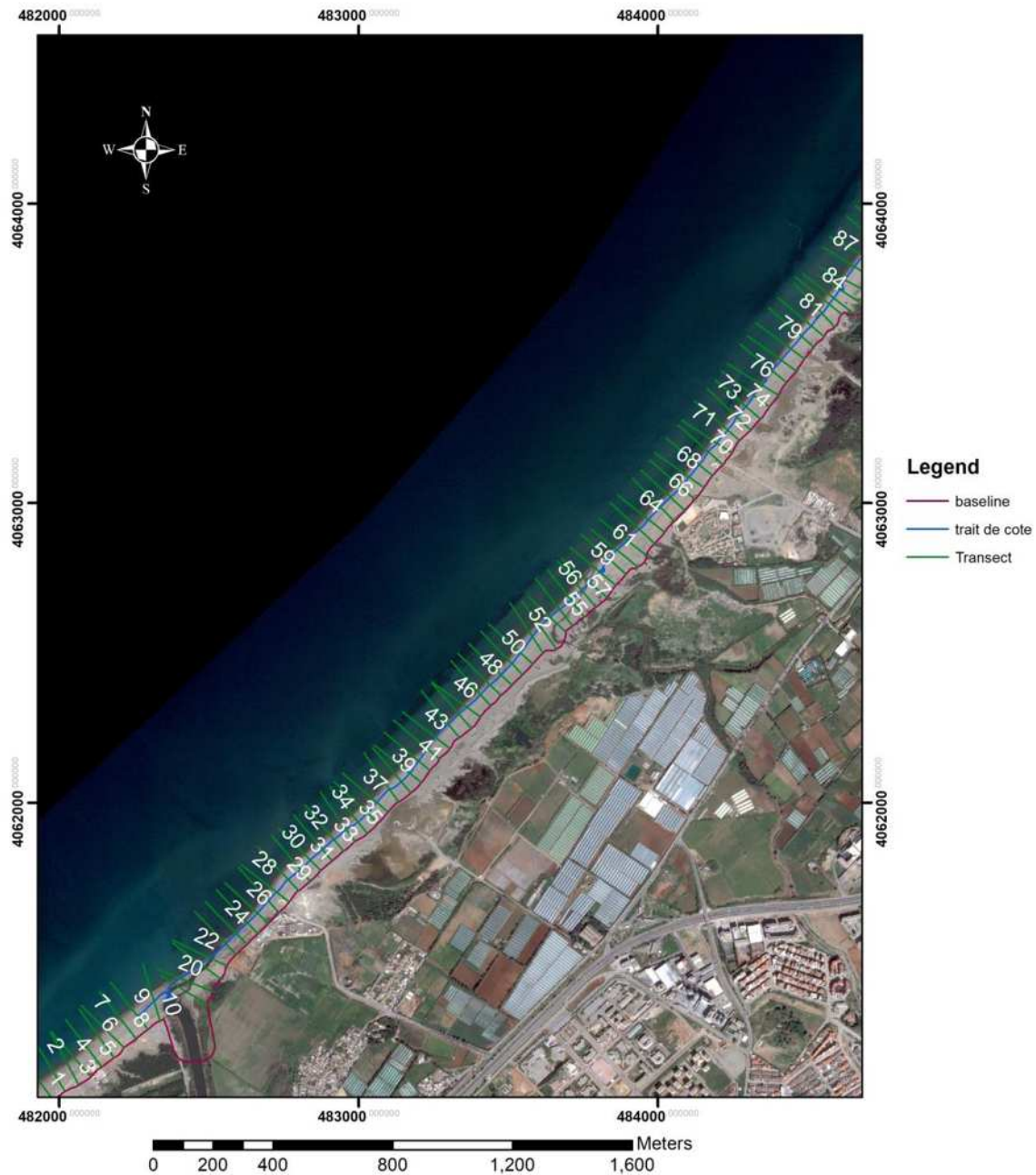


Figure III.10 : Illustration du Mouvement net des rivages (NSM) de deuxième partie de la baie de Bou Ismail entre 2004 et 2018.

Interprétation des résultats

Selon la figure III.9 et III.10 qui représentent les Mouvements nets des rivages de la baie de Bou Ismail entre 2004 et 2018,

La couleur verte sombre des transects indique une forte accrétion : supérieure à 20 m, le vert claire signifie l'accumulation de 0 à 20 m. Par contre les couleurs des transects qui indiquent la régression sont : le jaune, l'orange et le rouge avec une érosion maximale de 32 m.

Généralement ; on observe une faible érosion (de -16 à -0.5 m), sauf quelques parties de la zone qui nous indique une accrétion d'une grandeur de 0 à 20 m, tel que la plage Azur (avant les ouvrages), la plage de Sable d'Or et une partie de la plage El Kheloufi.

Nous remarquons aussi un taux d'érosion important située au niveau des embouchures Oueds Mâlma , Mazafran et même au niveau de la partie centre de la plage El Kheloufi.

Cette érosion est due à la mobilité des embouchures des Oueds.

L'intensification peut générer une forte érosion au niveau de centre plage EL Kheloufi.

b) Le taux de point final (EPR)

Pour bien comprendre l'évolution de ces différents traits de côte selon l'échelle spatio-temporelle, on a projeté le support statistique du taux de point final (End Point Rate) pour élaborer une carte représentative (figure III.13 et 14) pour la baie de Bou Ismail.

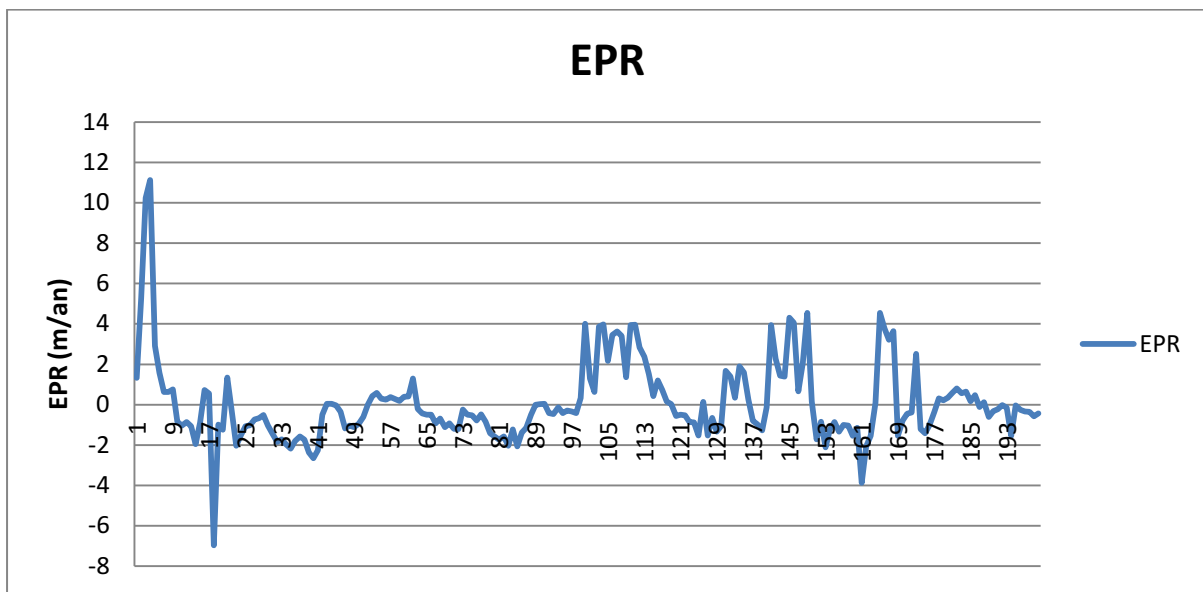


Figure III.11 : Evolution du trait de côte au niveau de la de baie Bou Ismail entre 2004 et 2018.

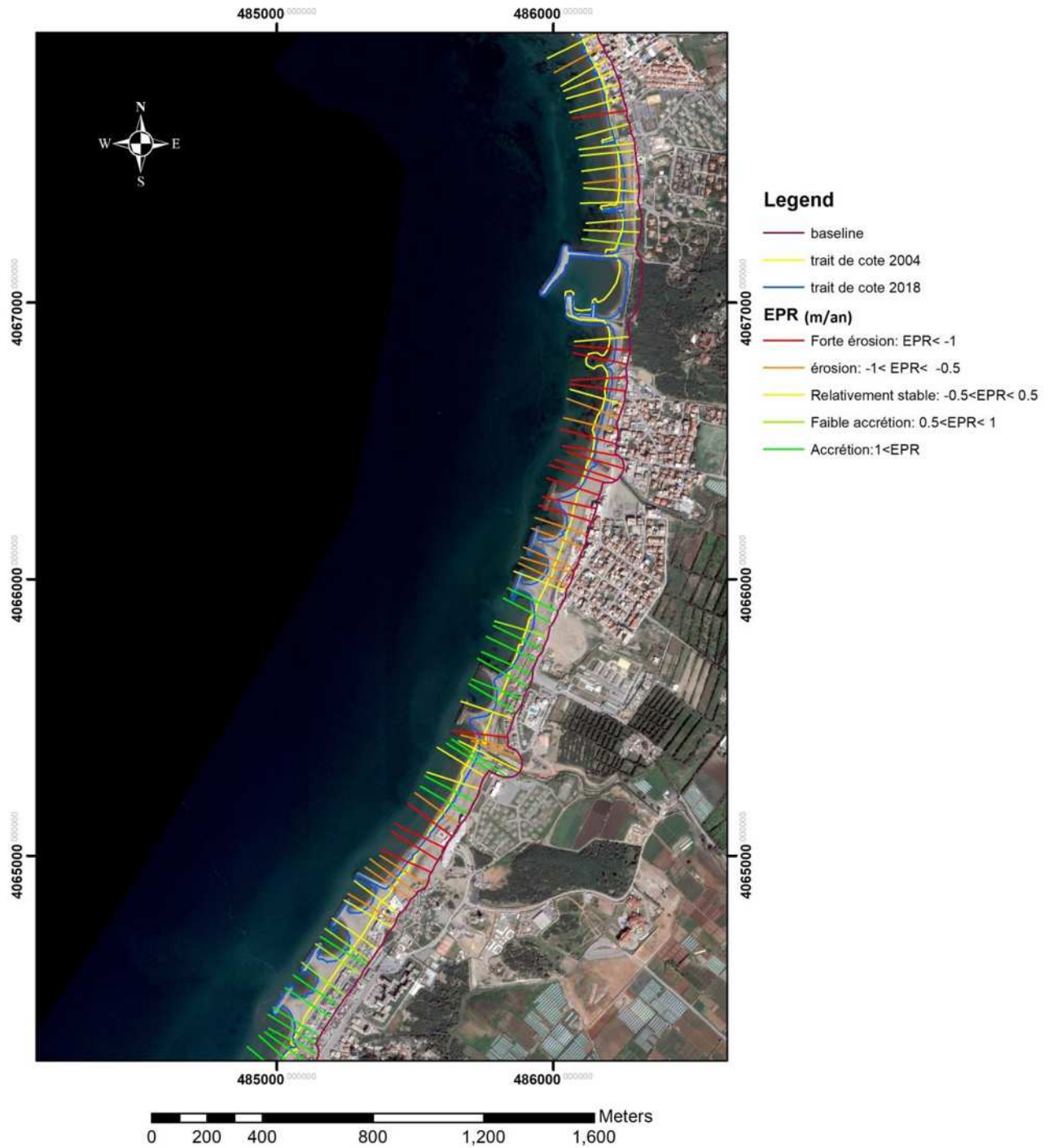


Figure III.12: Illustration du rythme d'évolution du trait de côte de la première partie de la baie de Bou Ismail entre 2004 et 2018.

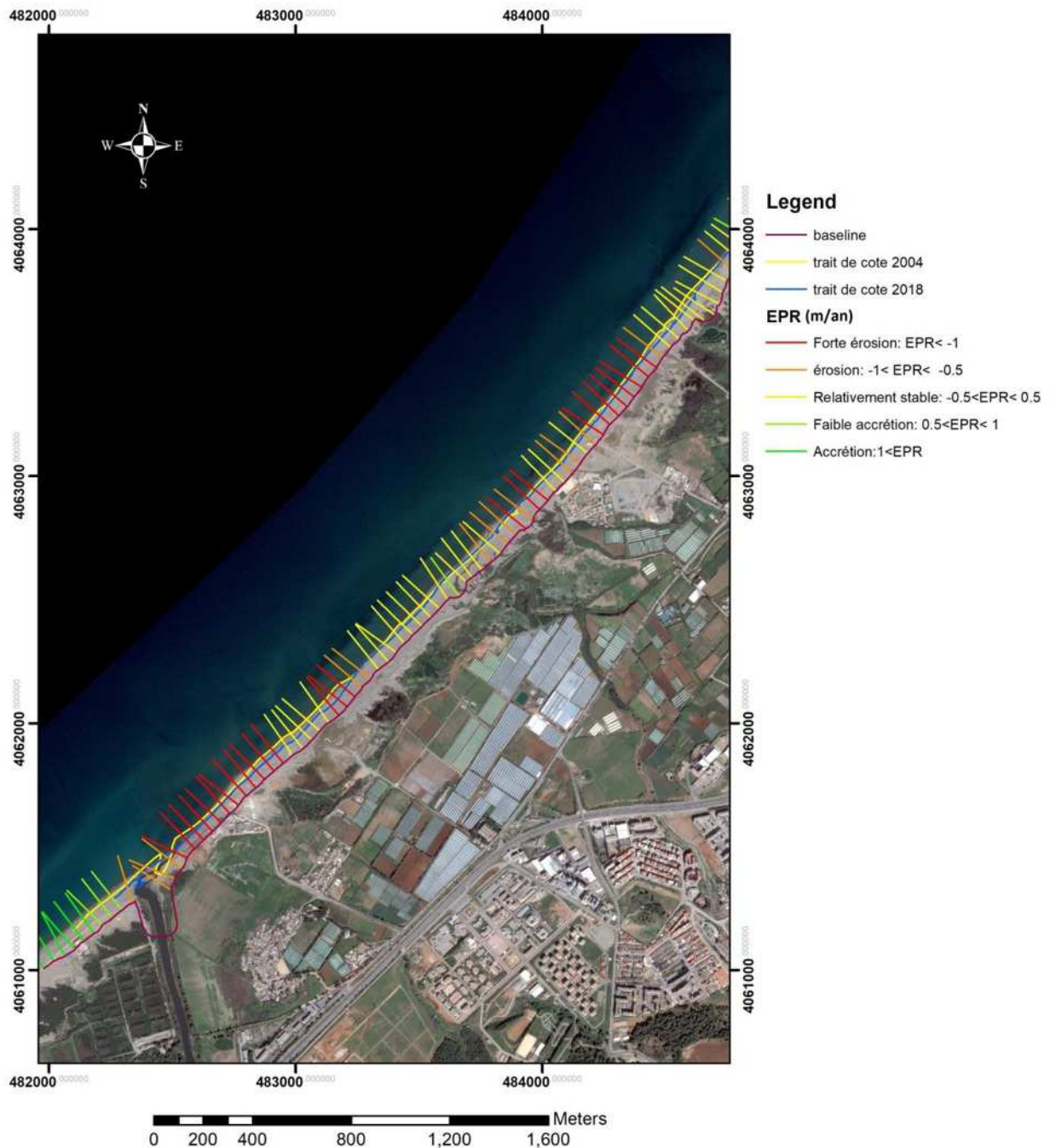


Figure III.13: Illustration du rythme d'évolution du trait de côte de deuxième partie de la baie de Bou Ismail entre 2004 et 2018

Commentaire et interprétation des résultats

A partir de la figure III.12 et III.13 on a remarqué qu'au cours de ces dernières années (entre 2004 et 2018), le trait de côte de la baie de Bou Ismail a subi beaucoup de changements entre accrétion et érosion.

On a une forte érosion (supérieur à 1 m/an) au niveau des Oueds Malma, Mazafran, une partie de la plage El Kheloufi et quelque mètre dans la plage de Sable d'Or (avant les ouvrages).

Cette érosion peut être due à l'action de la houle sur les rivages concernés qui génère un courant globale de dérive causé par la rencontre des deux courants Oued Malma et diffraction de la houle franchie par la jetée principale de port militaire.

Une stabilité (-0.5 à 0.5 m/an) du trait de côte de la plage Est de Sidi Fredj et la partie centre de la plage El Kheloufi (tracé 22 jusque 99) (figure III.14) a été remarqué pendant cette période.

Les zones d'accrétion (supérieur à 1m/an) sont la plage de Plam Beach et plage Azur ; cela pourrait être due à la création d'une zone calme favorise le piégeage des sédiments par les ouvrages de protection.

c) Le liner Régression Rate-of-change (LRR)

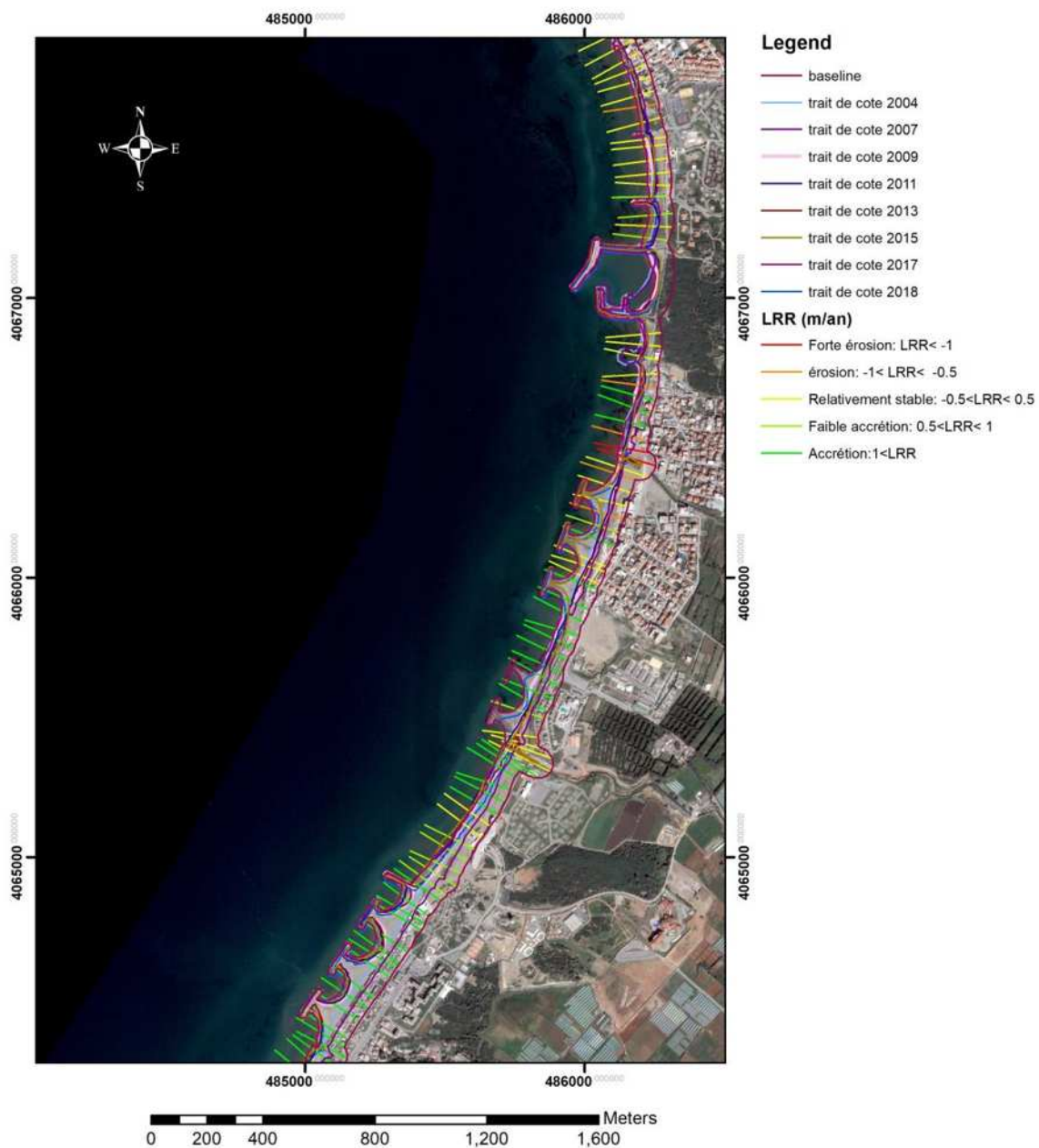


Figure III.14 : représentation de LRR selon chaque transect dans la première partie de baie Bou Ismail entre 2004 et 2018.

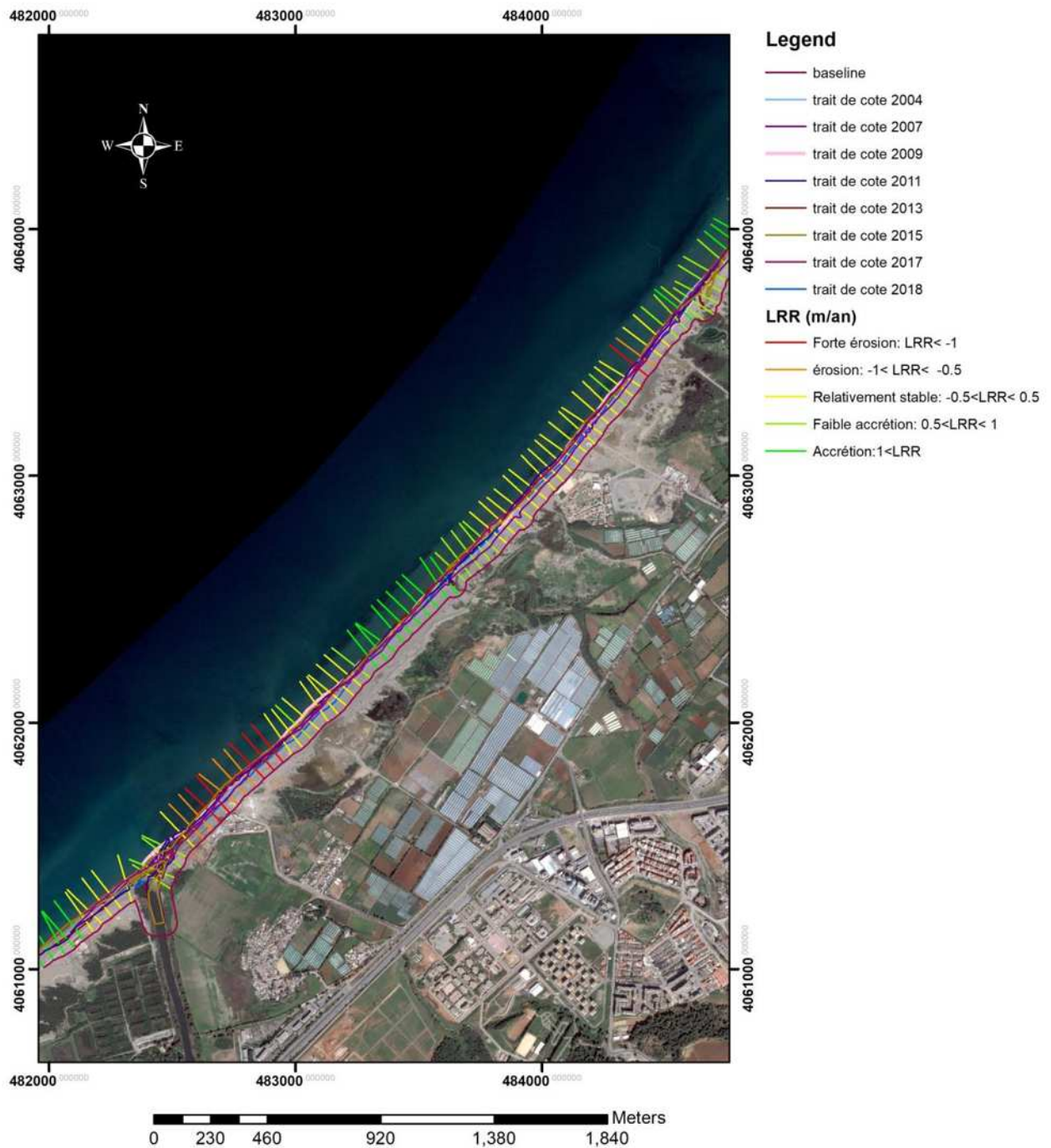


Figure III.15 : représentation de LRR selon chaque transect dans de deuxième partie de la baie Bou Ismail entre 2004 et 2018.

Commentaire et interprétation des résultats

Selon les figure III.14 et III.15 représentant le taux de la régression linéaire dans la baie de Bou Ismail entre les années 2004, 2007, 2011, 2013, 2015, 2017 et 2018, On voit que le trait de côte subi des changement.

On remarque que la couleur des transect de toute la baie de Bou Ismail varie entre le jaune et le vert et quelque transects rouges, cette variation peut être due à la morphologie de la plage, ou l'absence ou présence des ouvrages de protection.

Le rivage de la plage du complexe touristique, Plam Beach, une partie de la plage El Kheloufi et Sud-Ouest de la plage Azur montre une forte accrétion supérieur à 1 m/an.

Et pour les plages qui ont un trait de côte relativement stable -0.5 à 0.5 m/an sont plage Ouest de Sidi Fredj, Noud –Est de la plage Azur et le centre de la plage El Kheloufi.

Les zones de forte érosion sont au niveau des Oueds (Mazafran et Malma) et c'est probablement due au changements de l'orientation de l'emboucheur de l'Oued.

d) Analyse du bilan sédimentaire

La cartographie de l'évolution surfacique de la baie de Bou Ismail, nous a permis de calculer les surfaces d'érosion et d'accrétion pour établir des histogrammes de bilan sédimentaire.

L'analyse du bilan sédimentaire nous permet de quantifier les surfaces gagnées et les surface perdues de la baie de Bou Ismail, et cela entre deux années 2004 et 2018 figures III.17et III.18.

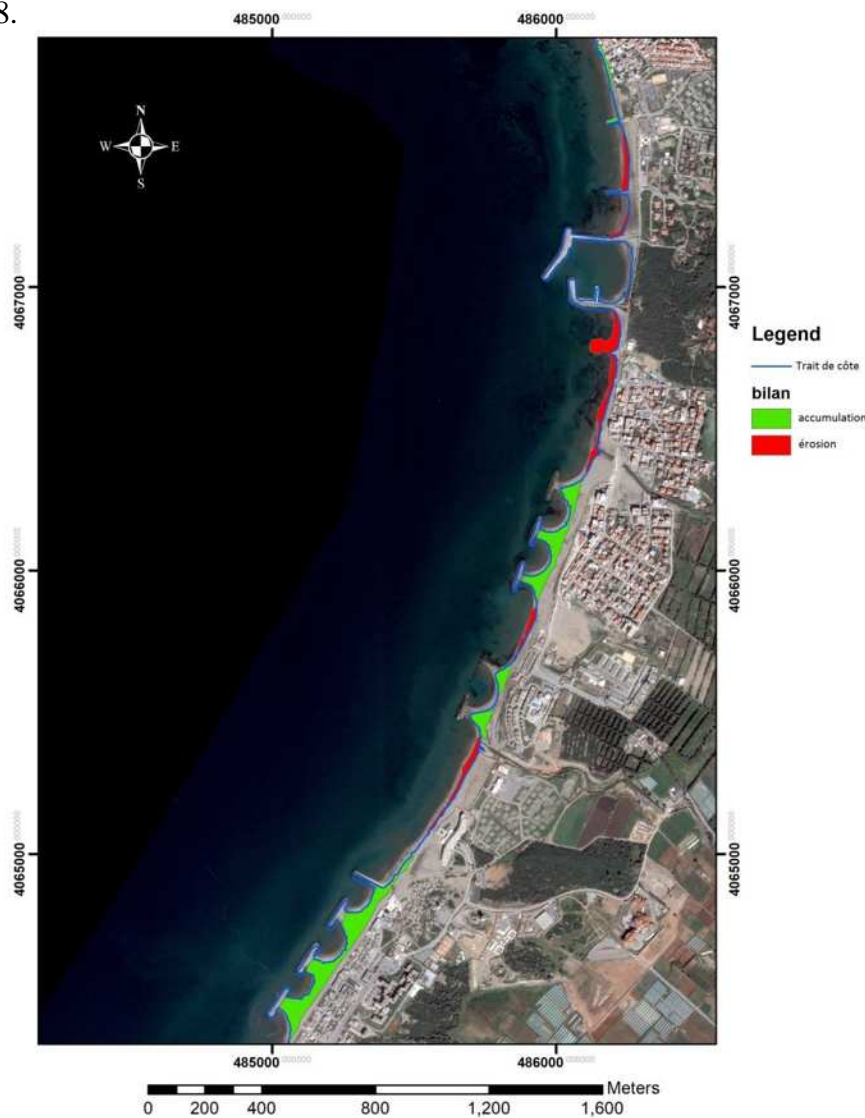


Figure III.16 : analyse de taux d'évolution en surface de la première partie de la baie de Bou Ismail entre 2004 et 2018 (image satellitaire 2017).

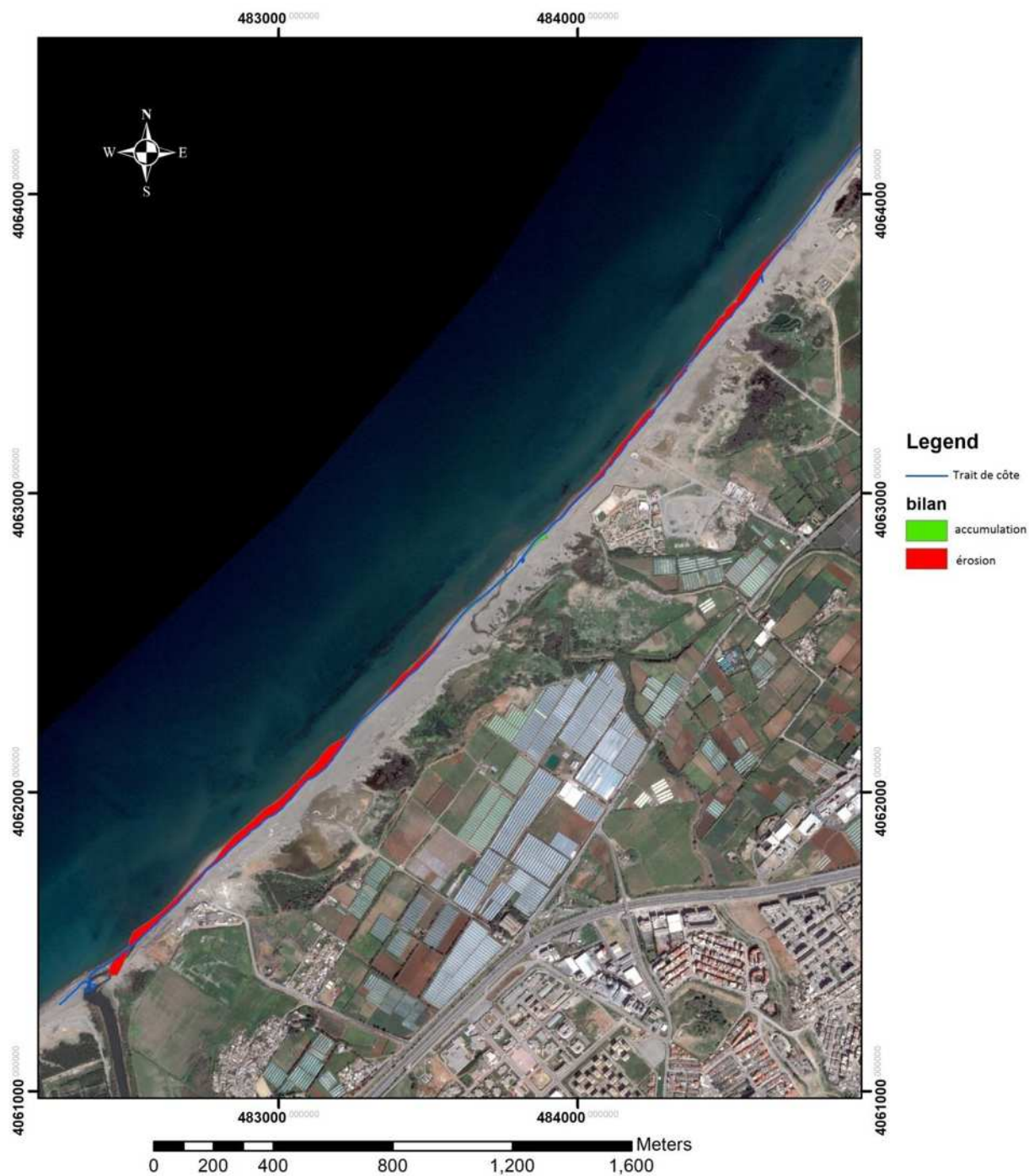


Figure III.17 : analyse de taux d'évolution en surface de la deuxième partie de la baie de Bou Ismail entre 2004 et 2018 (image satellitaire 2017).

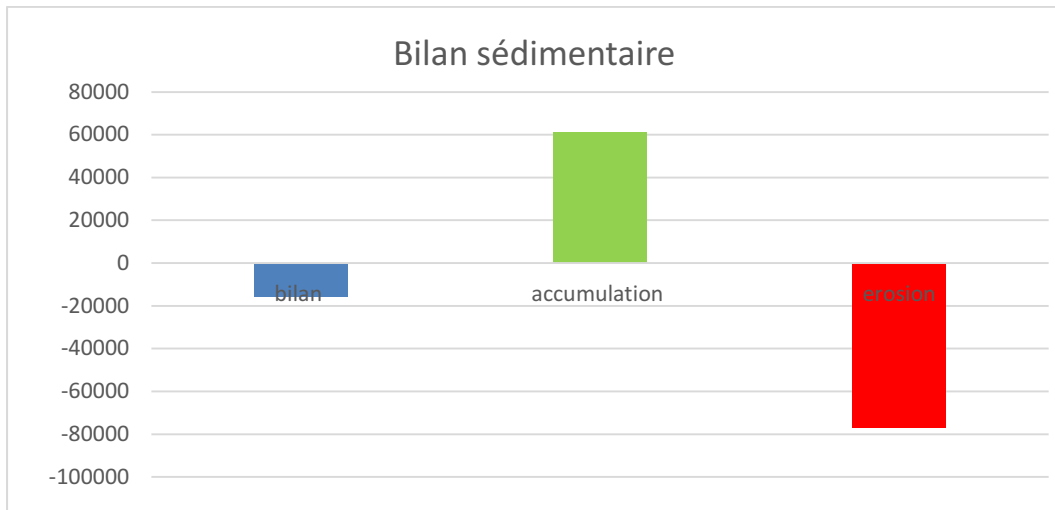


Figure III.18 : Bilan sédimentaire de la Baie de Bou Ismail entre 2004 et 2018.

Commentaire et interprétation des résultats

A partir des figures III.16, III.17 et III.18 ; nous remarquons une grande accumulation qui atteint une surface d'environ 61184 m², et cette accumulation se trouve au niveau des ouvrages des protections des plages Plam Beach, Azur et complexe touristique.

La surface perdue est plus grand que celle gagnée d'environ 76671 m², on observe que les zones d'érosion se distribuent entre les entités des ouvrages, ce qui peut être exprimé par la présence des ouvrages qui bloquent le transit sédimentaire, donc pas de compensation des pertes en sédiment.

La plage El Kheloufi subit majoritairement une érosion, cela peut être exprimé par le fort hydrodynamisme.

Le bilan sédimentaire de la baie de Bou Ismail entre 2004 et 2018 nous renseigne sur l'état de la zone d'étude, ce bilan est négatif d'une surface d'environ 15487m².

The background features an abstract graphic composed of three blue circles of varying sizes and several blue lines. One large circle is at the top center, a smaller one is to its right and slightly lower, and a very large circle is at the bottom right. Lines connect these circles and extend across the page, creating a dynamic, geometric pattern.

Chapitre IV

Modélisation hydrodynamique

Introduction

Les ouvrages et les aménagements maritimes sont généralement très coûteux, il est donc nécessaire, avant de les réaliser, de bien prévoir leur fonctionnement (VIGUIER, 1992).

Ainsi, lors de la mise au point du projet, il faut :

- S'assurer de l'atteinte des objectifs visés ;
- S'assurer de la résistance des ouvrages aux actions de la mer ;
- Prévision des risques, définir les impacts sur les fonds et littoraux avoisinants et proposer des mesures compensatoires si besoin, c'est-à-dire savoir concilier entre l'aspect économique, technique et environnemental.

La conciliation entre tous ces paramètres étant très complexes, des outils ont été développés pour maîtriser les processus hydrodynamiques et sédimentologiques pour pouvoir mieux étudier la conception et les impacts des aménagements maritimes. La modélisation constitue l'essentiel de ces outils.

Dans ce chapitre on va se consacrer sur l'évaluation de notre aménagement en utilisant les outils de la modélisation numérique.

4.1 Modélisation numérique

Les modèles numériques reposent sur la description des phénomènes physiques à l'aide (De système) d'équations mathématiques. Celles-ci sont ensuite résolues numériquement, pour chaque paramètre étudié, par un programme informatique.

De nombreux modèles numériques destinés à des applications hydrauliques comportent des équations de continuité et de mouvement ou d'énergie. Les modèles de ce type simulent par exemple le mouvement de l'eau ou l'interaction entre l'eau et les ouvrages hydrauliques.

4.1.1 Mike Zéro

Mike Zéro est le nom commun des implémentations Windows de DHI intégrant l'interface utilisateur graphique pour la mise en place des simulations, la pré-analyse et le post-traitement, la présentation et la visualisation dans un environnement de projet orientée (DHI, 2007).

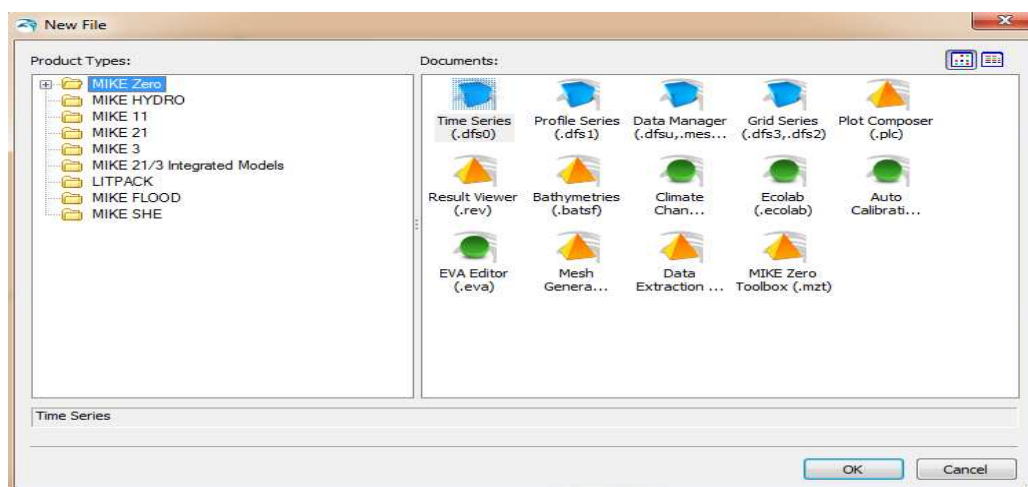


Figure IV.1 : l'interface de Mike Zéro

4.1.2 MIKE 21

Est une suite logicielle professionnelle de modélisation numérique 2D des écoulements à surface libre, développée par DHI Water & Environnement. Il permet la simulation de l'hydraulique et des phénomènes associés dans les rivières, les lacs, les baies, les zones côtières et les océans. MIKE 21 est ainsi particulièrement adapté pour traiter des problèmes relevant des principaux domaines d'application suivants :

- L'hydraulique fluviale ;
- L'hydraulique environnementale (qualité) ;
- Les processus sédimentaires ;
- L'hydraulique côtière et l'océanographie ;

La houle.

Dans cette optique, la suite logicielle MIKE 21 est composée de différents modules répondant à une problématique précise : le module hydrodynamique MIKE 21 HD, le module d'advection dispersion MIKE 21 AD, le module de transport de traceurs conservatifs ou non MIKE TR...

Les divers modules communiquant entre eux, différents processus à simuler peuvent être ainsi combinés et superposés de manière souple.

4.1.3 Modèle de vague de MIKE

Modèle spectral de vague de 3^{ème} génération similaire au SWAN, avec certaines améliorations. Il simule : la croissance des vagues en présence du vent, l'interaction vague non-linéaire, la dissipation par le déferlement et par la friction sur le fond, la réfraction par les changements de profondeur et l'interaction vague-courant. Les calculs du modèle MIKE21-SW utilisent une grille à maillage flexible. Le modèle équivalent sur maillage en différence finie est le modèle MIKE21-NSW.

Les principales applications du modèle MIKE21-SW sont:

- Conception et optimisation des structures de défense des ports et marinas contre les vagues;
- Établissement du climat des vagues dans une région côtière en fonction des vagues du large;
- Génération des cisaillements de radiations des vagues pour le calcul des courants côtiers par MIKE21/3;
- Couplage avec les modèles de transport de sable et de boues dans les zones littorales.

4.1.4 Modèle de transport de sable MIKE21 ST

Modèle de transport de sédiment non-cohésif (sable). Il est normalement couplé au modèle hydrodynamique MIKE21/3-HD et au modèle de vagues MIKE21-SW.

Il offre deux formulations pour le calcul du transport sédimentaire : la formulation de Bijker (courants seuls) et la formulation STP du DHI (courants et vagues).

Cette méthode STP dite « intra-vague » permet de prendre en compte l'influence des différences de phase de l'écoulement oscillatoire, de la tension du cisaillement sur le fond et de la concentration de sédiment en suspension sur le transport du sédiment.

Les taux de transport sont calculés (au choix) selon (I) une approche de plan bidimensionnel horizontal (2DH) dans lequel les taux sont calculés dans la direction du courant moyen, avec une composante transversale résultante de la pente du fond, ou (II) par la description quasi-tridimensionnelle (Q3D) de l'hydrodynamique et du transport de sédiment qui résout le transport dans ses directions perpendiculaire et parallèle au courant et, au rivage, celles du déferlement des vagues.

Ce modèle peut être appliqué à tous les endroits où les courants et les vagues déplacent le sable.

Par exemple, quelques applications du modèle MIKE21/3-ST sont:

- La gestion du littoral;
- L'optimisation de l'entrée d'un port ou d'une marina;
- La conception des ouvrages de protection côtière;
- L'étude de la stabilité des passes d'entrée tidales;
- L'étude de la morphologie côtière et fluviale;
- La conception des plages artificielles.

L'équation de base : l'équation de base de ce modèle est l'équation de conservation de l'action de vague. (KOMEN, et al., 1996)

L'équation de conservation pour l'action des vagues peut être écrite comme :

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla \cdot (\vec{v}N) = \frac{S}{\sigma}$$

Avec : $N(\vec{x}, \sigma, \Theta, t)$ densité d'action, t le temps, $\vec{x}=(x, y)$ les coordonnées cartésiennes, $\vec{v}(c_x, c_y, c_\sigma, c_\Theta)$ Est la vitesse de propagation d'un groupe de vagues dans l'espace de phase à quatre dimensions, et S est le terme source pour l'équation de l'équilibre énergétique. ∇ est l'opérateur différentiel à quatre dimensions dans l'espace x, y, σ, θ . Les quatre vitesses de propagation caractéristiques sont données par :

$$(c_x, c_y) = \frac{d\vec{x}}{dt} = \vec{c}_g + \vec{U}$$

$$c_\sigma = \frac{d\sigma}{dt} = \frac{\partial \sigma}{\partial d} \left[\frac{\partial d}{\partial t} + \vec{U} \cdot \nabla_{\vec{x}} d \right] - c_g \vec{k} \cdot \frac{\partial \vec{U}}{\partial s}$$

$$c_\theta = \frac{d\theta}{dt} = -\frac{1}{k} \left[\frac{\partial \sigma}{\partial d} \frac{\partial d}{\partial m} + \vec{k} \cdot \frac{\partial \vec{U}}{\partial m} \right]$$

Ici, s est la coordonnée de l'espace dans la direction de l'onde θ , et m est une coordonnée perpendiculaire à s . ∇_X est l'opérateur différentiel bidimensionnel dans l'espace x, y .

Le terme source d'énergie, S , représente la superposition des fonctions sources décrivant divers phénomènes physiques. $S=S_{in}+S_{nl}+S_{ds}+S_{bot}+S_{surf}$

Ici S_{in} représente la génération d'énergie par le vent, S_{nl} est le transfert d'énergie dû à une interaction vague-vague non linéaire, S_d est la dissipation de l'énergie des vagues due à la couverture blanche des vagues, S_{bot} est la dissipation due au frottement avec fond et S_{surf} est la dissipation de l'énergie des vagues en raison de la rupture induite par la profondeur.

4.1.5 Modèle hydrodynamique de MIKE

Modèles hydrodynamiques en 2D ou en 3D, respectivement. Chaque modèle peut être utilisé seul ou en mode couplé avec un ou plusieurs modèles de transport de matière dissoute et/ou particulaire. Un exemple de couplage typique en zone côtière est celui du modèle MIKE21-HD avec le modèle de réfraction de vague MIKE21-SW et le modèle de transport de sable MIKE21-ST et cela pour l'étude du transport de sable autour d'un port.

Les équations suivantes, la conservation de la masse et la dynamique intégrée à la verticale, décrivent les variations du débit et de l'eau :

Les symboles suivants sont utilisés dans ces équations :

$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = \frac{\partial d}{\partial t}$	<p>$h(x,y,t)$: profondeur de l'eau (m).</p>
$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x}$	<p>$d(x,y,t)$: variation temporelle de la profondeur de l'eau (m).</p>
$+ \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{C^2 \cdot h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega_q$	<p>$\zeta(x,y,t)$: l'élévation de surface (m).</p>
$- fVV_x + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial x} (p_a) = 0$	<p>$p, q(x,y,t)$: densités de flux dans les directions x et y ($m^3/s/m$).</p>
$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y}$	<p>$C(x,y)$: coefficient de Chezy ($m^{1/2}/s$).</p>
$+ \frac{gq\sqrt{p^2+q^2}}{C^2 \cdot h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}) \right] + \Omega_p$	<p>g : l'accélération de la pesanteur (m/s^2).</p>
$- fVV_y + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial y} (p_a) = 0$	<p>$f(V)$: facteur de frottement de vent.</p>
	<p>$V, V_x, V_y(x,y,t)$: vitesse et composantes du vent dans les directions x et y (m/s).</p>
	<p>$\Omega(x,y)$: parametre de Coriolis (s^{-1}).</p>
	<p>$P_a(x,y,t)$: pression atmosphérique (kg/m^2).</p>
	<p>ρ_w : masse volumique de l'eau (kg/m^3).</p>
	<p>$\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yy}$: composantes de l'effort de cisaillement effective.</p>

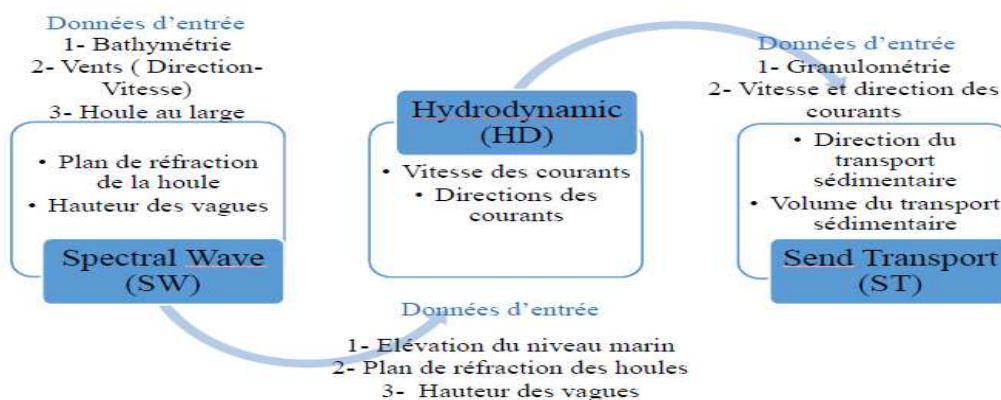


Figure IV.2 : Etapes de Modélisation Mike 21: « FM MIKE21/3 couplé » (HAMADOUCHE et BRAHMI.M, 2017).

Les principales applications des modèles MIKE21/3 sont:

- Études et prévisions des courants et des marées.
- Études limnologiques dans les lacs.

- Conception et analyses des structures côtières et offshore.
- Aménagement et optimisation des ports et marinas en présence de vagues, courants à l'entrée et ensablement.
- Eaux de refroidissement, désaliénation et analyse de recirculation.
- Optimisation d'un diffuseur sous-marin d'eaux usées.
- Étude d'impact environnemental d'infrastructures marines.
- Modélisation écologique et choix de site de mariculture.
- Inondation des terres côtières et prévision des ondes de tempêtes.

4.2 Approche méthodologique

4.2.1 Principe de simulation du MIKE 21-DHI

Le modèle numérique utilisé dans le cadre de cette étude est le **MIKE21-DHI** de l'institut hydraulique Danois qui est un puissant système de modélisation numérique des phénomènes physiques (Houle, Courant et Transport sédimentaire), il permet de faire des simulations à grande échelle et d'augmenter la résolution des mailles de calculs à certains endroits du domaine simulé à l'aide de grilles imbriquées. MIKE a été construit à partir de savoir-faire de spécialistes reconnus, il a été considéré comme le plus fiable (**Kersseus et al. 2012**).

4.2.2 Création 2D Bathymétries sous le maillage

- **L'étude bathymétrique**

L'étude bathymétrique est une étude primordiale dans notre domaine afin de reconnaître et interpréter la morphologie sous-marine, pour cela nous avons procédé à une analyse bathymétrique pour d'obtenir des résultats fiables et précis

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 (MNT) 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 (**LAASSILLIA, 2013**).

Afin de suivre l'évolution morpho sédimentaire du littoral centre de l'Algérie, on a eu recours à l'introduction des bathymétries des trois zones d'étude.

- Sidi Fredj –Bou Ismail

La bathymétrie de la zone d'étude de Sidi Fredj jusqu'Oued Mazafan a été réalisée suite à une sortie sur terrain effectuée en 2018 par l'embarcation de l'ENSSMAL (El Aourass)

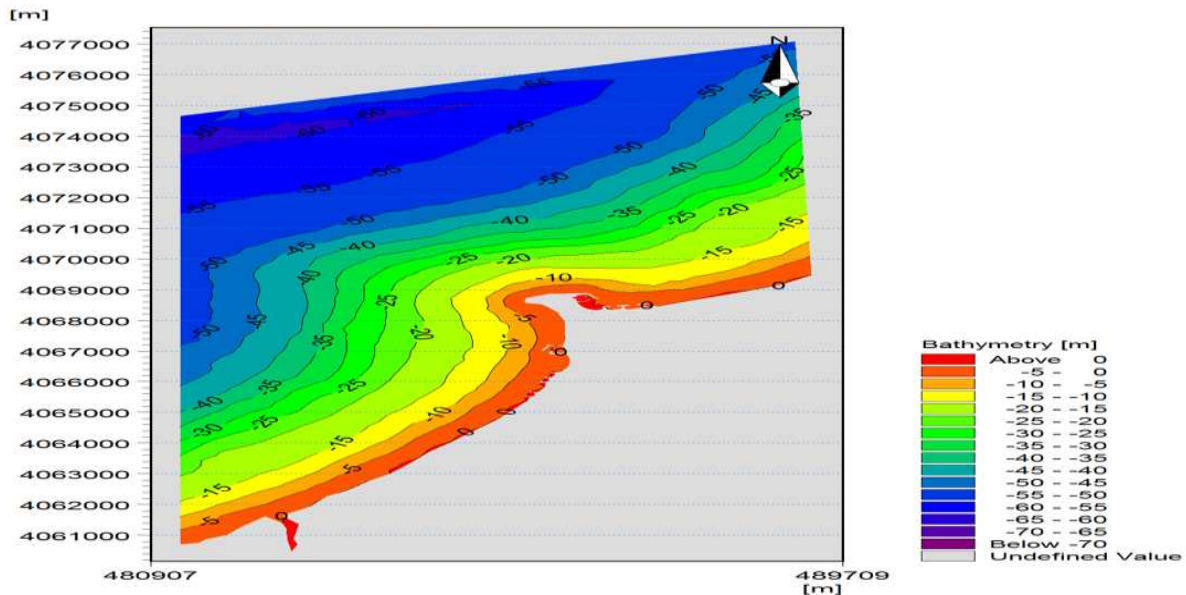


Figure IV.3: Carte bathymétrique de la zone de Sidi Fredj jusqu'au Oued Mazafan (2018) ,
(BOUZEOURA, HOUA, 2018).

Le module Mesh Generator nous offre un environnement pour la création, l'édition et la présentation de bathymétrie numérique 2D détaillées. Mesh Generator génère un format couple de maillage (*.Mesh) (DHI, 2014).

Le programme nous fournit les utilitaires pour importer des données du trait de côte, notamment les bathymétries. Pour faciliter le processus d'élaboration manuelle des données et leur présentation, des cartes graphiques des images de fond peuvent être importées et superposées aux données bathymétriques (DHI, 2014).

Diverses options d'interpolation sont disponibles pour fournir la meilleure méthode possible pour notre type de données. Lorsque la bathymétrie a été préparée, nous pouvons utiliser les utilitaires d'exportation de données bathymétriques de sortie dans différents formats.

La création d'une bathymétrie est généralement divisée en phases suivantes : le choix du système de projection, le traitement des données bathymétriques XYZ, la génération du maillage et l'interpolation des valeurs bathymétriques sur le maillage (voir ci-dessous).

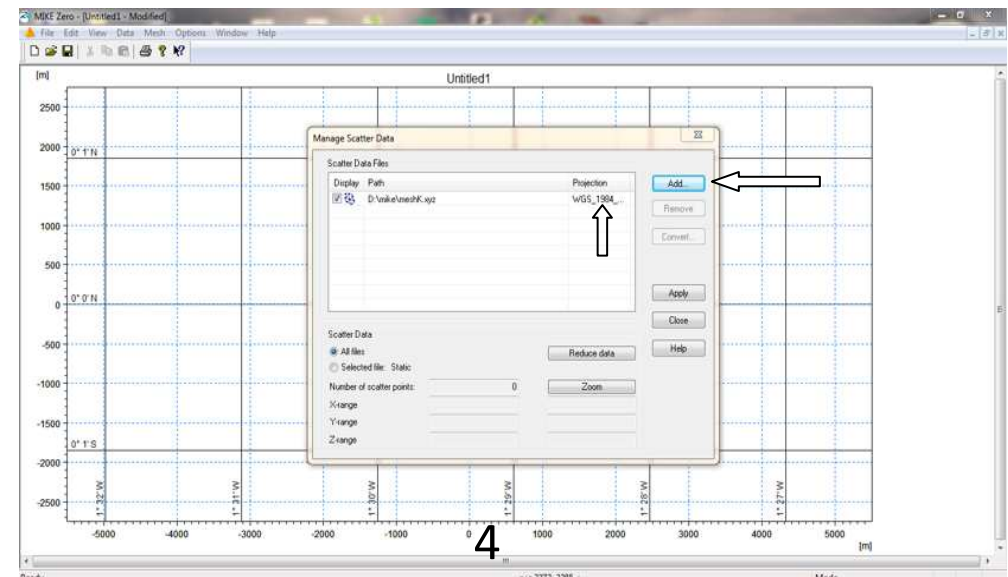
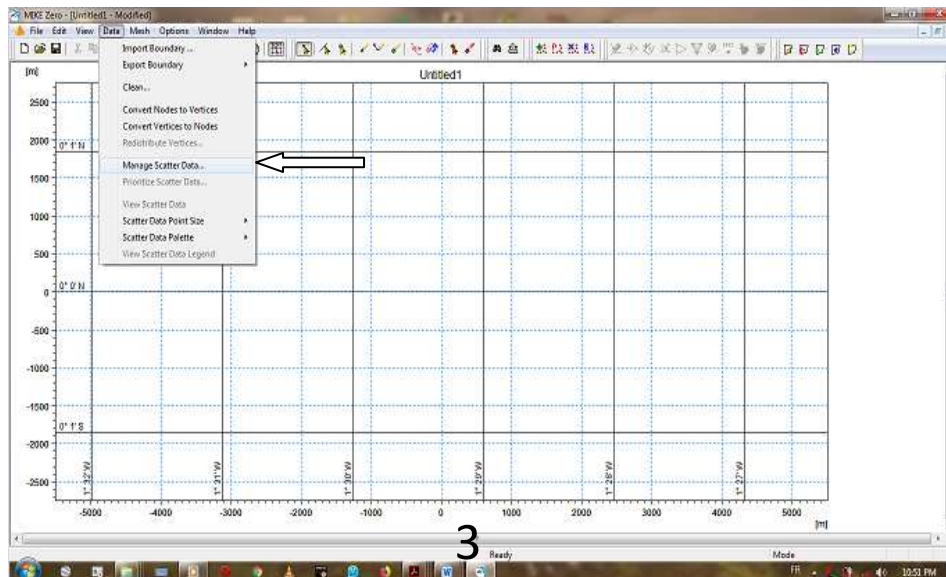
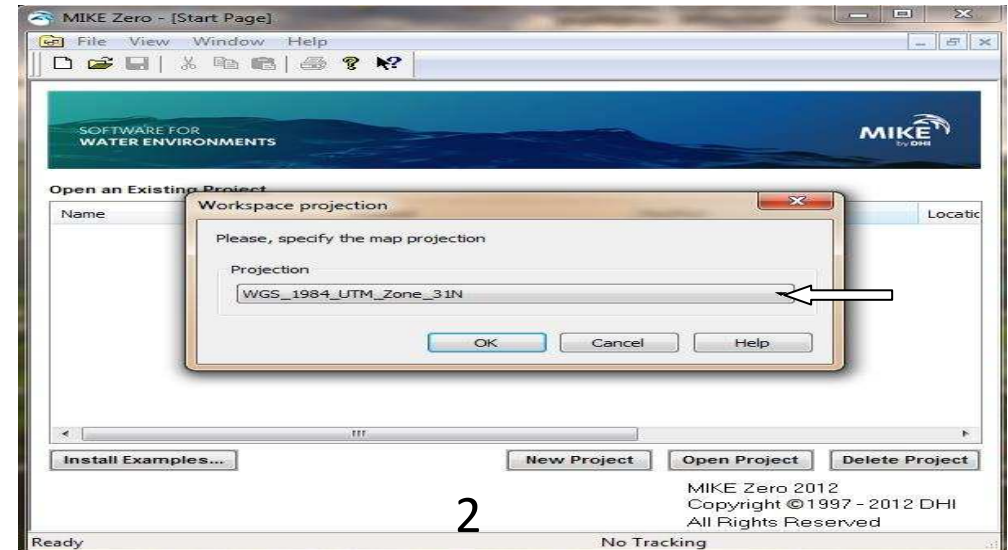
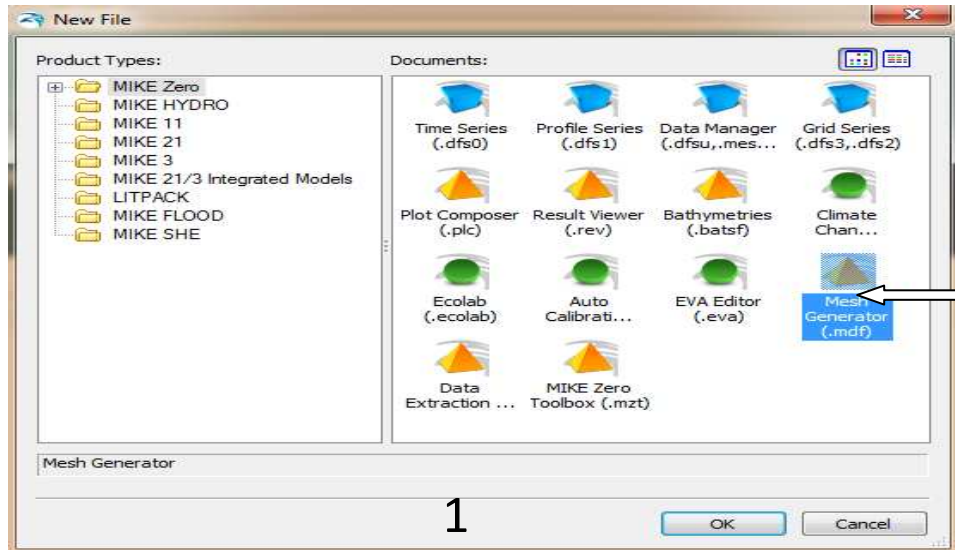


Figure IV 4 : les étapes de définition de maillage -1-

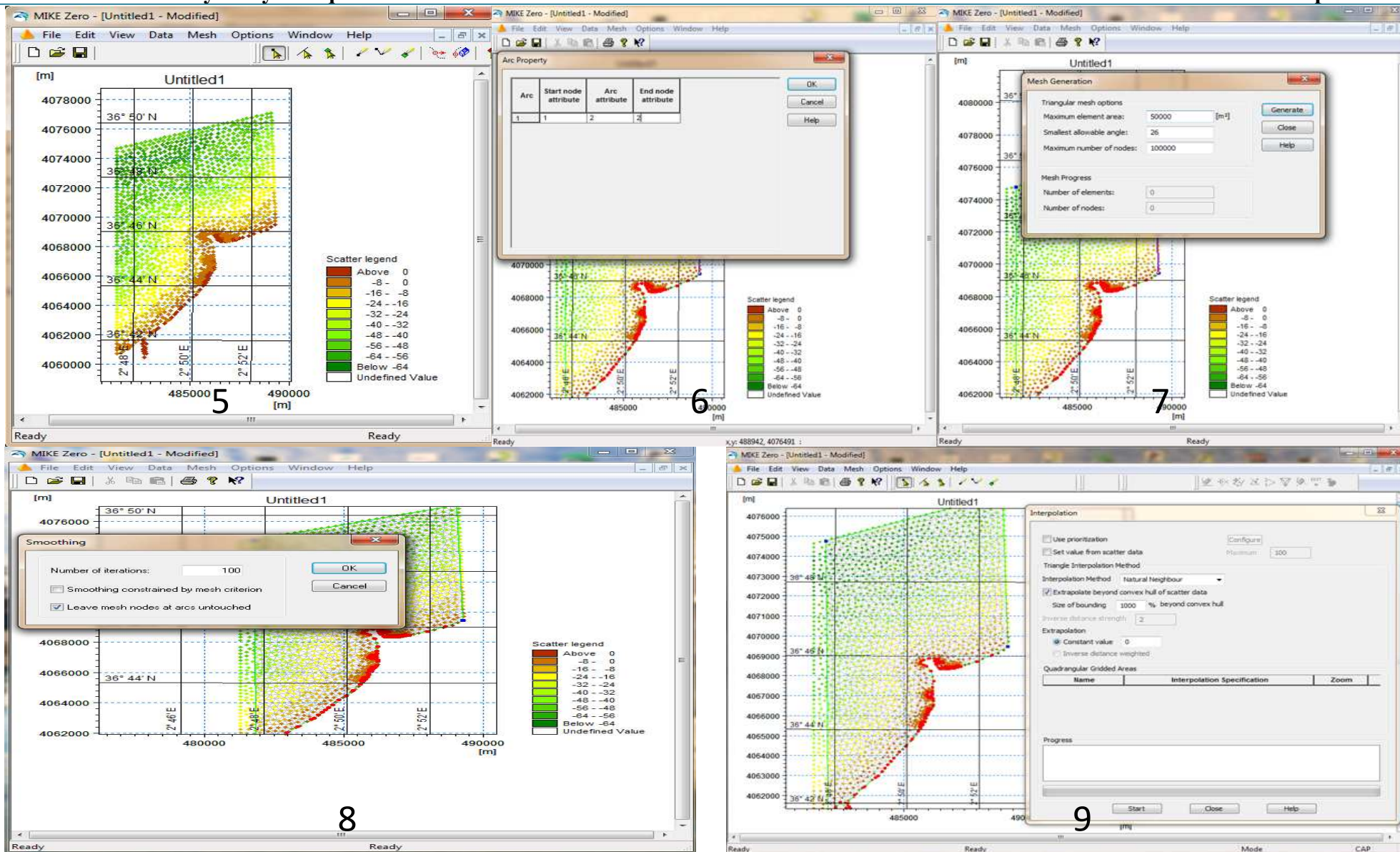


Figure IV.5 : les étapes de définition de maillage avec interpolation -2-

- **La zone d'étude de Mazafan jusqu'à Sidi Fredj**

Pour notre zone on a 3039 mailles et 1754 nœuds avec un linéaire de 18 km allant de Mazafran jusqu' à Sidi Fredj. La surface de maillage est d'environ 50Km².

La taille du maillage varie de 120 mètres au large à 4 mètres à la côte.

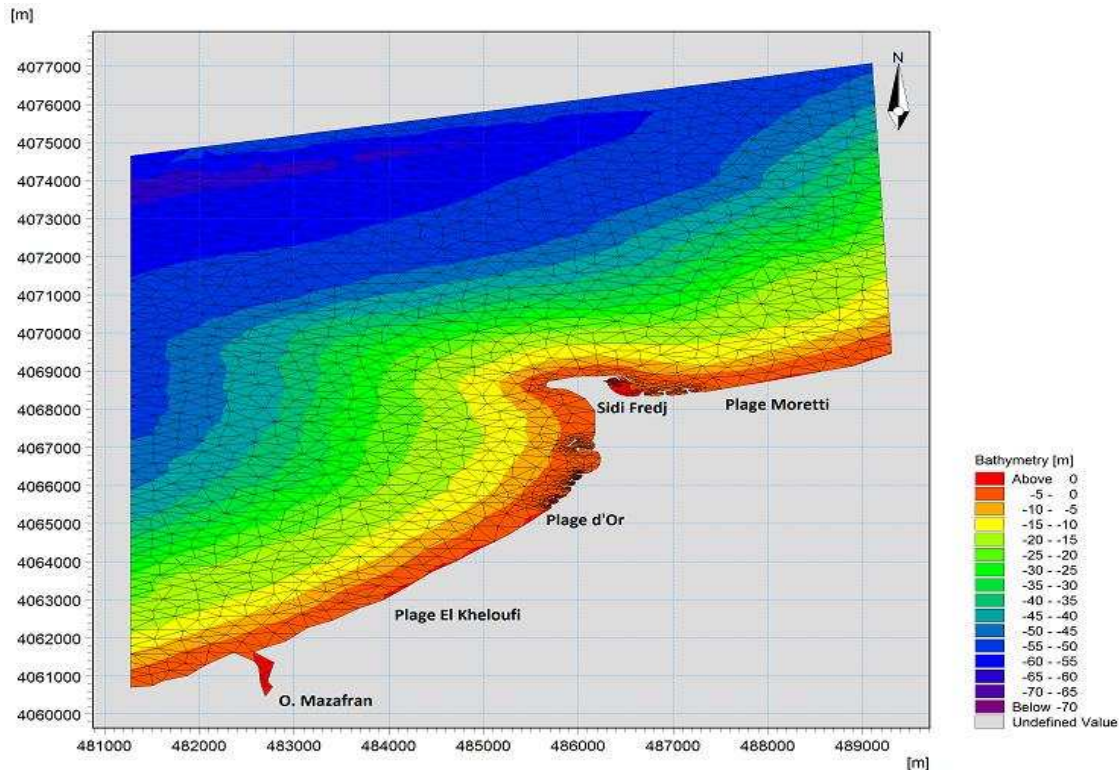


Figure IV.6 : le maillage de la zone d'étude d'Oued Mazafran jusque Sidi Fredj (BOUZEROURA, HOUA, 2018).

4.3 Mike 21/3 FM

Dans le cadre de ce travail, l'approche retenue consiste à englober les trois modèles Hydrodynamique (HD), Spectral Wave (SW) et Transport Sédimentaire (ST) dans un modèle couplée Mike 21/3 FM.

- **Configuration du modèle DHI-Mike FM**

Pour lancer l'opération de simulation il s'agit des conditions aux limites.

- **Conditions aux limites**

Les conditions aux limites d'un modèle représentent les paramètres qui sont imposés par l'utilisateur aux diverses frontières de la zone modélisée. Un choix judicieux de ces conditions est essentiel pour obtenir un modèle donnant représentatif de la réalité (LASALLE, 1972).

4.3.1 Module SW

a. Condition de niveau marin

Les conditions du niveau marin varient en fonction de temps de simulation et selon la zone et leur bathymétrie, la grille des données du niveau marin est calculée à partir de module HD.

b. Les conditions de courant

Les vecteurs de vitesse et la direction des courants sont calculés par le module HD

c. Rupture des vagues

La rupture des vagues est calculée par le changement de la profondeur avec une valeur constante $\alpha=1$ et $\gamma=0.8$.

d. Condition initiales des limites

Les conditions initiales imposées dans le module SW dans les limites de la zone d'étude sont les paramètres de la houle, dans ce travail on a pris trois paramètres (Direction, hauteur significative et période de la houle) comme suit :

Tableau IV.1: présentation des paramètres des houles et des vents (www.ventusky.com)

	Dir(°)	Hs(m)	Tp(s)	WindU	Wind dir	H12 exceptionnelle	T12 exceptionnelle	pourcentage d'apparition
NNE	22.5	1.77	8.9	12.6	30	3.4	13.4	18.6
NE	45	1.34	6.6	11.6	46	2.16	11.2	30
W	270	2.4	7.4	15.8	244	3.97	9.13	18.6
WNW	292.5	1.9	6.8	13.4	304	3.5	9.8	10.6

On a utilisé aussi des houles exceptionnelles pour faire la comparaison entre les résultats.

4.3.2 Résultats des simulations

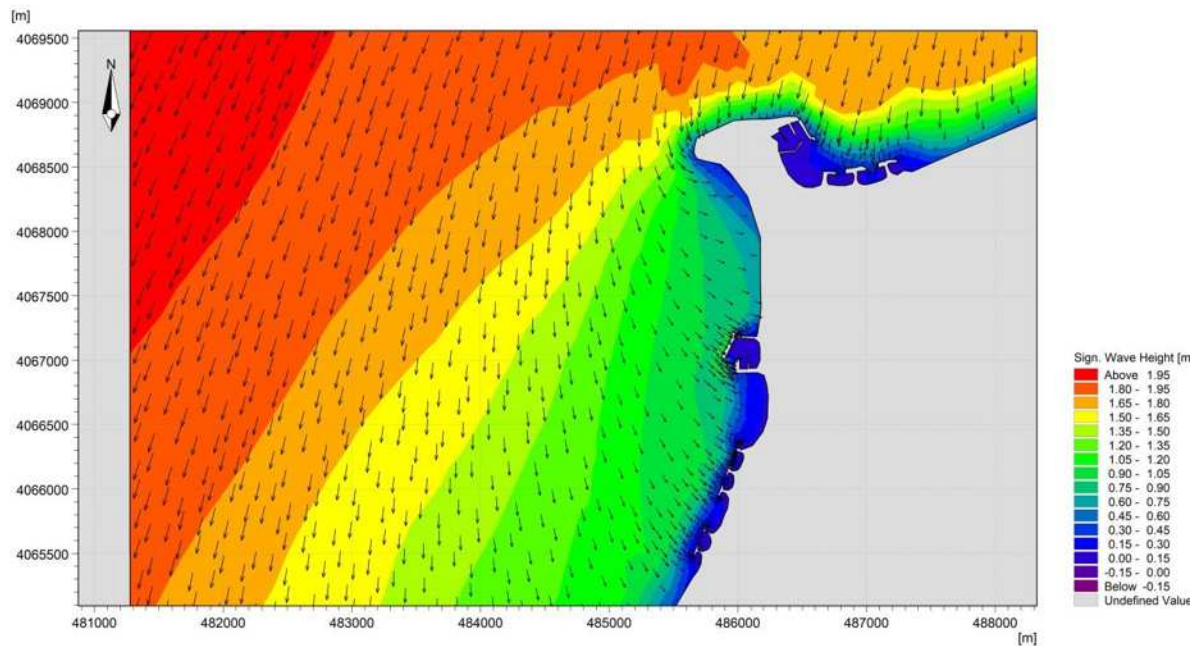


Figure IV.7 : champs des houles dans la zone de Sidi Fredj jusqu' à l'Oued Mazafran
(Dir =22.5°N; Hs =1.7m ; Tp =8.9s)

Commentaire et interprétation des résultats

La figure IV.7 représente la simulation numérique de la réfraction de la houle pour la direction 22.5°N (Nord,Nord-Est) avec une hauteur significative de 1.7 m au large et une période de $T_p = 8.9$ s.

Le champ des houles dévie graduellement jusqu'à la côte, les houles abordent la côte d'une manière frontale, au fur et à mesure que la profondeur diminue, la hauteur de la houle diminue aussi.

Les résultats obtenus de la simulation montrent que la hauteur de la houle diminue de 1.80 à 1.95 m à partir de la profondeur de -25 m.

On observe que orthogonales lorsqu'ils s'approchent à la côte.

On remarque que les houles qui s'approchent de la côte diminuent en hauteur attendent 0.15 à 0.3 m dans la partie Est du à les ouvrages de protection et les deux ports, cela signifie que la houle perd la majorité de son énergie lorsqu'elle arrive au rivage.

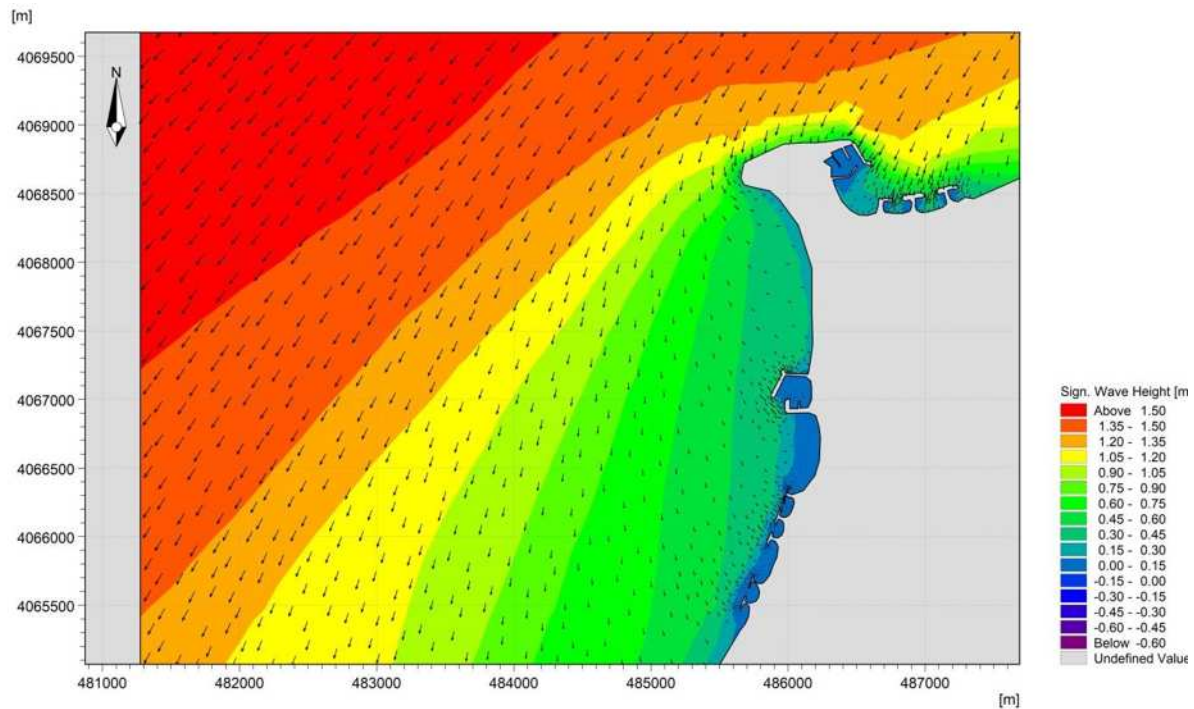


Figure IV.8 : champs des courants dans la zone de Sidi Fredj jusqu' à l'Oued Mazafran
(Dir =45°N ; Hs =1.34 ; Tp =6.6)

Commentaire et interprétation des résultats

La figure IV.8 représente la simulation numérique de la réfraction de la houle pour la direction 45°N (Nord-Est) avec une hauteur significative de 1.34 m au large et une de période $T_p = 6.6$ s.

A partir de la figure IV.8, on remarque que la réfraction de la houle réalisée à partir d'une houle de secteurs Nord-Est 45° perdre leurs énergies progressivement à partir de l'isobathe de -20 m où la hauteur de houle est de l'ordre 1.2 à 1.35 m, et que les orthogonales s'orientent vers la côte de direction Nord-Est (Sidi Fredj) et Nord-Ouest (Baie de Bou Ismail), cette énergie de la houle diminue au fur et à mesure en se rapprochant du rivage jusqu'à l'atteinte leur minimum de l'ordre de 0.15 m, ce qui nous permet dire que la diminution de la profondeur est la cause de la dissipation de l'énergie de la houle.

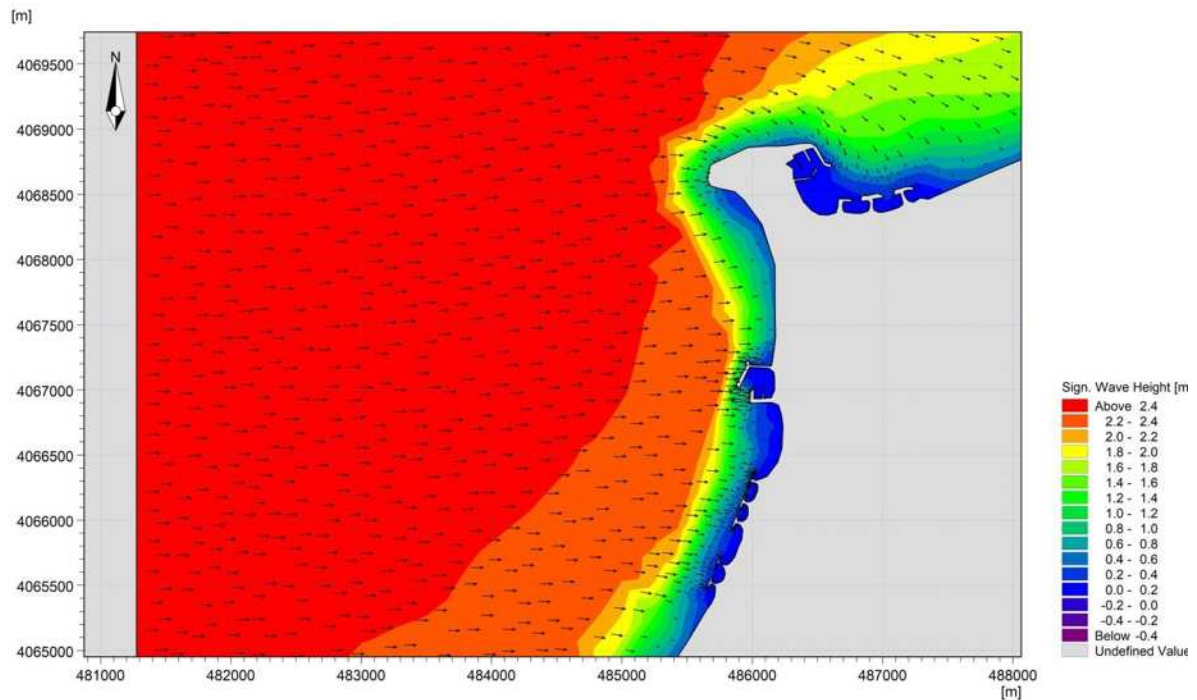


Figure IV.9 : champs des courants dans la zone de Sidi Fredj jusqu' à l'Oued Mazafran
(Dir =270°N ; Hs =2.4 ; Tp =7.4)

Commentaire et interprétation des résultats

La figure IV.9 représente la simulation numérique de la réfraction de la houle pour la direction 270°N (Ouest) avec une hauteur significative de 2.4m au large et une période de $T_p = 7.4s$.

La simulation montre que la propagation de la houle est de secteur Ouest avec une hauteur maximale entre 2.2 et 2.4 m à la profondeur -15 m, et diminue progressivement jusqu'à l'atteindre la côte avec une hauteur de 0.2 m au pied de l'ouvrage, les directions des houles qui arrivent à la côte sont ;

- Direction Ouest à la partie de la baie de Bou Ismail ;
- Direction presque Nord à la partie de Sidi Fredj ;

On remarque qu'à cette direction (Ouest) les ouvrages de protection et le port militaire de la partie de la baie de Bou Ismail font face à l'action de la houle ce qui crée un plan d'eau calme, par contre au niveau de Sidi Fredj le cap protège les plages des houles de cette direction.

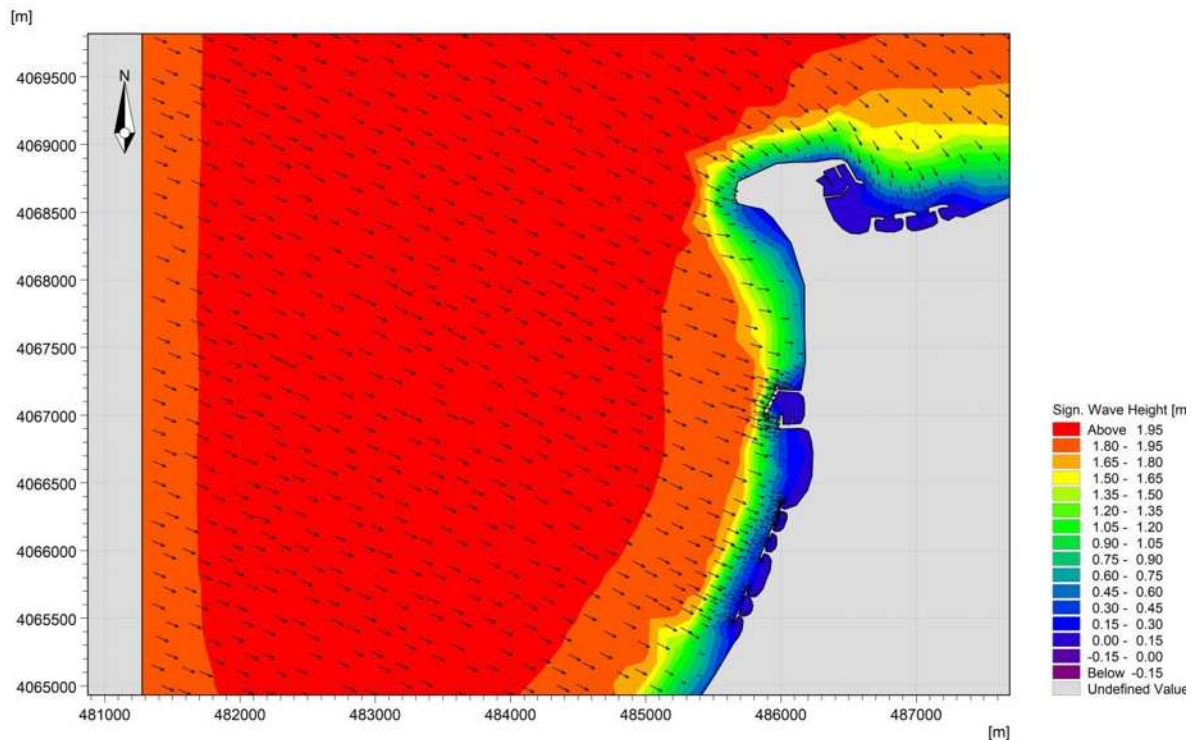


Figure IV.10 : champs des courants dans la zone de Sidi Fredj jusqu' à l'Oued Mazafran
(Dir =292.5°N ; Hs =1.9 ; Tp =6.8)

Commentaire et interprétation des résultats

La figure IV.10 représente la simulation numérique de la réfraction de la houle pour la direction 292.5°N (Ouest, Nord-Ouest) avec une hauteur significative de 1.9 m au large et une période de $T_p = 6.8$ s.

La simulation hydrodynamique de la houle montre qu'au niveau de l'isobathe -20 m la hauteur de houle est de l'ordre de 1.8 à 1.95 m, elle diminue progressivement jusqu'à la côte où elle est de l'ordre 0.15 m.

Les orthogonales de la houle restent constants dans la partie de Bou Ismail et changent leur direction vers le Nord dans les plages de Sidi Fredj et ceci est due à diffraction de la houle dans le port de Sidi Fredj.

- La houle exceptionnelle

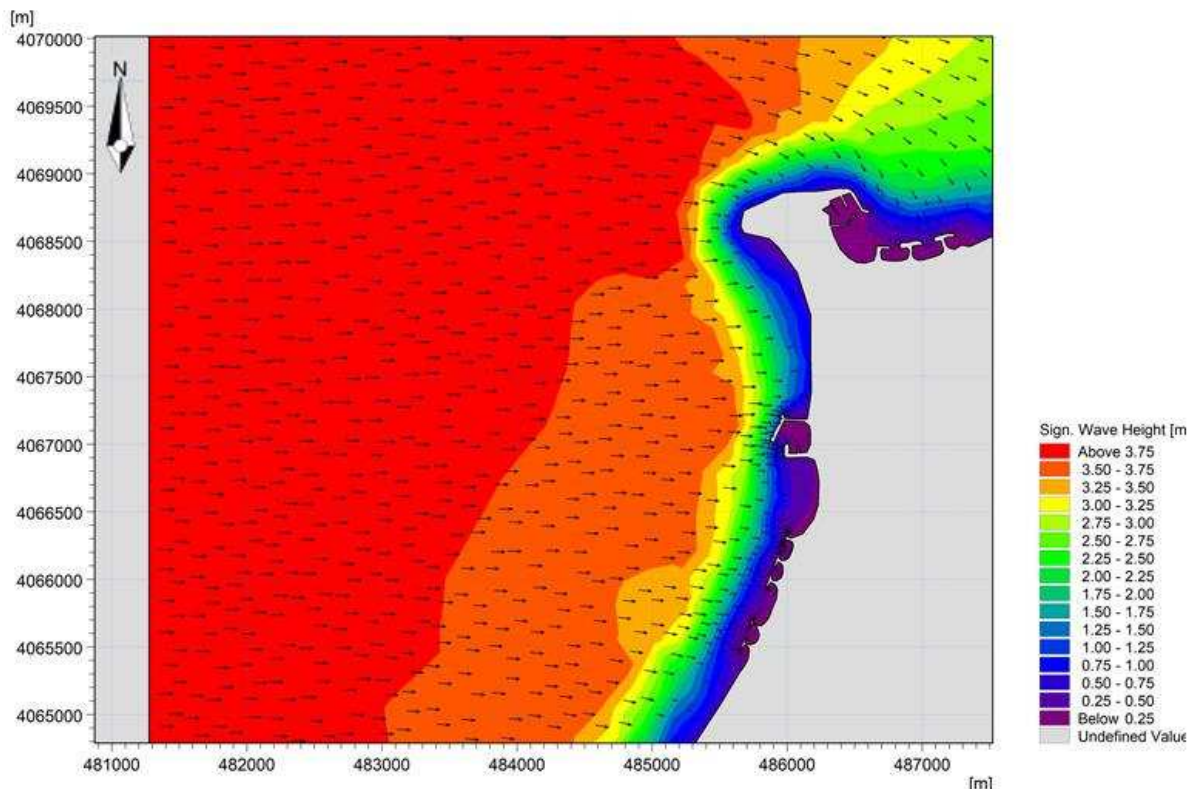


Figure IV.11: champs des courants dans la zone de Sidi Fredj jusqu' à l'Oued Mazafran (Dir =270°N ; Hs =3.97 ; Tp =9.13)

Commentaire et interprétation des résultats

La modélisation de la réfraction de la houle réalisée avec le model SW (spectral wave) a montré une diminution de l'énergie de la houle exceptionnelle de secteur Ouest 292.5° au fur et à mesure qu'on se rapproche de la côte avec un changement des orthogonales dans la direction presque Nord dans la partie de Sidi Fredj, et elle reste constante dans la baie de Bou Ismail.

Les résultats montrent qu'au fur et à mesure que les vagues se rapprochent de la côte les hauteurs significatives des houles (Hs) diminuent en passant d'une hauteur maximal de 3.75 m dans les grandes profondeurs 40 m à une hauteur de 0.25 m observée tout au long de la plage de Sidi Fredj, Plam Beach, Azur, Complexe touristique et Sable d'Or . Ceci s'explique par une diminution de profondeur.

Pour voir les résultats des autres houles exceptionnelles (voir annexes)

4.3.3 Module HD

Pour le module DHI-Mike 21 HD les configurations sont comme suites :

a. Frottement sur les fonds

Toutes les simulations hydrodynamiques ont été réalisées avec un coefficient de Manning de $n=0.03$, constant dans l'ensemble du secteur modélisé.

b. Viscosité turbulente

Les flux de quantité de mouvement dus à la turbulence, à l'intégration verticale des équations de base (modèle bidimensionnel) et aux fluctuations se produisant à des échelles inférieures aux cellules de maillage, ceux-ci sont pris en compte dans Mike 21 par un paramètre de viscosité turbulente. En pratique, la variation de ce paramètre induit notamment dans les écoulements une plus ou moins grande tendance à former des zones d'écoulement et de courants de retour. Sur la base des résultats obtenus des études similaires, la formulation de Smagorinsky, avec une constante de 0.28, a été utilisée.

c. Force des vents

Les forces des vents qui sont utilisées dans la simulation, on les a considérées comme des constantes dans le temps et dans le domaine.

4.3.4 Résultats des simulations

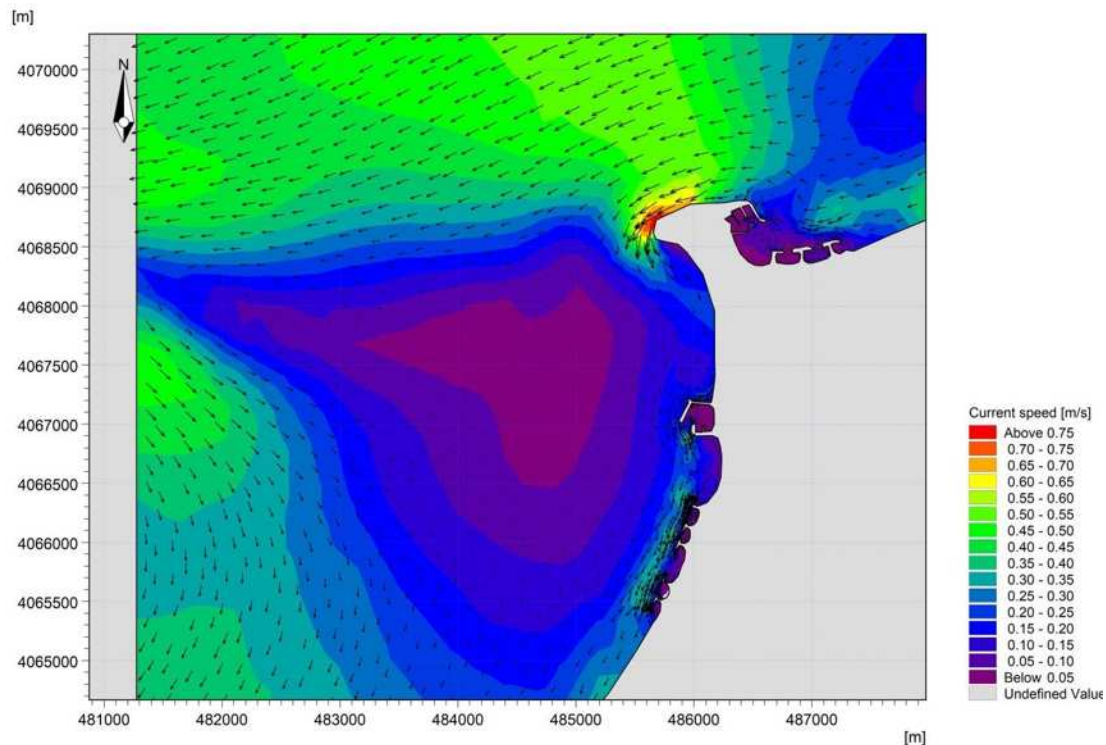


Figure IV.12: champs des courants dans la zone de Sidi Fredj jusqu' à l'Oued Mazafran (Dir =22.5°N ; Hs =1.7 ; Tp =8.9)

Commentaire et interprétation des résultats

D'après cette figure IV.12, on n'observe que des champs des courants formés par la houle de secteur (Nord, Nord-Est) 22.5°N dans la région Sidi Fredj jusqu'au Oued Mazafran montrent des activités hydrodynamiques dans presque toute la zone.

On remarque que le courant se propage de Nord-Est vers Sud-Ouest avec une direction parallèle au trait de côte avec une vitesse majoritaire qui varie entre 0.15 à 0.3 m/s, ce courant est produit principalement par le phénomène de réfraction de la houle.

On observe aussi qu'il y a des augmentations de vitesse dans la fin du cap de Sidi Fredj de l'ordre de 0.75 m/s, et ça peut être due par la combinaison de deux courants un de Nord-Est et autre de Nord, ainsi que la morphologie du fond.

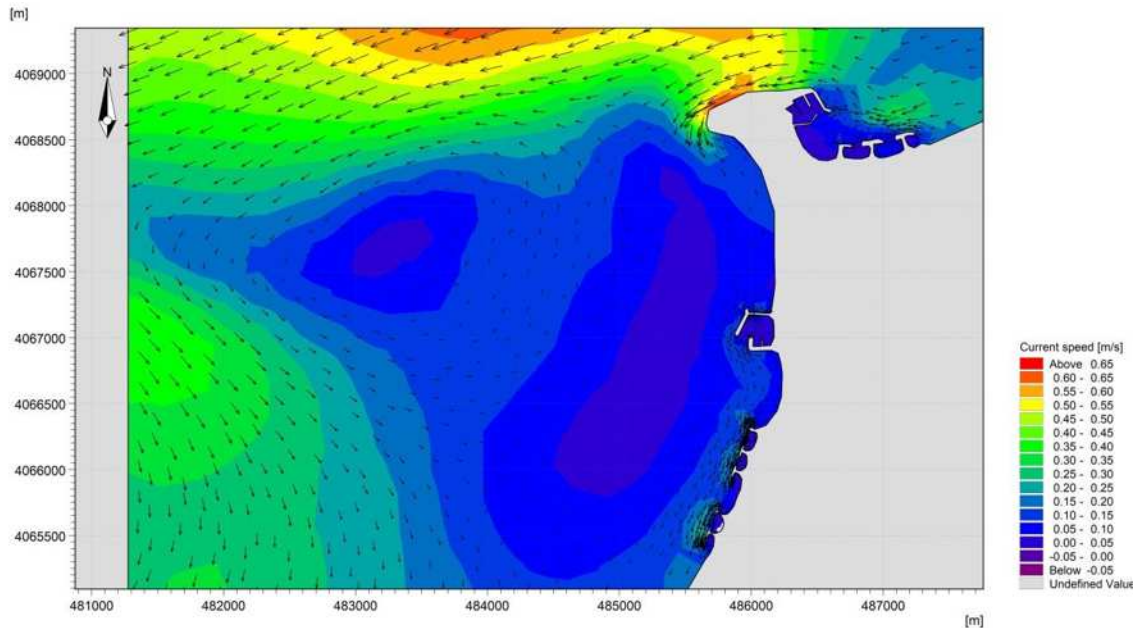


Figure IV.13: champs des courants dans la zone de Sidi Fredj jusqu' à l'Oued Mazafran (Dir =45°N ; Hs =1.34 ; Tp =6.6).

Commentaire et interprétation des résultats

La figure IV.13, on n'observe que des champs des courants formés par la houle de secteur (Nord-Est) 45°N dans la région Sidi Fredj jusqu'au Oued Mazafran montrent des activités hydrodynamiques dans presque toute la zone.

La simulation montre qu'il y a des activités hydrodynamiques presque dans toute la zone sur tout dans la zone de Sidi Fredj parce qu'elle est exposée à la houle du côté Est avec une vitesse de courant de l'ordre 0.45 à 0.5 m/s. Par contre la zone de Bou Ismail elle été abritée par cette direction mais on voit qu'il y a un faible courant de 0.15 à 0.1 m/s.

On remarque aussi un courant intense au niveau du cap de Sidi Fredj de grandeur de 0.6 à 0.65 m/s, et ça est due probablement à l'importance de la profondeur de cette zone donc l'effet du fond sur la houle est petit, et aussi au niveau de cette zone on voit une présence de falaises de hauteur de 3 à 4m.

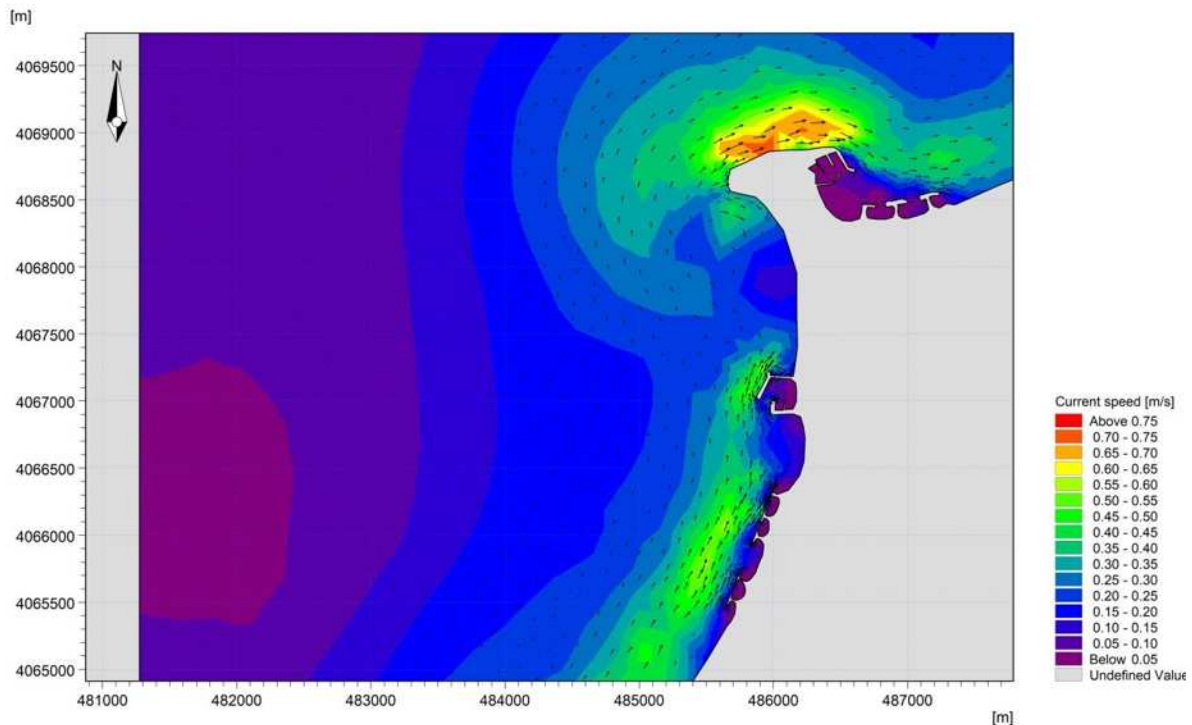


Figure IV.14: champs des courants dans la zone de Sidi Fredj jusqu' à l'Oued Mazafran
(Dir =270°N ; Hs =2.4 ; Tp =7.4)

Commentaire et interprétation des résultats

La figure IV.14 représente les champs des courants formés par une houle de secteur (Ouest) 270°N dans la région Sidi Fredj jusqu'au Oued Mazafran montrent des activités hydrodynamiques dans presque toute la zone.

On remarque que le courant se propage dans toute la ligne de côte du Sud-Ouest vers le Nord-Est avec une direction parallèle à la côte, on observe que la vitesse du courant est presque constante, elle varie entre 0.55 à 0.6 m/s, sauf au côté du cap qui présente un fort courant, il est de l'ordre de 0.75 m/s et ça est dû probablement à la profondeur dans cette zone qui était importante.

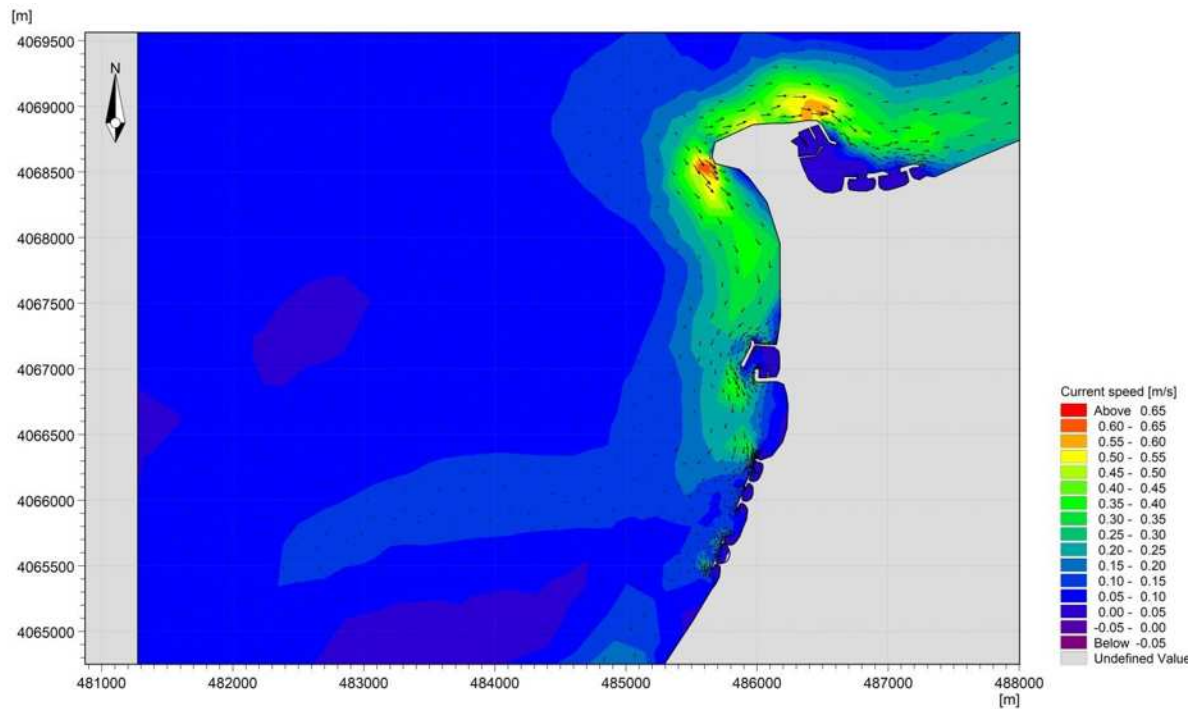


Figure IV.15: champs des courants dans la zone de Sidi Fredj jusqu' à l'Oued Mazafran (Dir =292.5°N ; Hs =1.9 ; Tp =6.8).

Commentaire et interprétation des résultats

La figure IV.15 représente les champs des courants formés par la houle de secteur (Nord, Nord-Ouest) 292.5°N dans la région Sidi Fredj jusqu'à Oued Mazafran montrent des activités hydrodynamiques presque dans toute la zone.

La première remarque qui a été enregistrée dans cette simulation c'est la division du courant de secteur (Nord, Nord-Ouest) à deux directions différentes un vers l'Est et l'autre vers le Sud-Ouest avec une vitesse qui varie entre 0.4 à 0.5 m/s.

Le courant perd son intensité à cause des obstacles (les ouvrages de protection) ça on le voit dans la partie de la baie de Bou Ismail, par contre dans la partie de Sidi Fredj la vitesse du courant reste constante.

- La houle exceptionnelle

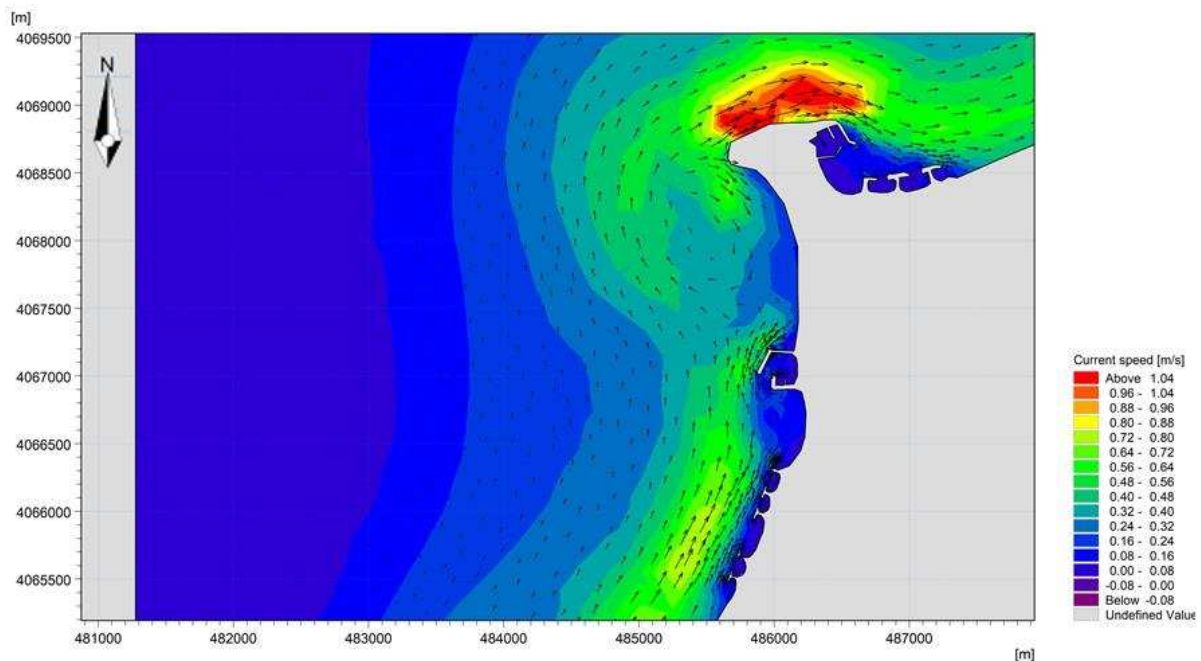


Figure IV.16: champs des courants dans la zone de Sidi Fredj jusqu' à l'Oued Mazafran
(Dir =270°N ; Hs =3.97 ; Tp =9.13)

Commentaire et interprétation des résultats

La Figure IV.16 représente la direction et vitesse des courants générées par la réfraction de la houle exceptionnelle (Ouest, Sud-Ouest). D'après cette figure, on observe que les champs des courants montrent des activités hydrodynamiques presque dans toute la zone, ils se propagent du Sud-Ouest de la baie de Bou Ismail vers l'Est de Sidi Fredj avec une direction parallèle au trait de côte avec une vitesse majoritaire qui varie entre 0.32 à 0.72m/s.

On remarque aussi la présence d'un courant fort à côté du port de Sidi Fredj de vitesse 1.04m/s, et ça est due probablement à la profondeur de cette zone qui été importante de valeur 15 m.

A decorative graphic consisting of three blue circles of varying sizes and three blue lines. One line starts from the top left and ends at the top edge of the largest circle. Another line starts from the top left and ends at the top edge of the medium circle. A third line starts from the top right and ends at the top edge of the largest circle. The circles are arranged in a descending staircase pattern from top to bottom.

Chapitre V

Etude granulo-sédimentaire

Ce chapitre nous permet de présenter la méthodologie suivie lors de l'acquisition des données et le matériel utilisé, que ce soit des prélèvements, analyses faites au laboratoire ou des traitements de résultats par des logiciels spécifiques.

5.1 Prélèvement et échantillonnage

5.1.1 Prélèvement d'échantillons sédimentaires sur la partie aérienne

Nous avons effectuée des prélèvements au niveau des sédiments superficiels dans le moi d'avril ; 87 échantillons, prélevés sur la plage à la main chaque point a été défini par ces coordonnées géographiques à l'aide d'un GPS. Les échantillons ont été ensuite mis dans des sacs en plastique et étiquetés. Les échantillons ont été répartir sur 40 profils plus au moins perpendiculaires au rivage. Ces profils sont espacés de 250m entre Oued Mazafran jusqu'à la plage de Sidi-Fredj. Dans le but d'une étude sédiment logique au laboratoire.



Figure V.1 : Positionnement des points de prélèvement dans la partie aérienne dans la plage Est de Sidi Fredj.

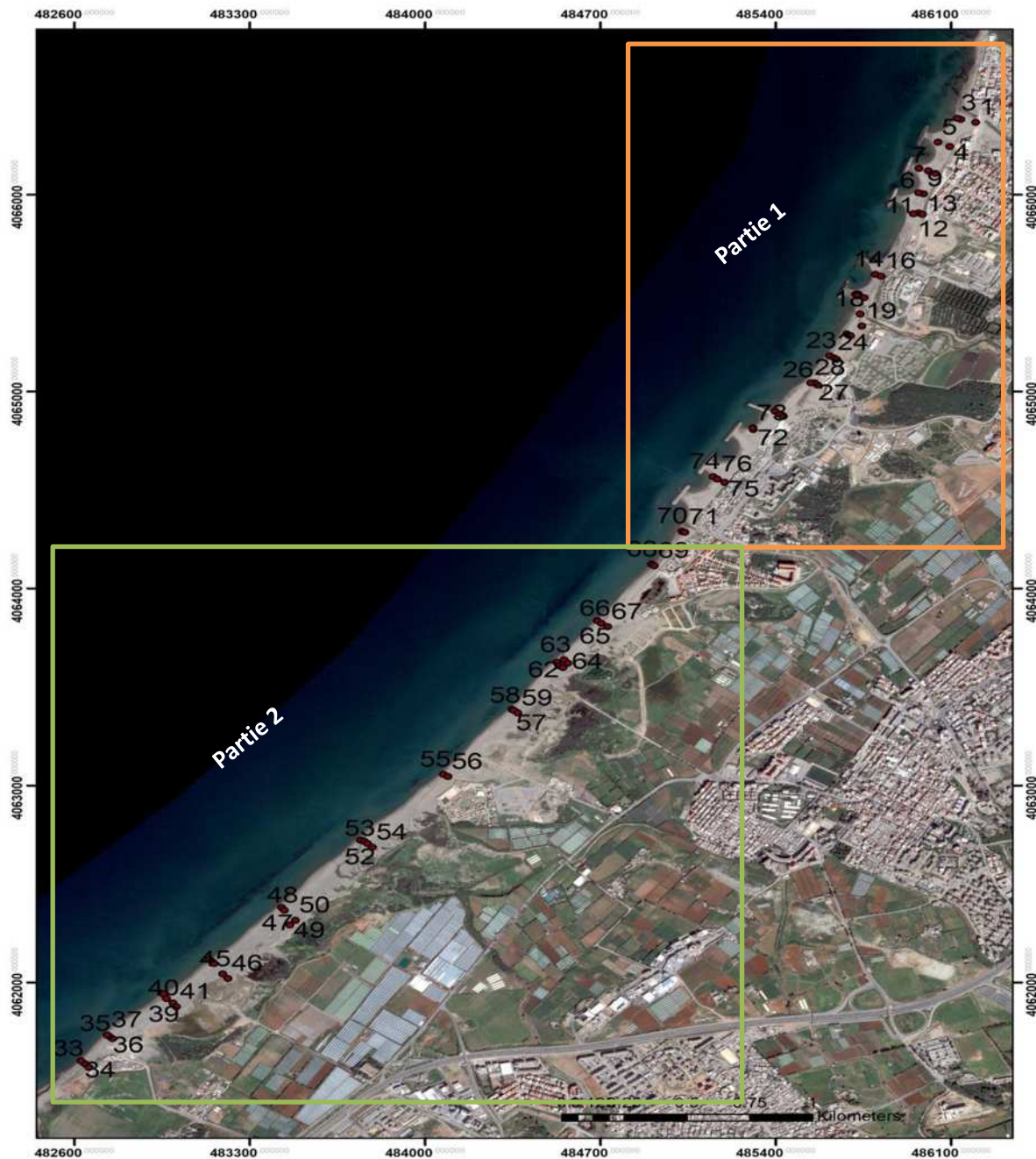


Figure V.2 : Positionnement des points de prélèvement dans la partie aérienne dans une partie de la baie Bou Ismail.

5.1.2 Prélèvement d'échantillons sédimentaires sur la partie marine :

Les échantillons sont prélevés à l'aide d'une benne preneuse (Van Veen) attachée à un câble et envoyée sur le fond, chaque prélèvement est accompagné avec le levé de point GPS pour définir sa localisation. La benne est descendue mâchoire ouverte afin de capturer et d'emprisonner les sédiments au moment de son contact avec le fond, une fois remontée, le sédiment est récupéré dans des sacs en plastique étiquetés et rapportés au laboratoire pour analyser granulométrique.



Photo 16 : Prélèvement des échantillons sur embarcation El Awras dans la baie de Bou Ismail.

5.2 Travaux au laboratoire

L'analyse granulométrique nous permet de connaître la constitution fréquentielle des différentes fractions qui composent le stock sédimentaire d'une part et de définir d'autre part les paramètres de la dynamique (mouvement) des sédiments.

5.2.1 Etude au laboratoire

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

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

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

- Prélèvement sur la plage de Mazafran jusque Sidi Fredj « 97 échantillon »
- Prélèvement en mer « benne preneuse » (52 échantillon).

Cette étude a été effectuée au niveau du laboratoire de l'École Nationale Supérieure Des Sciences De La Mer Et De L'aménagement Du Littoral (ENSSMAL).



Figure V.3 : Schéma des différents volets de l'analyse granulométrique.

5.2.2 Protocole d'analyse

La technique d'analyse granulométrique la plus couramment utilisée est le tamisage à sec. Nous examinerons successivement ces différentes opérations en suivant les normes AFNOR.

5.2.3 Préparation du matériel

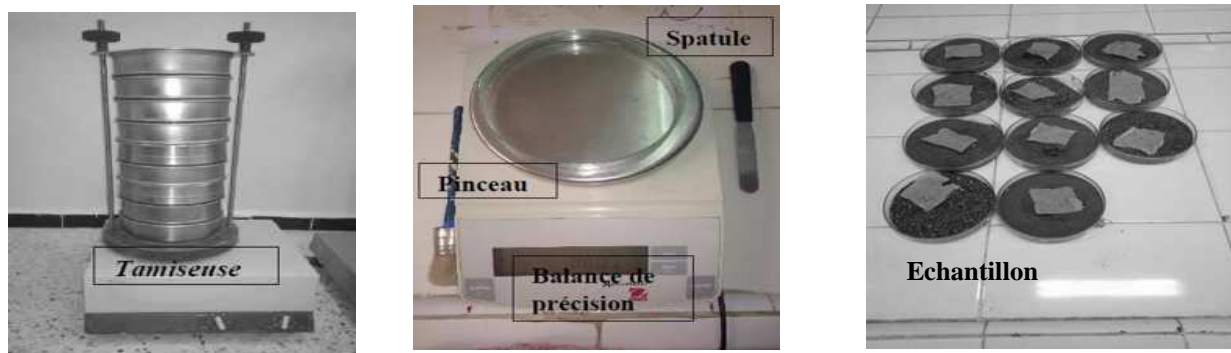


Figure V.4 : matériel utilisé pour analyse

5.2.4 Méthode d'analyse

L'ensemble des prélèvements sédimentaires ont été analysé au laboratoire selon les techniques classiques de tamisage. L'analyse granulométrique passe par plusieurs étapes qui sont énumérées ci-dessous :

- Echantillon brut ;
- Séchage à l'étuve 105°C / pendant 24h ;
- Lavage de 200 g de sédiment à l'eau (distillée) ;
- Séparation de la fraction pélitique de la fraction grossière (tamis de 63 µm) ;
- Séchage à l'étuve 105° C / 24h ;
- Tamisage sur colonne AFNOR (10 min) ;
- Poids des refus de chaque tamis ;
- Traitements statistiques à partir des données ;
- brutes (refus et % déduits de la courbe) ;
- Représentation graphique Courbe cumulative en ordonnées arithmétiques ;
- Paramètres texturaux ;
- Calcul des indices les plus couramment employés par la méthode des quartiles ;

5.2.5 Paramètres granulométriques

a) Calcul des paramètres granulométriques

Cette phase se traduit par le dressage d'une courbe granulométrique représentant le pourcentage des refus cumulés. L'axe des abscisses porte les ouvertures des tamis sur une échelle logarithmique ; en ordonnée, les pourcentages sont rapportés sur une échelle arithmétique (c'est une courbe semi-logarithmique). La courbe est tracée de manière continue et ne peut pas passer rigoureusement par tous les points. C'est à partir de ces courbes que les paramètres granulométriques sont déduits.

b) Les paramètres de position

Les paramètres de position sont déduits à partir de la courbe cumulative en faisant une projection sur l'axe des pourcentages et déterminer le diamètre de tamis qui lui correspond. Ces paramètres vont servir à calculer les différents indices granulométriques.

c) Les quartiles

- D25 : diamètre du grain à l'ordonnée 25%, c'est le premier quartile.
- D50 : diamètre du grain à l'ordonnée 50%, c'est la médiane.
- D75 : diamètre du grain à l'ordonnée 75%, c'est le second quartile.

d) Les quantiles

- D10 : diamètre du grain à l'ordonnée 10%, premier décile
- D90 : diamètre du grain à l'ordonnée 90%, second décile.

e) Les indices granulométriques

Les indices granulométriques sont exprimés en unité (Φ). L'échelle Φ est une unité de mesure définie par la relation suivante :

$$\Phi = -\log_2(\text{diamètre}).$$

Tableau V.1 : Les valeurs adoptées de Mz (MEZOUAR, 2009).

Limite de Mz	Taille moyenne
Mz < -6	Galet
-6 < Mz < -2	Granule
-2 < Mz < -1	Sable très grossier
-1 < Mz < 0	Sable grossier

Limite de Mz	Taille moyenne
0 < Mz < 1	Sable moyen
1 < Mz < 2	Sable fin
2 < Mz < 3	Sable très fin
3 < Mz < 3.98	Vase

f) Les indices de dispersion ou de classement

D'après Folk et Ward les indices de classement donnent une idée sur l'étalement de la courbe granulométrique autour de son grain moyen, et nous renseignent sur le degré de classement du sédiment.

$$So = [(\Phi_{84} - \Phi_{16}) / 4] + [(\Phi_{95} - \Phi_5) / 6,6] \dots\dots (3)$$

Tableau V.2 : Les valeurs adoptées de So pour le classement

Limite de So	Interprétation
So < 0,35	Très bien classé
0,35 < So < 0,5	Bien classé
0,5 < So < 0,7	Modérément bien classé
0,7 < So < 1	Modérément classé
1 < So < 2	Mal classé
2 < So < 4	Très mal classé
4 < So	Extrêmement mal classé

Les coefficients d'asymétrie (FOLK et WARD)

Ils indiquent la prédominance des sédiments fins ou des sédiments grossiers. Ils caractérisent le degré de symétrie de la courbe granulométrique par rapport à la médiane.

$$SKi = \frac{\Phi_{16} + \Phi_{84} - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{84} - \Phi_{16})} + \frac{\Phi_5 + \Phi_{95} - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{95} - \Phi_5)} \dots\dots (4)$$

Tableau V.3 : Les valeurs adoptées de SK pour l'asymétrie avec l'interprétation des résultats (MEZOUAR, 2009).

Limite de Ski	L'asymétrie
-1 < Ski < -0.3	Asymétrie très négative vers les grossiers
-0.3 < Ski < -0.1	Asymétrie négative vers les grossiers
-0.1 < Ski < 0.1	Symétrie
0.1 < Ski < 0.3	Asymétrie positive vers les fins
0.3 < Ski < 1	Asymétrie très positive vers les fins

5.3. Les résultats**a. Analyse de la fraction fine**

Les teneurs en fraction fine ($\Phi < 63 \mu\text{m}$) ont été calculées pour l'ensemble des stations, elles nous ont permis d'établir la carte de répartition des pélites. Cependant, la fraction pélitique est représentée dans l'ensemble des échantillons avec des taux variables d'une station à une autre.

- L'échantillonnage au niveau des unités émergées

1- Sidi Fredj

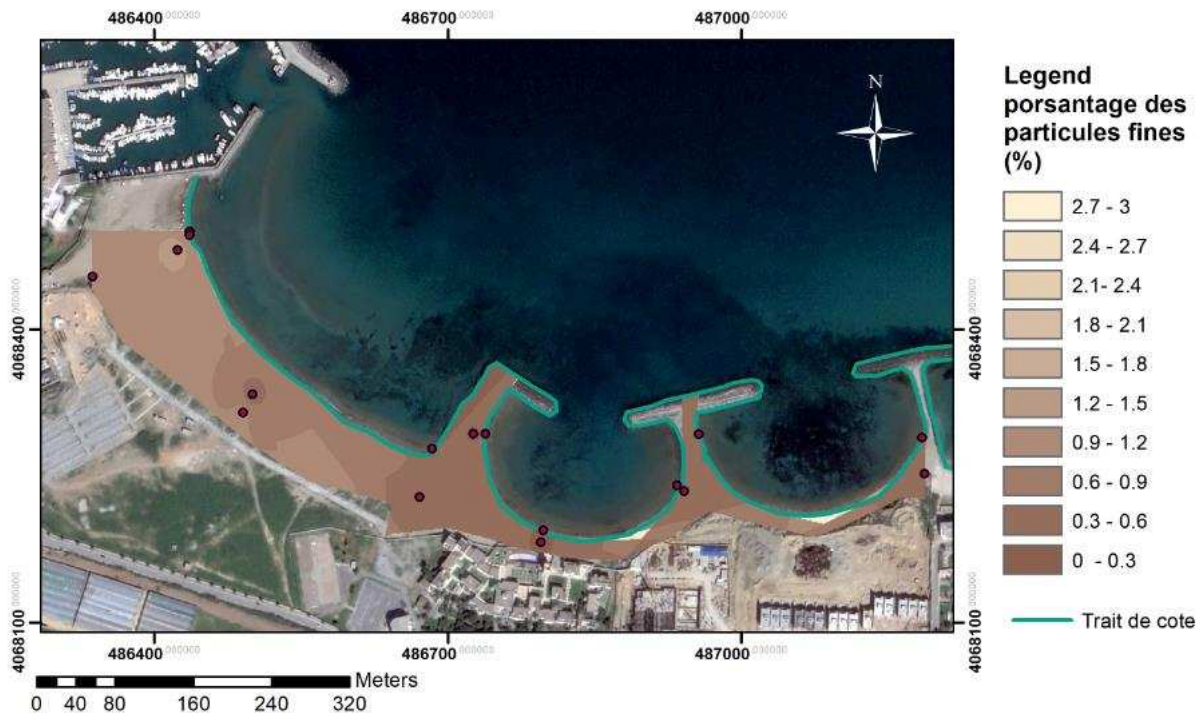


Figure V.5 : Carte de la répartition des pélites dans la partie aérienne de plage Est de Sidi-Fredj.

Commentaires et interprétation :

La carte représente la répartition de la fraction fine au niveau de la partie aérienne de la plage Sidi Fredj, la répartition spatiale montre que la fraction varie de 0.3% à 0.6% entre les ouvrages ; cette dernière peut être dû à la concentration de l'énergie de la houle.

Ce pourcentage augmente au fur et à mesure en allant vers l'arrière plage jusqu'à 2.4%, cette répartition peut être provoquée par une force éolienne qui présente un impact remarquable sur le mouvement des particules en les emportant des dunes présentes sur le site vers le haut de plage.

2- Partie de baie Bou-Ismail

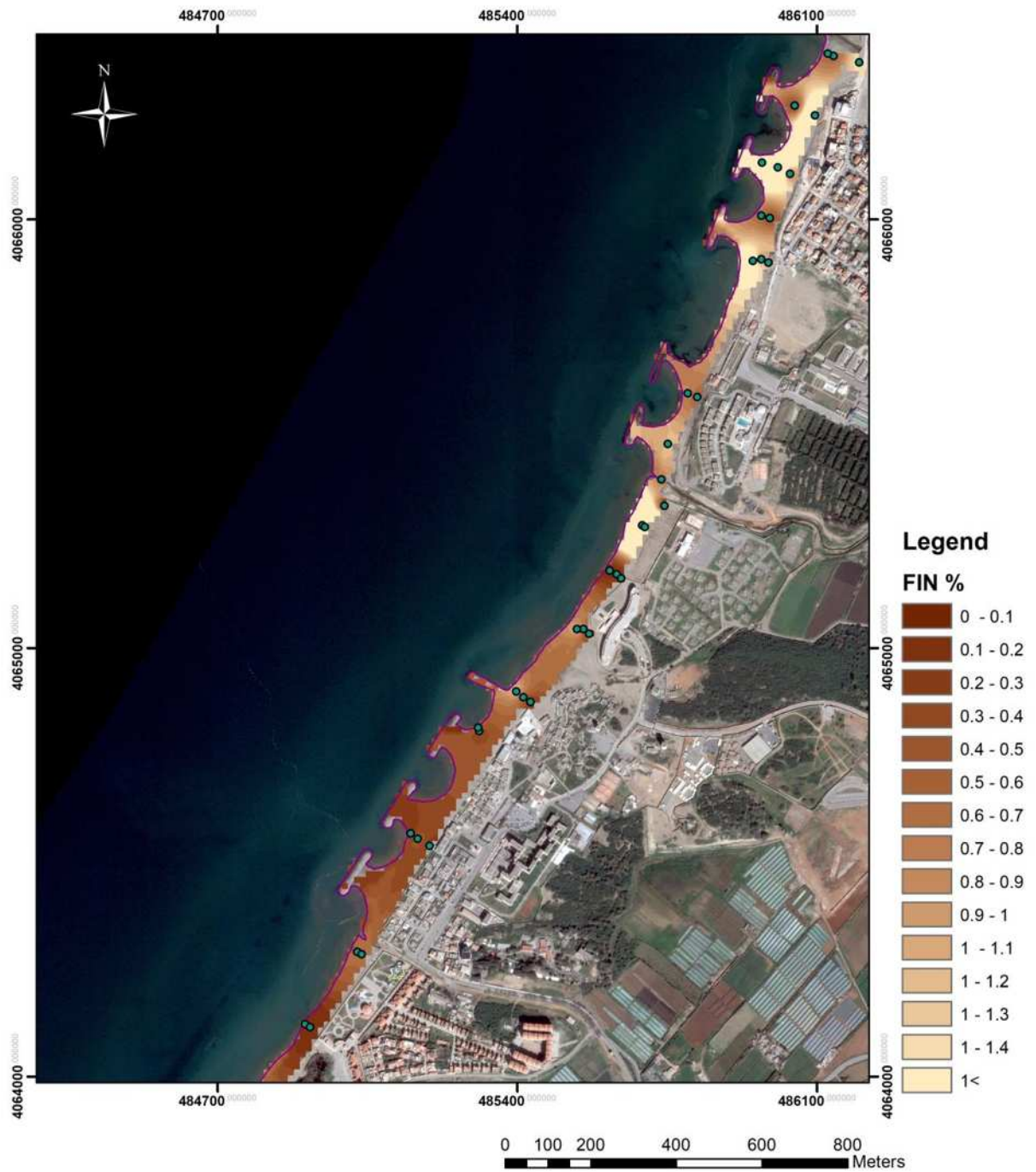


Figure V.6 : Carte de la répartition des pélites dans la première partie aérienne de la baie de Bou-Ismail.

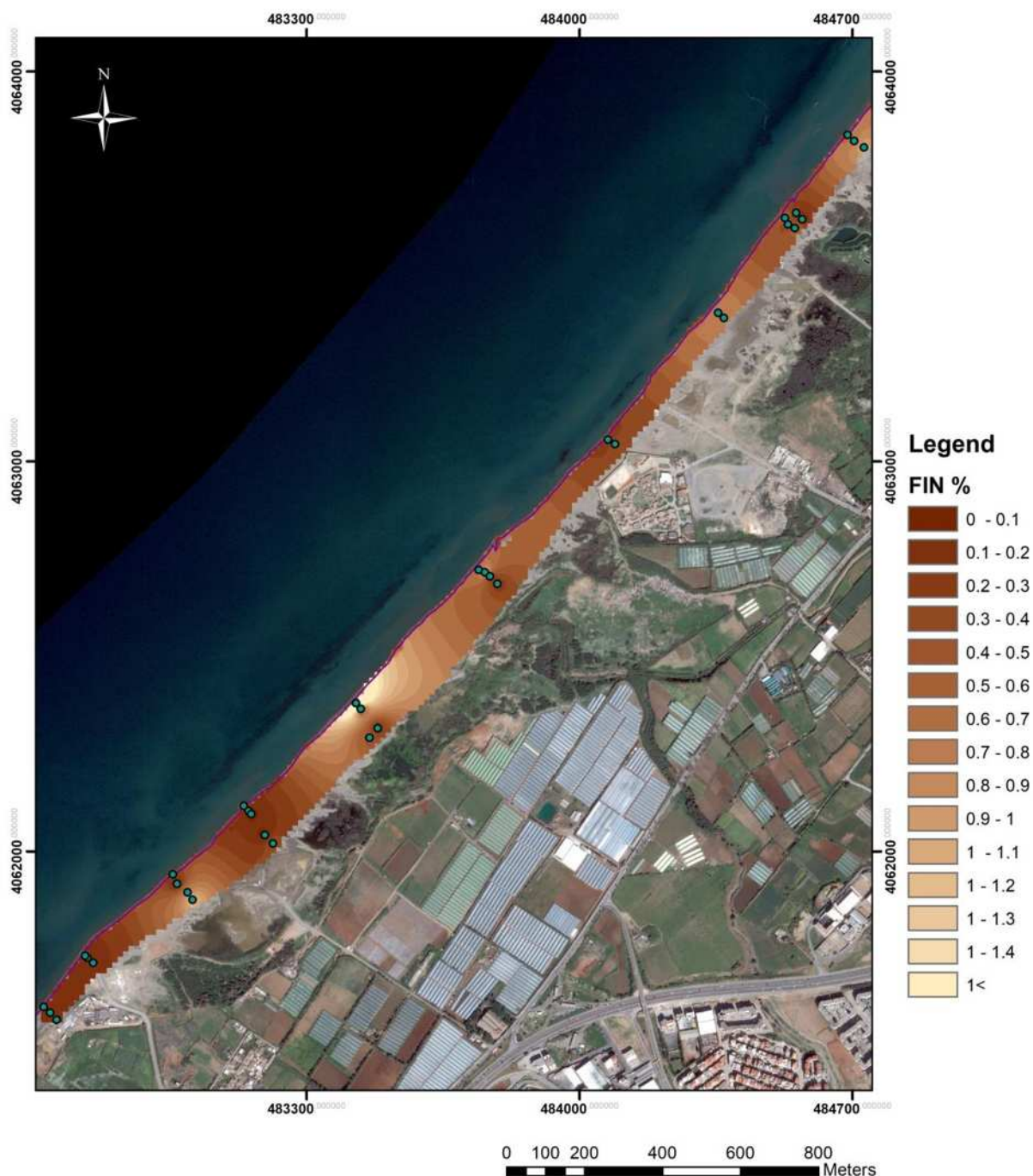


Figure V.7 : Carte de la répartition des pélites dans la deuxième partie aérienne de la baie de Bou-Ismaïl.

Commentaire et interprétation :

La carte de répartition des pélites dans la partie aérienne de la baie de Bou-Ismaïl ; de la plage Ouest de Sidi Fredj jusqu’à la plage El Khlofi (Figure V.6 et V.7) ; montre que la teneur en fraction fine varie d’un taux de 0.2% jusqu’à 8%. Dont le taux le plus élevé est au niveau de la plage Azur jusqu’à Plam beach et ça pourrait être à la présence des deux

embouchures de Oued (Malma et un Oued artificiel) qui transportent les matériaux fins vers la mer, et par la suite la dérive littoral va générer transport de ces derniers à la plage ; l'implantation des ouvrages au niveau de cette partie joue un rôle important dans le maintien des pélites. Concernant la partie Ouest de la baie, le pourcentage de la fraction fine est faible, et ça pourrait être lié à l'action de la houle frontale sur la zone.

- **L'échantillonnage au niveau des unités immergées**

1- Sidi Fredj

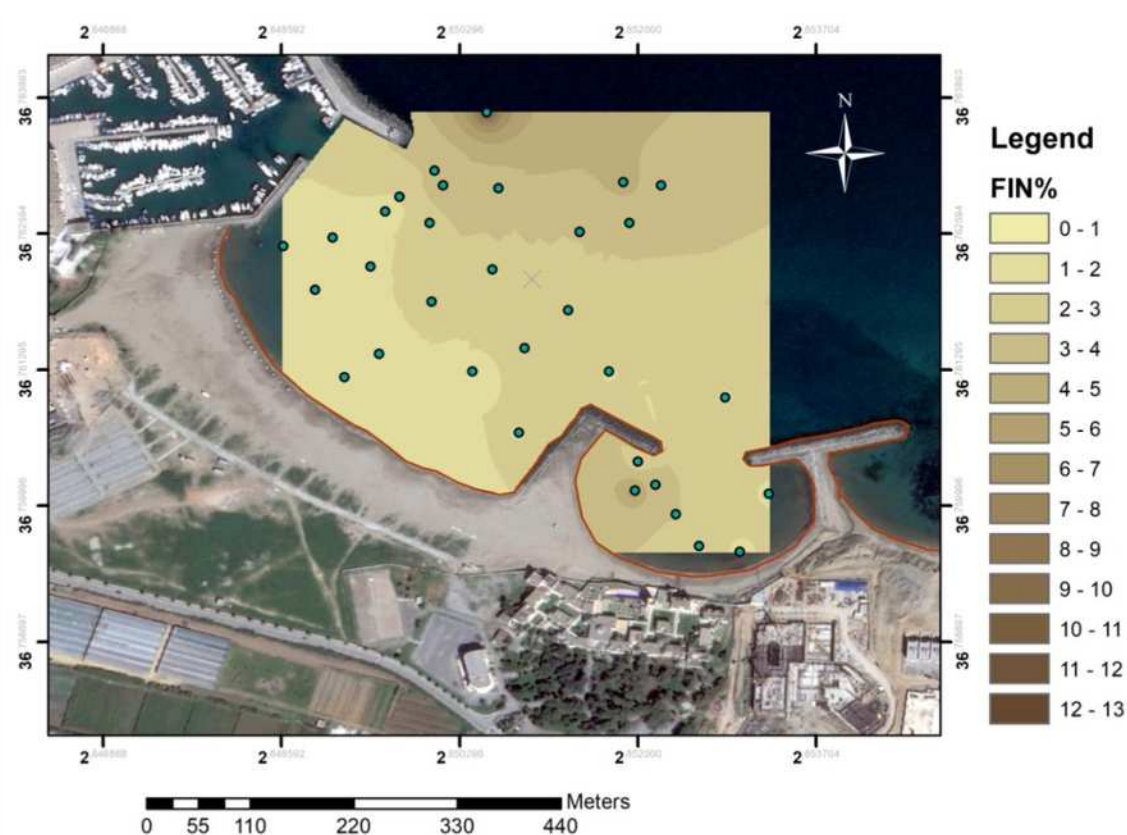


Figure V.8: Carte de la répartition des pélites dans la partie marine de la plage Est de Sidi Fredj

Commentaire et interprétation :

Selon l'observation sur la carte (figure V.8), on observe une répartition des pélites au niveau de la partie sous-marine, avec des teneurs relativement faibles qui sont comprises généralement entre 0% et 13%.

On remarque que les plus grandes teneurs se retrouvent dans la partie Nord-Ouest de notre zone d'étude (jusqu'à 13%) qui sont probablement dû à la présence du port ; plus exactement à côté de la passe d'entrée du port; c'est ce qui leur procure des conditions relativement calmes pour qu'ils se déposent. Par contre les plus faibles teneurs sont enregistrées sur les petits fonds avec un taux qui varie entre 0.6% et 1.5 % et ça pourrait être lié à l'hydrodynamisme de la

zone où les sédiments sont en perpétuelle remaniement au petites profondeurs ce qui fait qu'ils soit transporté vers le large.

2- Partie de la baie Bou-Ismail

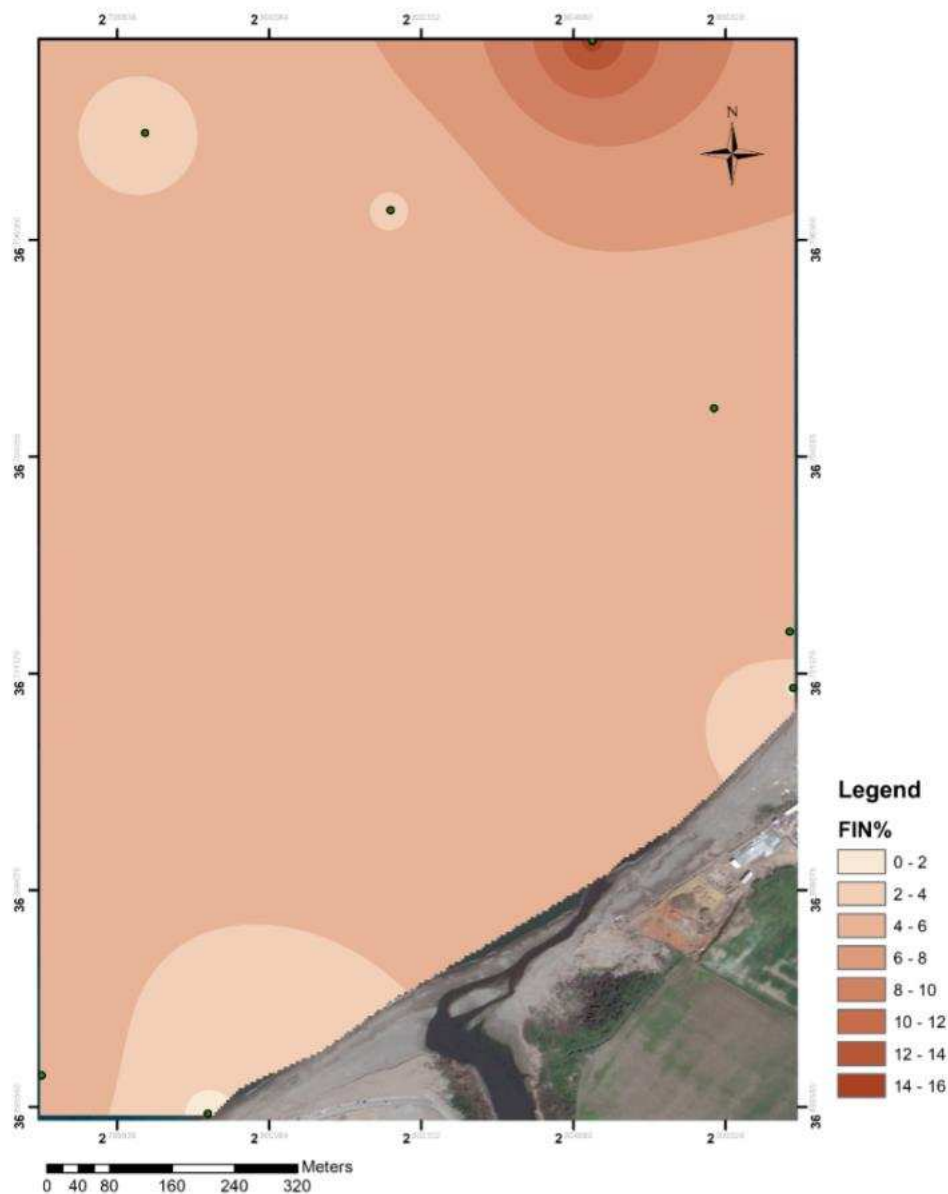


Figure V.9 : carte de la répartition des pélites dans la partie marine de la baie de Bou-Ismail (à côté d'Oued de Mazafran).

Commentaire et interprétation :

Selon l'observation de la carte de répartition des pélites au niveau de la partie sous-marine, ces derniers ont un taux faible (0 à 2%) en approchant le rivage, il se pourrait que ça se soit à cause de l'exposition de la zone au fort hydrodynamisme; mais la fraction fine augmente en allant vers l'embouchure de l'oued et cela pourrait être dû aux apports de ce dernier.

En s'éloignant du rivage vers le large, on remarque aussi une augmentation de pourcentage de la fraction fine (jusqu'à 16%) qui est dû à l'augmentation de la profondeur avec la diminution de l'énergie de la houle qui favorise le dépôt des pélites.

b. Analyse de la fraction grossière

- L'échantillonnage au niveau des émergées

1- Sidi Fredj

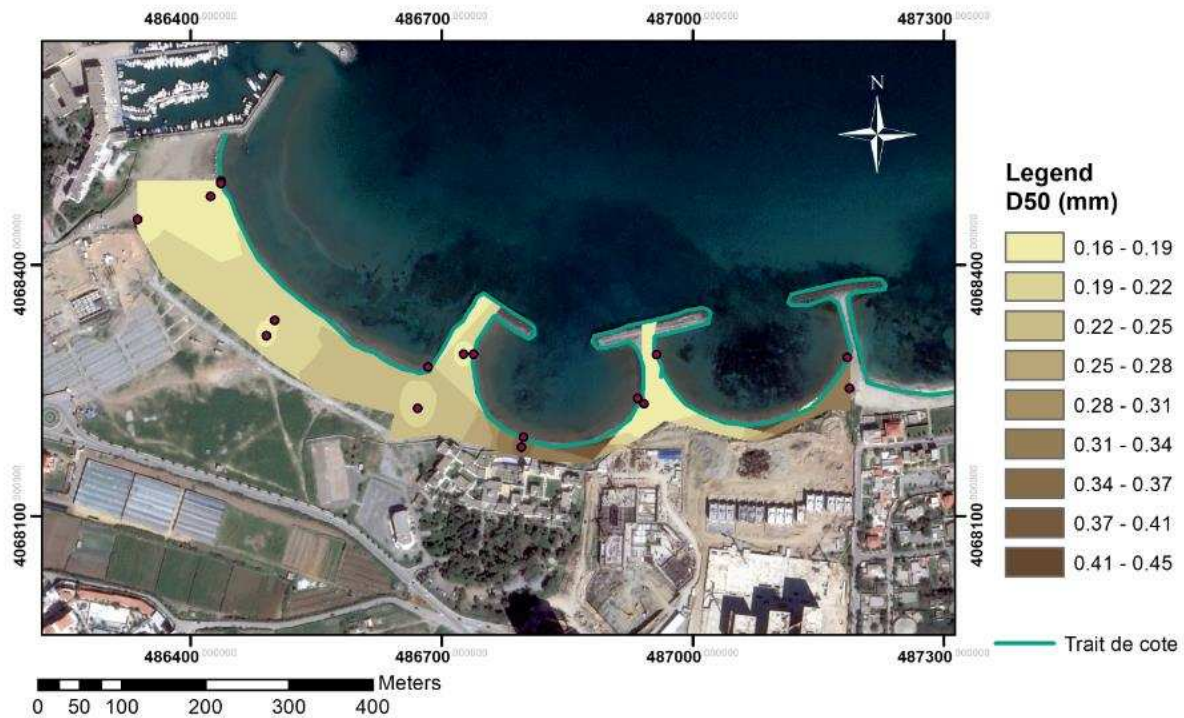


Figure V.10 : carte de la répartition de la médiane (D50) dans la partie aérienne de la plage Est de Sidi Fredj

Commentaire et interprétation :

Selon la carte de la répartition de la médiane, dans la partie aérienne de la plage Est de Sidi-Fredj (figure V.10), on observe une répartition croissante de cette dernière en allant du Nord –Ouest vers le Sud –Est avec un diamètre de 0.16 jusqu'à 0.25 mm, ça pourrait causé par l'exposition de la zone par rapport a la propagation des houles.

Pour la plage d'El Riadh et El Minzah le diamètre de grain est plus grand ceci causé par la concentration de l'énergie hydrodynamique existante dans la zone.

2- Partie de baie Bou-Ismaïl

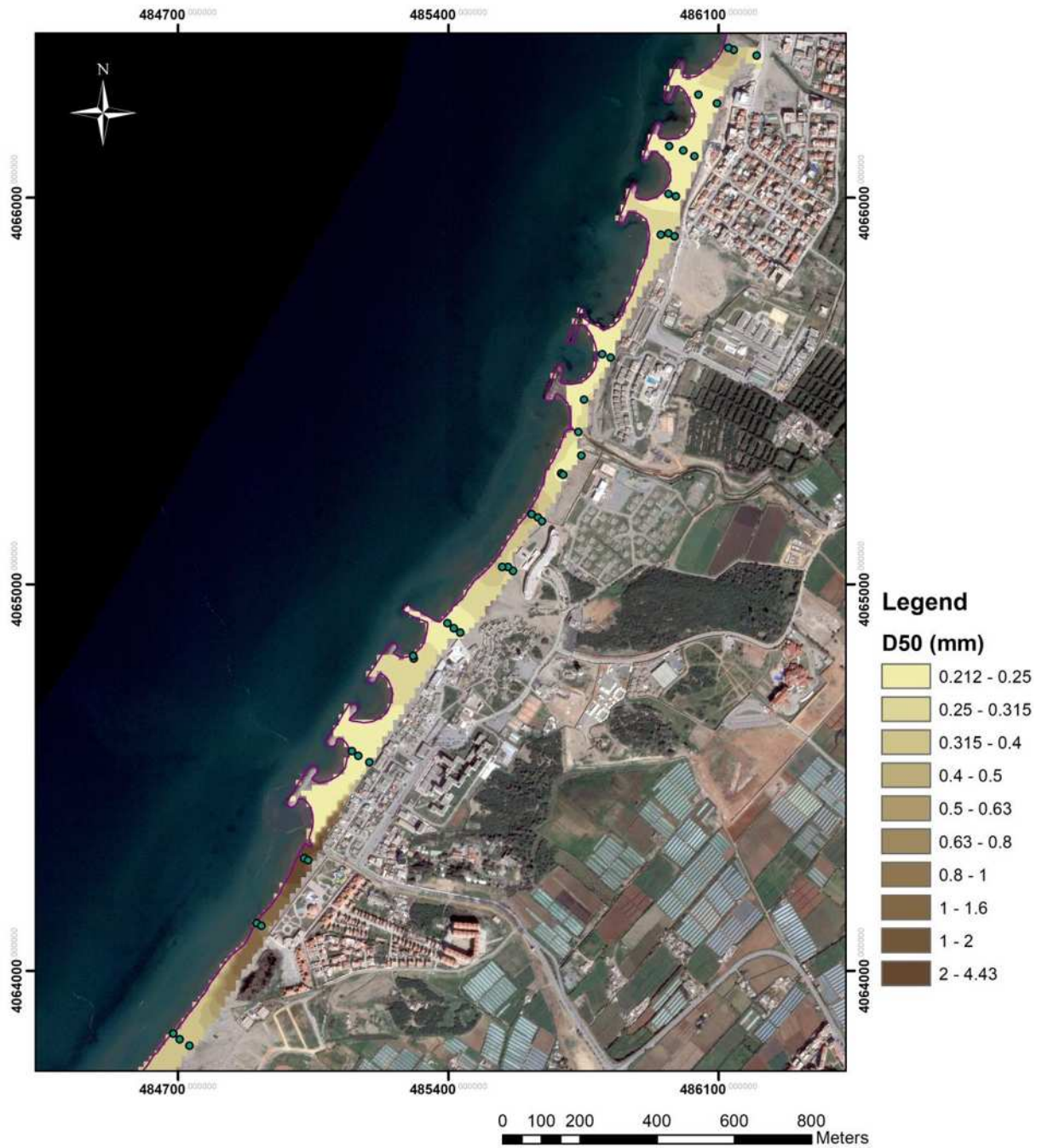


Figure V.11 : Carte de la répartition de la médiane (D50) dans la première partie aérienne de la baie de Bou-Ismaïl.

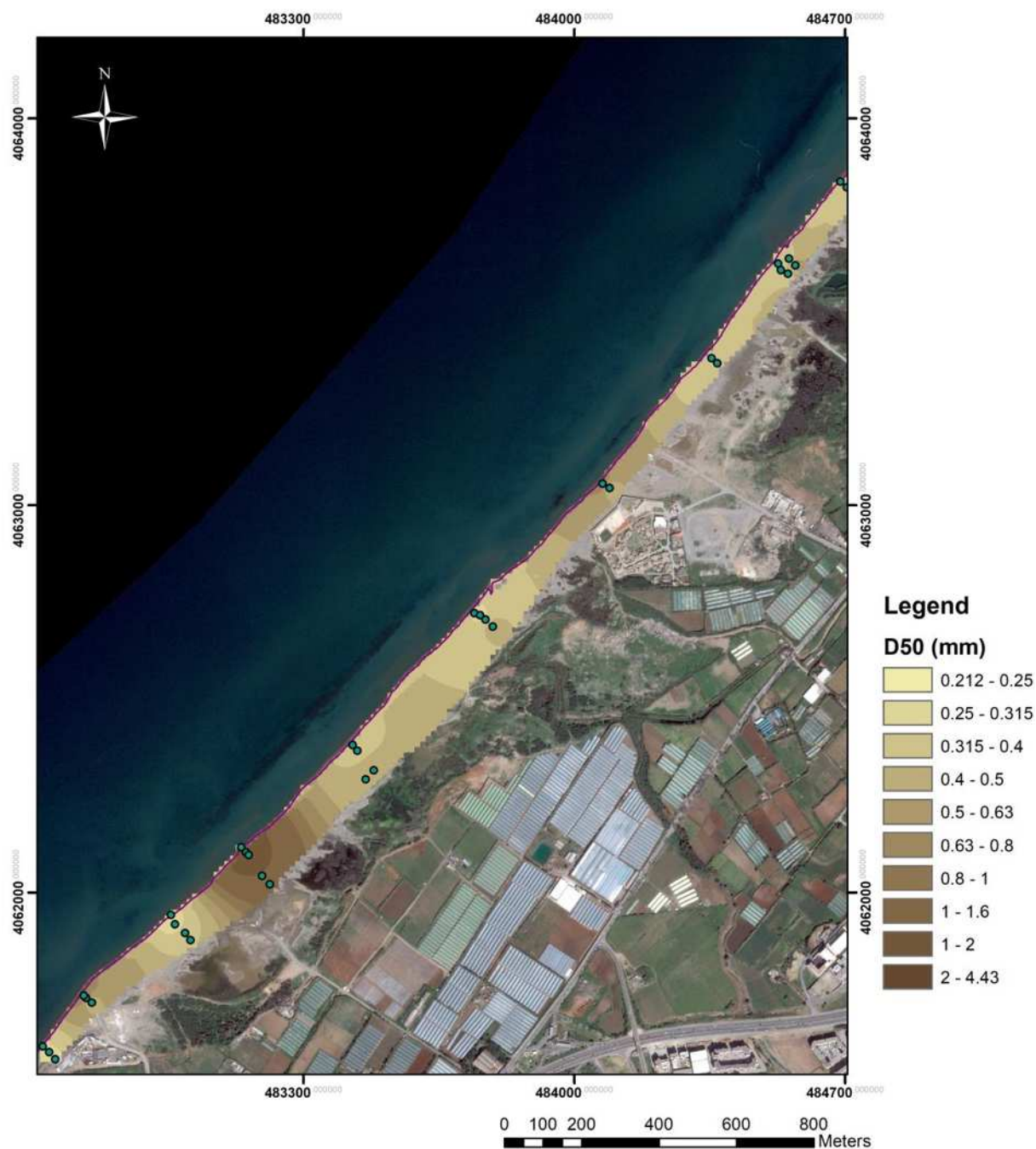


Figure V.12 : Carte de la répartition de la médiane (D50) dans la deuxième partie aérienne de la baie de Bou-Ismaïl.

Commentaire et interprétation :

Selon cette carte figure V.12 qui représente la distribution des diamètres médians au niveau de la zone de Bou-Ismaïl, on remarque que les diamètres sont réparties d'une façon croissante en couvrant toute la baie, tout en allant de l'Ouest vers l'Est avec des diamètres de 0.3 jusqu'à 3mm, les diamètres dominants sont compris entre 0.3 et 1.5mm, cette répartition est provoquée probablement par le jet de rive. Il faut aussi souligner qu'une partie des plages qui sont en cours d'aménagements ont connus un rechargement artificiel.

- L'échantillonnage au niveau des unités immergées

1- Sidi Fredj

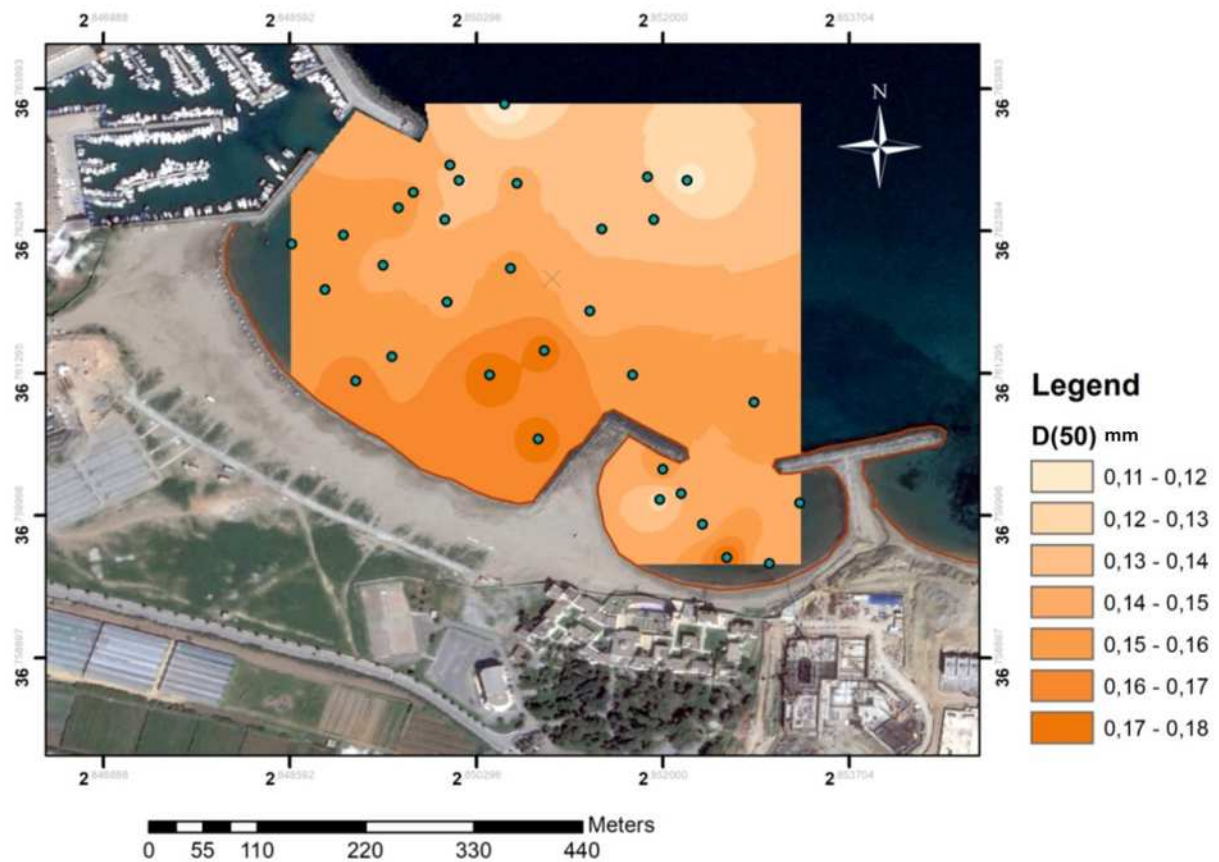


Figure V.13 : carte de la répartition de médiane (D50) dans la partie marine de la plage Est de Sidi Fredj

Commentaire

D'après cette carte de la répartition de médiane de la partie marine de de la plage Est de Sidi Fredj, on remarque que le D50 varie de 0.11 à 0.18 mm.

En remarque que les plus petites valeurs sont au Nord, et les D50 ont tendance à augmenter en allant vers le rivage, ça pourrait être dû à l'hydrodynamisme de la zone, et on voit que le D50 dans la partie Est est supérieur de celle de la partie Ouest, et ça peut être lié au sens du courant dominant ainsi donc au transport sédimentaire, en plus de la présence du port qui génère un plan d'eau calme qui favorise le dépôts de sédiment.

2- Partie de baie Bou-Ismaïl

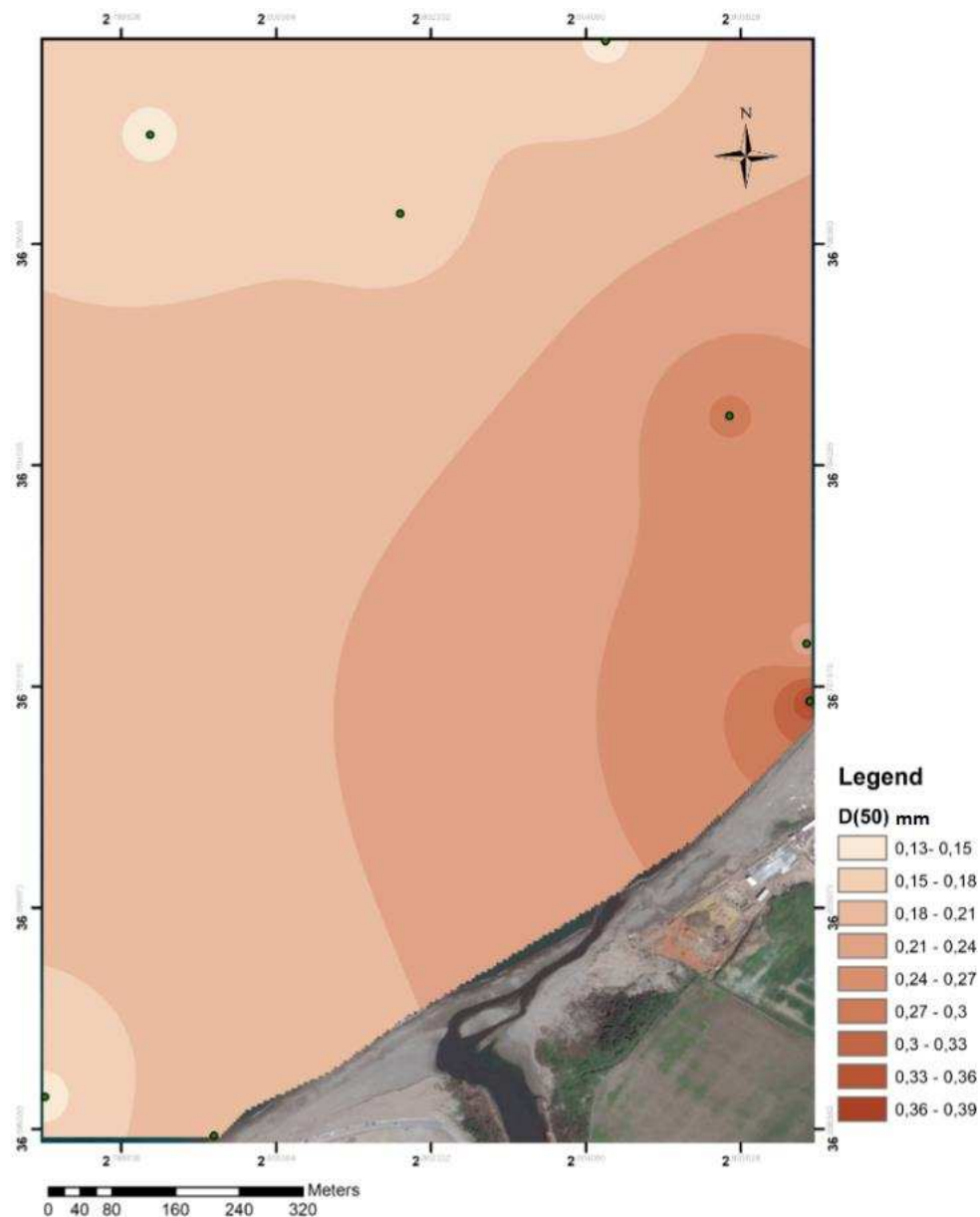


Figure V.14 : Carte de la répartition de la médiane (D50) dans la partie marine de la baie de Bou-Ismaïl (à côté d'Oued de Mazafran).

Commentaire et interprétation :

La carte de la distribution des médianes au niveau de la zone de Bou-Ismaïl montre que le D50 varie de 0.13 jusqu'à 0.39 mm, on remarque que le taux le plus élevé est situé dans la partie Est près de rivage (jusqu'à 0.39 mm), ça peut être en relation avec le fort hydrodynamisme dans cette zone.

Cette teneur diminue en allant vers le Nord et vers le Ouest qui arrive jusqu'à 0.13mm, et ça peut être expliqué par l'augmentation de profondeur et la présence du oued de Mazafran .

5.4 Modélisation du transport sédimentaire

Pour les deux parties de la zone d'étude, la modélisation du transport sédimentaire a été faite en utilisant le module MIKE 21/3 Coupled Model FM. C'est un couplage entre les trois modèles : le modèle hydrodynamique MIKE 21-HD le modèle de réfraction de vague MIKE21-SW et le modèle de transport de sable MIKE21-ST

Deux méthodes de simulation dans MIKE Bijker et STP utilisent l'équation du transport des sédiments qui est calculée comme suit (DHI, 2014c) :

$$q_{tb} = q_b + q_s ;$$

Avec :

q_{tb} : le transport total des sédiments ;

q_b : le transport par charriage ;

q_s : le transport par suspension ;

Voici les résultats obtenus pour la zone d'étude

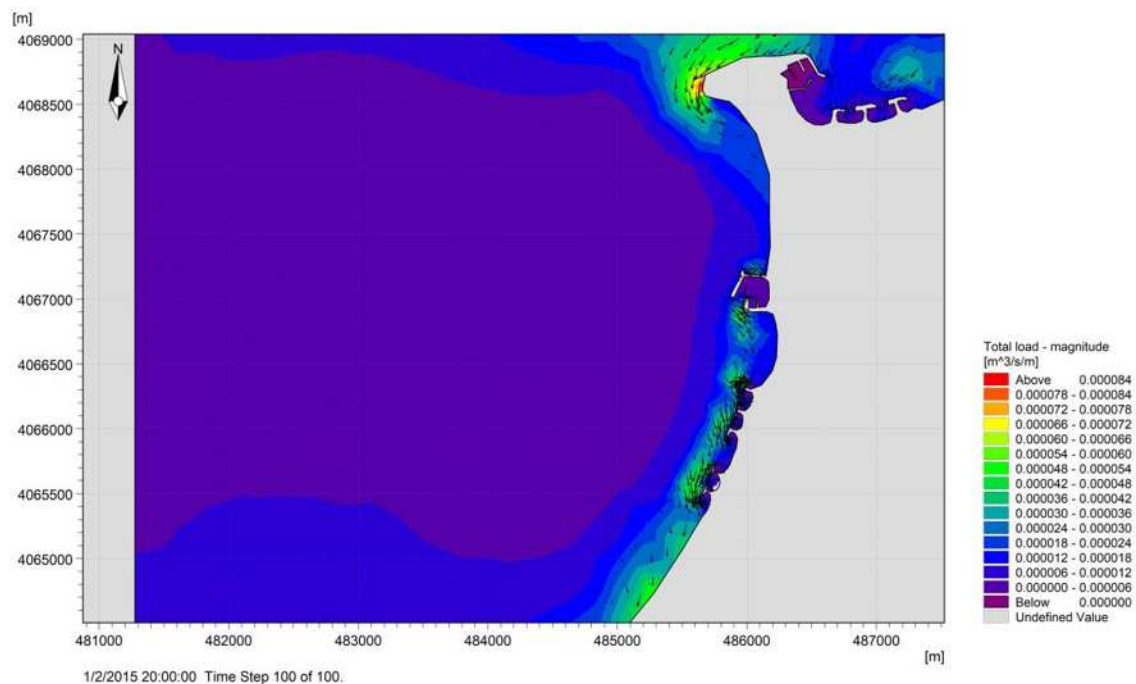


Figure V.15 : modélisation du transport sédimentaire dans la zone de Sidi Fredj jusqu'à l'oued de Mazafran (direction de houle = 22.5N ; Hs = 1.77m).

Commentaire :

La carte de la modélisation du transport sédimentaire dans la zone de Sidi Fredj jusqu'à l'oued de Mazafran montre le régime de transport sédimentaire par une houle de direction 22.5N et $H_s = 1.77\text{m}$.

On remarque que le transport sédimentaire est dans le même sens des courants parallèlement à la côte. On voit que les grands débits sont du côté ouest des falaises de Sidi Fredj qui arrive à $0.000084 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ ($2649.024 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$) et aussi au niveau des ouvrage de protection de la côte ouest qui dépasse le $0.000066 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ ($2081.376\text{m}^3/\text{an}/\text{m}$),

En s'éloignant vers le large on voit que le débit diminue au fur et à mesure avec l'augmentation de la profondeur et la diminution de l'impact de courant sur le fond.

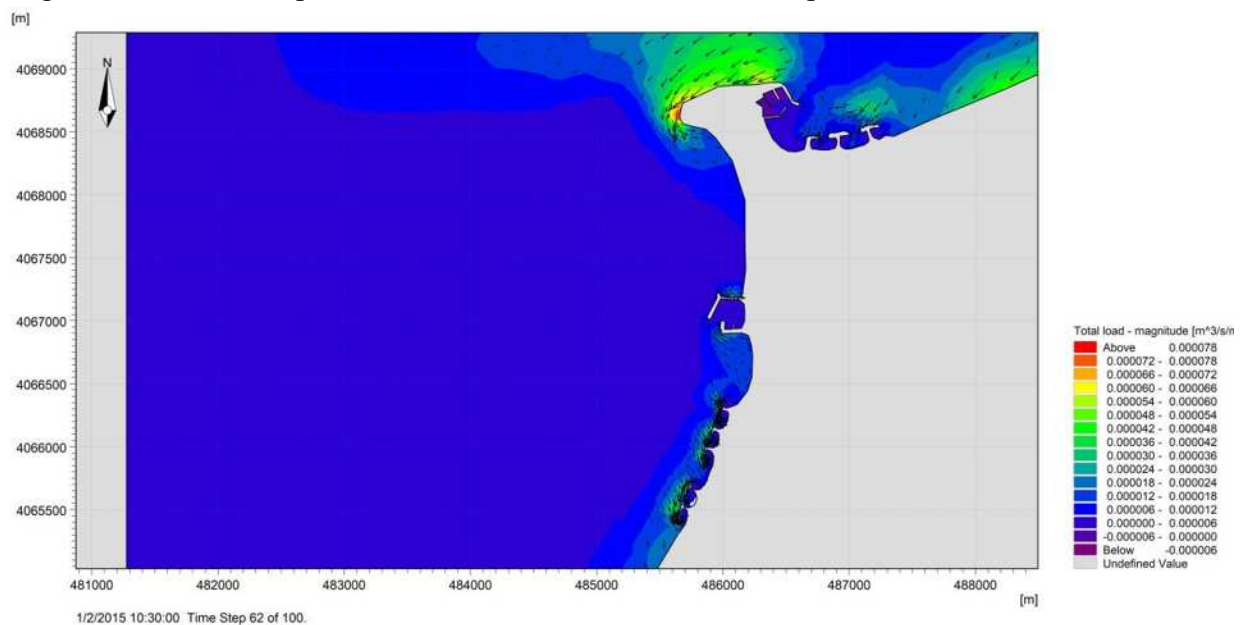


Figure V.16 : modélisation du transport sédimentaire dans la zone de Sidi Fredj jusqu'à l'oued de Mazafran (direction de houle = 45N ; $H_s = 1.34\text{m}$).

Commentaire :

La carte de la modélisation du transport sédimentaire dans la zone de Sidi Fredj jusqu'à l'oued de Mazafran montre le régime de transport sédimentaire par une houle de direction 45N et $H_s = 1.34\text{m}$.

On remarque que le transport sédimentaire est dans le même sens des courants parallèlement à la côte. La carte montre que le transport est plus remarquable dans l'Est que l'Ouest à cause de l'orientation des plages Ouest qui sont sous l'abri de cap.

La modélisation montre que les grands débits sont à côté des falaises de Sidi Fredj qui peut arriver à plus de $0.000078 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ ($2465.31 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$) et aussi au niveau des ouvrages de protection qui dépasse le $0.000048 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ ($1636.19 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$).

On remarque au niveau des brise-lames Ouest les vecteurs qui sont dirigés vers la terre, qui peut se traduire par l'accumulation des sédiments.

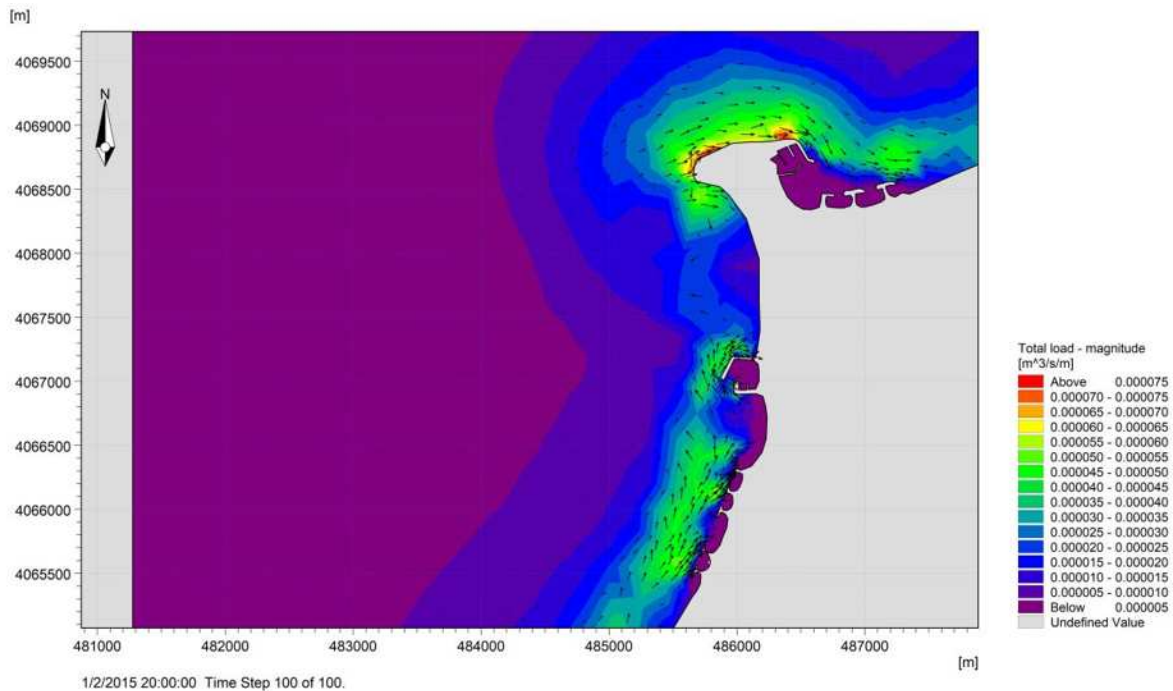


Figure V.17: modélisation du transport sédimentaire dans la zone de Sidi Fredj jusqu'à l'oued de Mazafran (direction de houle = 270N ; Hs = 2.4m).

Commentaire :

La carte de la modélisation du transport sédimentaire dans la zone de Sidi Fredj jusqu'à l'oued de Mazafran montre le régime de transport sédimentaire par une houle de direction 270 et Hs= 2.4.

On remarque que le transport sédimentaire est dans le même sens des courants parallèlement à la côte.

La modélisation montre que les grands débits sont à côté des falaises de Sidi Fredj qui peut arriver à plus de $0.000075 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ ($2365.2 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$) et aussi au niveau des ouvrages de protection de côte ouest qui dépasse le $0.00006 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ ($1892.16 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$) ça peut être dû au fort hydrodynamisme dans la zone.

À côté de plage ouest de Sidi Fredj, On remarque la rencontre de deux courants opposés de Nord et de Sud ce qui génère un courant vers le Nord-Ouest.

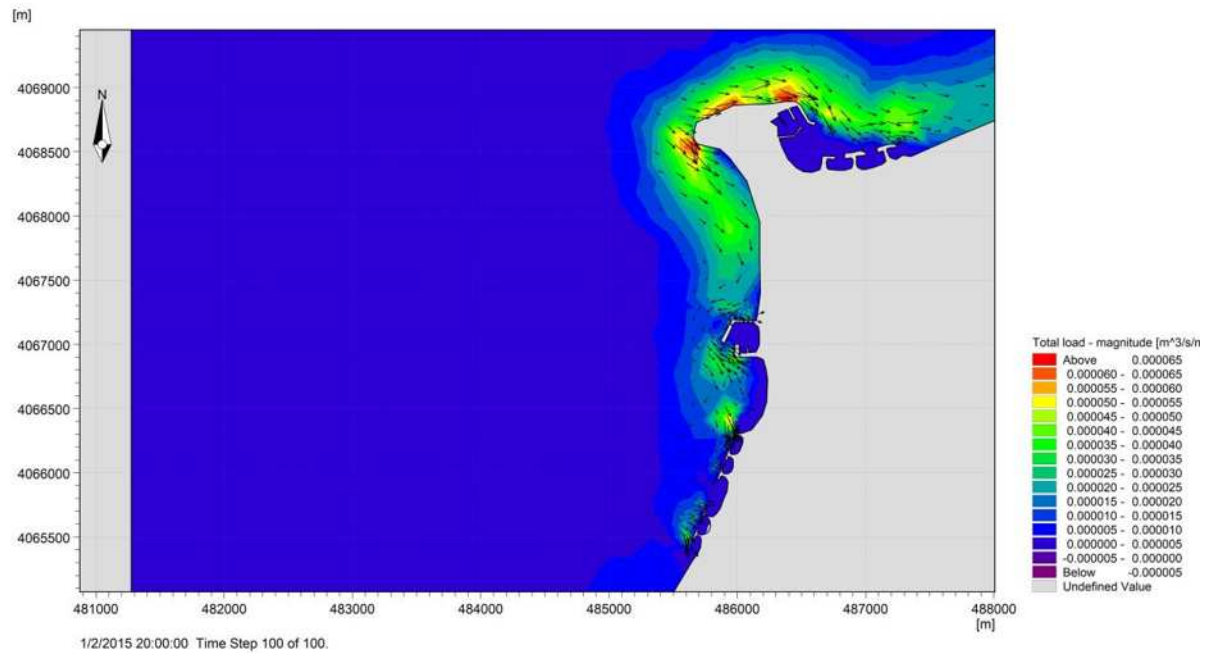


Figure V.18 : modélisation du transport sédimentaire dans la zone de Sidi Fredj jusqu'à l'oued de Mazafran (direction de houle = 292.5N ; Hs = 1.9m).

Commentaire :

La carte de la modélisation du transport sédimentaire dans la zone de Sidi Fredj jusqu'à l'oued de Mazafran montre le régime de transport sédimentaire par des houles de direction 292.5N et Hs 1.9m.

On remarque que le transport sédimentaire est dans le même sens des courants parallèlement à la côte, et le courant se divise en deux au niveau de l'extrémité Ouest de cap de Sidi Fredj et que le courant diminue au niveau des ouvrages de protection Ouest

La modélisation montre que les grands débits sont à côté des falaises de Sidi Fredj ; il peut arriver à plus de $0.00006 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ ($1892.16 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$) et aussi au niveau des ouvrage de protection de côte Est qui dépasse le $0.00005 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ ($1576.8 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$).

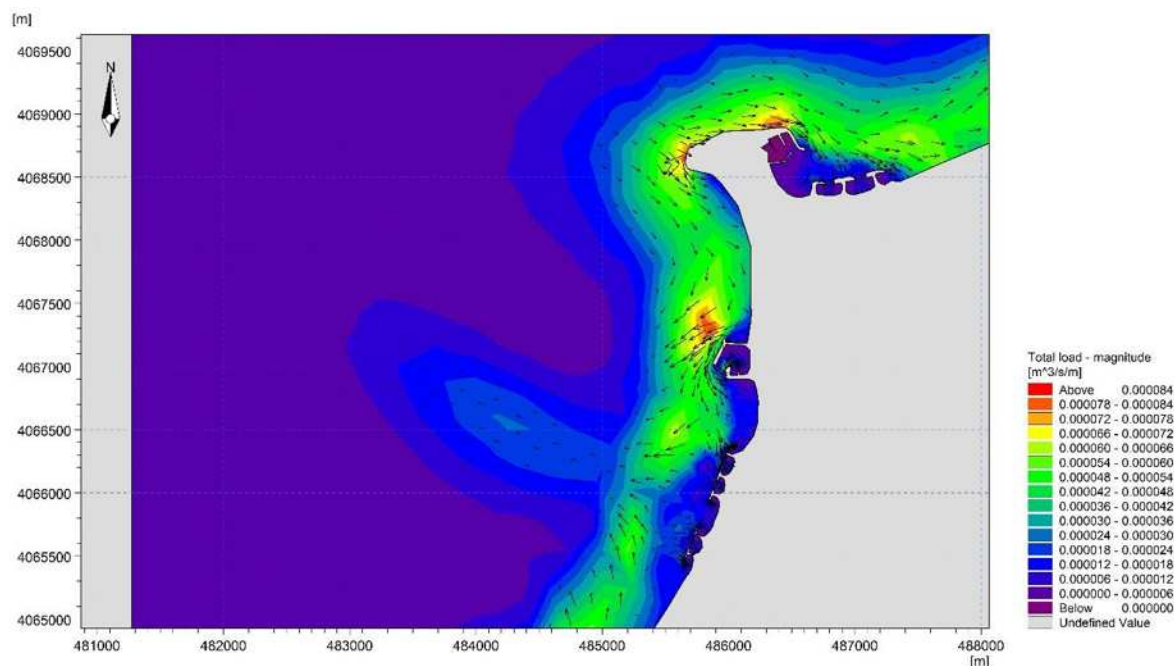


Figure V.19 : modélisation du transport sédimentaire dans la zone de Sidi Fredj jusqu'à l'oued de Mazafran avec une houle exceptionnelle (direction de houle = 292.5N ; $H_s = 3.5\text{m}$; $T_p = 9.8\text{s}$).

Commentaire :

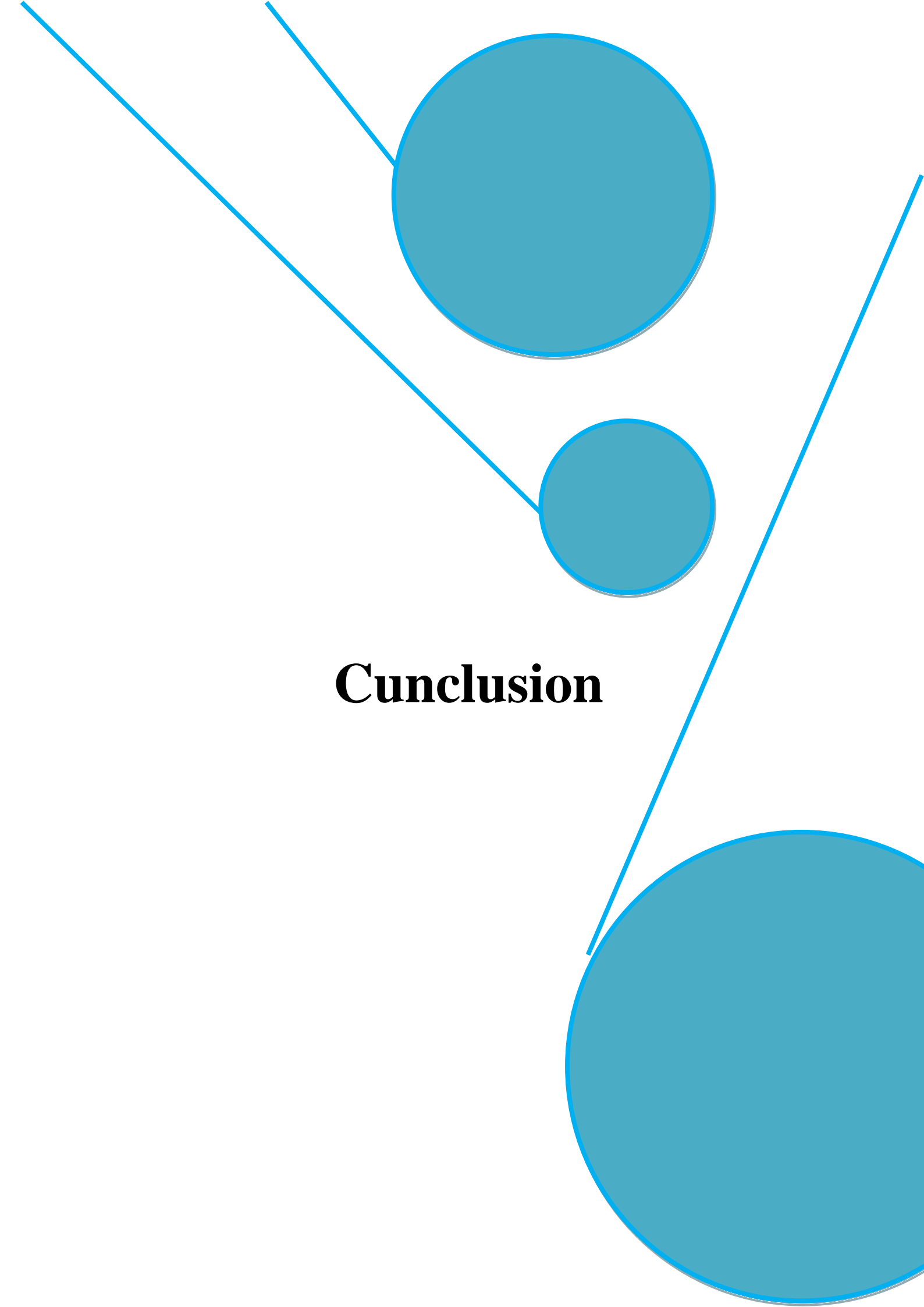
La carte de la modélisation du transport sédimentaire dans la zone de Sidi Fredj jusqu'à l'oued de Mazafran montre le régime du transport sédimentaire par des houles de direction 292.5N et $H_s = 3.5\text{m}$.

On remarque que le transport sédimentaire est dans le même sens des courants parallèlement à la côte, au niveau de l'extrémité Ouest du cap de Sidi Fredj nous observons que le plan de déplacement des sédiments est diffracté, une partie du transit se dirige vers l'est et la deuxième partie se dirige vers l'ouest. Au niveau des brise-lames Ouest, On remarque la rencontre de deux transit opposés de Nord et de Sud ce qui génère relargage de sédiments vers le Nord-Ouest.

La modélisation montre que les grands débits sont à côté des falaises de Sidi Fredj qui peut arriver à plus de à $0.000084 \text{ m}^3/\text{S}/\text{m}$ ($2649.024 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$) et aussi au niveau des ouvrages de protection de côte Est qui dépasse le $0.00006 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ ($1892.16\text{m}^3/\text{an}/\text{m}$).

Interprétation générale :

Nous avons remarqué que dans l'ensemble des simulations que le transit sédimentaire suit le même plan que les courants. Concernant le taux du transport ; il varie selon les forçages météo-marins. Nous avons remarqué que le taux le plus important a été enregistré pour des houles de secteur NNE avec une hauteur de 1.77m alors que dans d'autre scenarios la hauteur est plus grande, à partir de là, nous pouvons déduire que le taux du transit dépend de l'angle que fait la vague à l'approche du rivage, de son énergie (taux de déferlement et de diffraction) mais aussi de la pente de la plage.



Cunclusion

Conclusion

Ce mémoire porte sur les impacts des forçages météorologiques et anthropiques sur la dynamique morpho sédimentaire littoral dans la partie Ouest algéroise, il avait pour objectif principal la mise en évidence et la mesurer des phénomènes d'érosion et d'accumulation intervenus depuis plusieurs décennies.

Nous avons entamé le mémoire avec le chapitre généralité qui englobe un ensemble d'informations, parmi ces informations on peut citer, le littoral et son approche systémique, les processus hydro-sédimentaires où nous avons parlé de l'hydrodynamisme (vague, houle...etc.), du transport sédimentaire (modes du transport), et enfin d'un petit aperçu sur l'impact anthropique.

L'utilisation du DSAS pour l'évaluation de la cinématique du trait de côte, nous a permis de créer des bases de données, et de faire des comparaisons statistiques, ressortir avec des résultats sur l'évolution du trait de côte à court terme, notamment le NSM qui indique la distance parcourue du trait de côte le long d'une période, le LRR et l'EPR qui font ressortir le taux d'évolution, et parmi ces résultats qu'on a obtenus; le taux d'évolution du trait de côte dans la plage Est de Sidi Fredj est de -0.5m/an entre 2004 et 2018, dont le taux d'érosion le plus important a été observé en 2007, et pour le côté de Bou Ismail le taux de l'évolution du trait de côte dans la plage Plam Beach est de -0.5 m/an, les images utilisés sont de résiliation 0.5 à 3m.

La simulation numérique facilite la sélection des solutions les plus adéquates à partir des scénarios tendanciels, et diminue le taux des risques que ce soit naturel ou anthropique. La modélisation avec DHI-Mike 21, nous a permis de simuler les différents phénomènes réels tels que l'action de la houle, les courants et le transport sédimentaire ; les résultats obtenus paraissent réalistes.

Les résultats de la simulation du transport sédimentaire nous a permis d'avoir des ordres de grandeurs du taux du transport sédimentaire et de constater le sens du transit sédimentaire dominant qui est d'Est vers l'Ouest. Ce qui est induit par la houle dominante de secteur Nord, Nord-Est.

Les résultats de ces modèles nous ont servi d'évaluer l'impact des infrastructures, les ouvrages portuaires et les ouvrages de protection sur la dynamique morpho-sédimentaire et l'évolution du littoral, l'exemple concret qui résume la situation est ce qui se passe réellement au niveau la station de recherche de l'ENSSMAL à Sidi Fredj où la houle arrive jusqu'au bas mur et ceci est due à l'absence de compensation en sédiment.

L'élaboration de ce travail nous a permis, d'approfondir nos connaissances et savoir-faire acquis durant les cinq ans de notre formation à l'ENSSMAL, et de mieux comprendre les processus qui interviennent dans le système côtier afin de prévoir de meilleures solutions en ingénierie pour l'aménagement du littoral.

The image features a minimalist design with three teal circles of varying sizes and several teal lines. One large circle is at the top center, a smaller one is below it to the right, and a very large one is at the bottom right. Lines connect the top-left circle to the middle one, the middle one to the bottom-right one, and another line goes from the top-left towards the bottom-right. The word 'Bibliographie' is centered in a bold, black, serif font.

Bibliographie

Ouvrages et Thèses :

AHFIR, Y. MEZIANE. I(2016). *Modélisation numérique de la cinématique du trait de côte et la dynamique sédimentaire des plages sableuses (Oran, Bou-Ismaïl, Alger, Bejaia et Skikda) Cas d'étude : Sidi Fredj*. Mémoire d'ingénieur. Dely Brahim. aménagement du littoral : ENSSMAL, p19.

AZZI, M. BOUKERT, H(2017). *Contribution à la connaissance de la morphologie et de la dynamique sédimentaire du littoral centre de l'Algérie (cas d'étude : Boumerdès, Sidi Fredj et Hamdania)*. Mémoire d'ingénieur. Dely Brahim. aménagement du littoral : ENSSMAL, p 49.

BELABDI, K. . OUNNAS, A(2011). *Étude des courants côtiers observés sur les petits fonds de la plage de Sidi Fredj: application pour la protection de la plage de Sidi Fredj*. Mémoire d'ingénieur. Dely Brahim. aménagement du littoral : ENSSMAL, p 14.

CAMENEN,(2002). *Modélisation numérique du transport sédimentaire sur une plage sableuse* PhD. Thesis. Université Grenoble I, p 85.

EGIS, E(2012). Etude sur la vulnérabilité et l'adaptation de la Wilaya d'Alger au changement climatique et aux risques naturels. Document non publié. France : Institute d'aménagement et d'urbanisme.

DE VRIEND, H.J(1991). Large-scale coastal evolution concept. New York, ASCE, Proceedings of the 22th Coastal Engineering Conference, p 1962-1974.

DHI (2014)a. MIKE ZERO. Creating 2D Bathymetries. Bathymetry Editor & Mesh Generator [en ligne], Denmark : Agern Allé [consulté le 13/04/18] disponible sur le web: www.mikebydhi.com.

DHI (2014)b. LITPACK. For modelling of coastal processes [en ligne], Denmark : Agern Allé [consulté le 13/04/18] disponible sur le web: www.mikebydhi.com.

DHI (2014)b. MIKE 21. Spectral Wave Module [en ligne], Denmark : Agern Allé [consulté le 13/04/18] disponible sur le web: www.mikebydhi.com.

DHI (2014)c. MIKE 21/3. Couple Model FM [en ligne], Denmark : Agern Allé [consulté le 13/04/18] disponible sur le web: www.mikebydhi.com.

GUILCHIER, A(1979). Précis d'hydrologie marine et continentale, 2èd édition. Paris. Masson, p 344

- HAMADOUCHE, M. BRAHMI,M(2017).** *Influence des Ouvrages Portuaires et de Protection sur l'équilibre du Littoral centre Algérois.* Mémoire d'ingénieur. Dely Brahim, aménagement du littoral : ENSSMAL, p 46.
- HEMDANE, Y(2006).** Determination of Sediment Transport Paths in Macrotidal Shoreface Environments: A Comparison of Grain-Size Trend Analysis with Near-Bed Current Measurements. *Journal of Coastal Research* : France. 24p (3), p 695– 707.
- IDIR, N. & AINI, A. (2006).** *Impacts des équipements côtiers sur l'évolution du littoral de Sidi-Fredj (Évolution du trait de côte, bilan sédimentaire et fonctionnement en grandeur nature des ouvrages de protection).* Mémoire d'ingénieur. Bab Ezzouar. Géographie et Aménagement du territoire :USTHB, 91p.
- JACQUES, V(2011).** *Modèles en hydraulique maritime.* In : *Département Ports et Côtes de SOGREAH Ingénierie* : Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdit, p 1.
- 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. Dely Brahim. aménagement du littoral: ENSSMAL, p 27.
- KROON, A(1994).** Sediment transport and morphodynamics of the beach and nearshore zone, near Egmond, The Netherlands. Thèse de Doctorat. Netherlands : Université d'Utrecht, p 275 .
- LAASSILLA, O(2013).** *Approche multidisciplinaire de suivi de la dynamique marine du littoral de Mohammedia.* Mémoire de stage de fin d'étude . Master Sciences et Techniques Eau et Environnement. Université Cadi Ayyad : Faculté des Sciences et Techniques Marrakech Département des Sciences de la Terre, p 74.
- LARBI, N(2017).** *Etude de protection et d'aménagement de la zone de Verte Rive-Bordj EL Kiffan, Recours à la modélisation physique et numérique (MIKE21, LITPACK)* . Mémoire d'ingénieur. Dely Brahim. aménagement du littoral : ENSSMAL, p 26.
- LARID, M(2011).** Cours d'aménagement du littoral I .2éd. Dely Brahim, ENSSMAL, p 42.
- LASALLE (1972).** Congrès international de la mer .Canada :Univarsite de Sherbrooke, p 186 .
- LEVOY, F(2000).** Interaction dune-plage : dynamique éolienne et application aux aménagements dunaires. France : Colloque Génie Civil - Génie côtier, p 647-654.
- MEZOUAR, K(2009).** *Etude comparative entre les méthodes de protection des deux littoraux Algérien et Roumain.* Thèse de Doctorat, Université Technique de construction de Bucarest, Roumanie, p 404.
- OTMANI, H(2010).** *Etude de protection de la zone de Club des Pins.* Mémoire d'ingénieur. Dely Brahim. aménagement du littoral : ENSSMAL, p 1.

OUKAZI, H(1993). *Le port de plaisance de Sidi Fredj: approche critique à travers son fonctionnement et l'impact sur l'environnement immédiat.* Mémoire d'ingénieur. Dely Brahim. aménagement du littoral : ENSSMAL, p 43-50.

PASKOFF, R(1993). *Côtes en danger,* Ed Masson, Paris, p 250.

SALEM CHERIF, Y. DAGHBADJ ,A(2015). *Aménagement et protection du rivage de Jijel.* Mémoire d'ingénieur. Dely Brahim, aménagement du littoral : ENSSMAL, p 17.

SAADALLAH, A. & MAHDJOUB, Y. & COLLOMB, P(1981). *Etude pétrographique structurale des gneiss de Sidi Fredj (Massif métamorphique d'Alger).* Mémoire d'ingénieur. Dely Brahim. aménagement du littoral : ENSSMAL, p 63.

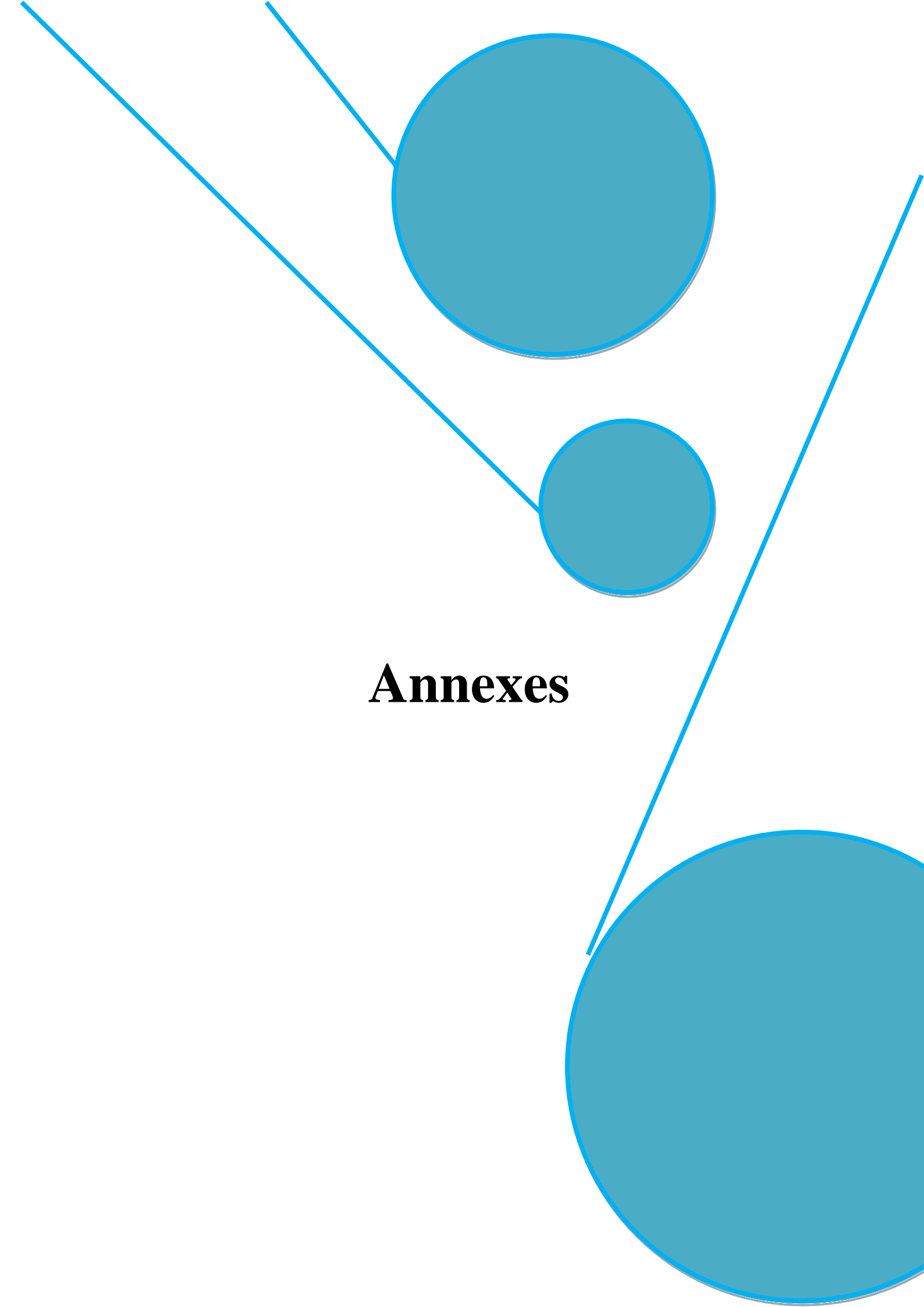
VIGUIER, J(1992). Modèles en hydraulique maritime. In : Techniques de l'ingénieur. 11 p.

WRIGHT, L.D. THOM, B.G(1977). Coastal depositional landforms: a morphodynamic approach. Progress. Physical Geography, n°1(3), p. 412-459.

Site Web :

www.ventusky.com

www.Navionics.com



Annexes

Les étapes de simulation avec un model couplé :

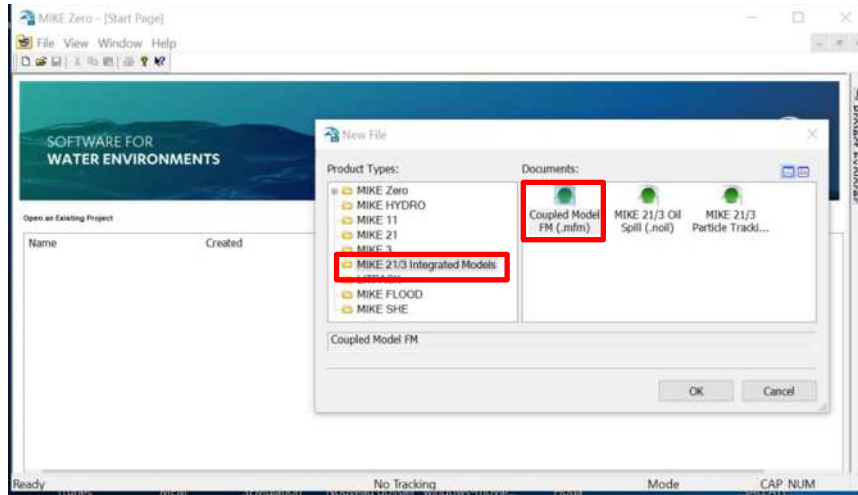


Figure : sélection de model 21/3

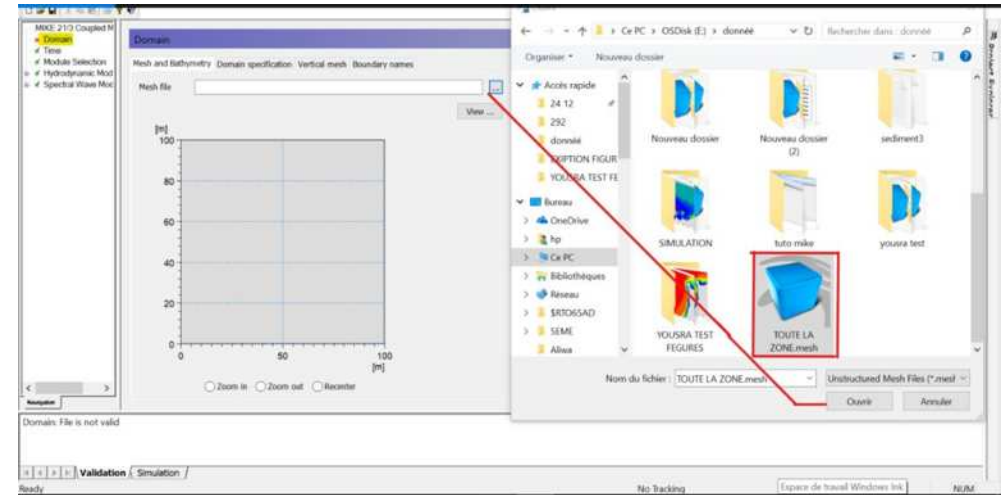


Figure : Importer la génération du maillage

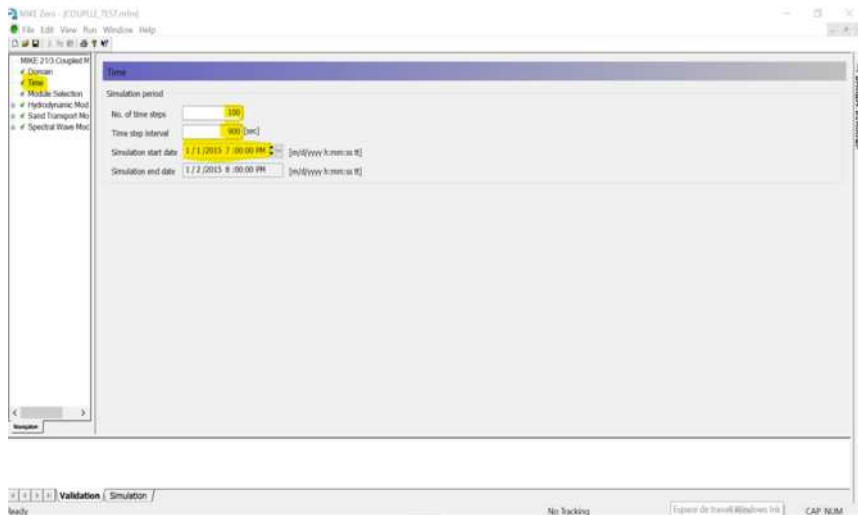


Figure : réglage de temps de simulation

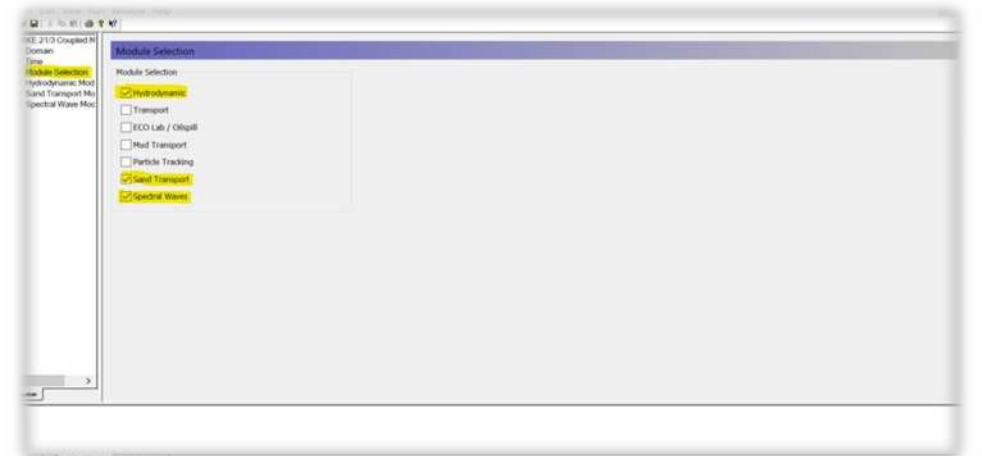


Figure : le choix des modèles utilisés pour la simulation

ANNEXES

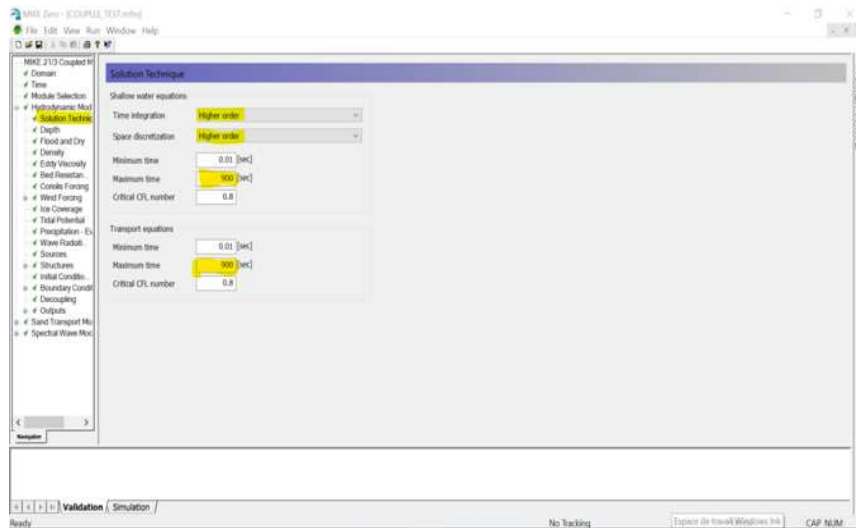


Figure : réglage des solutions techniques

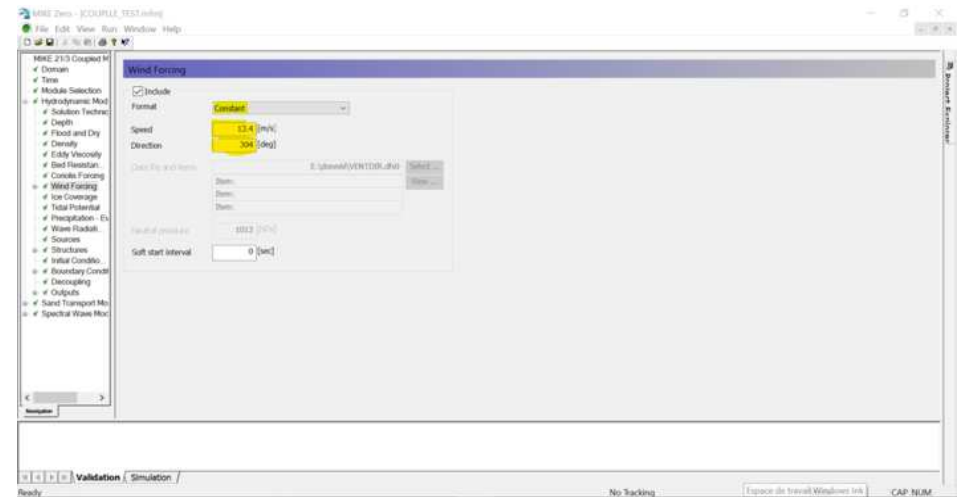


Figure : l'acquisition des données de vent

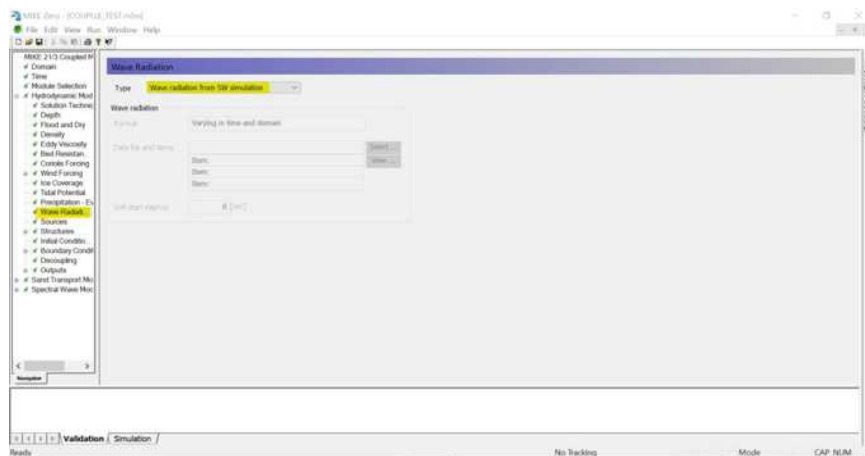


Figure : le choix de la source des radiations de la houle

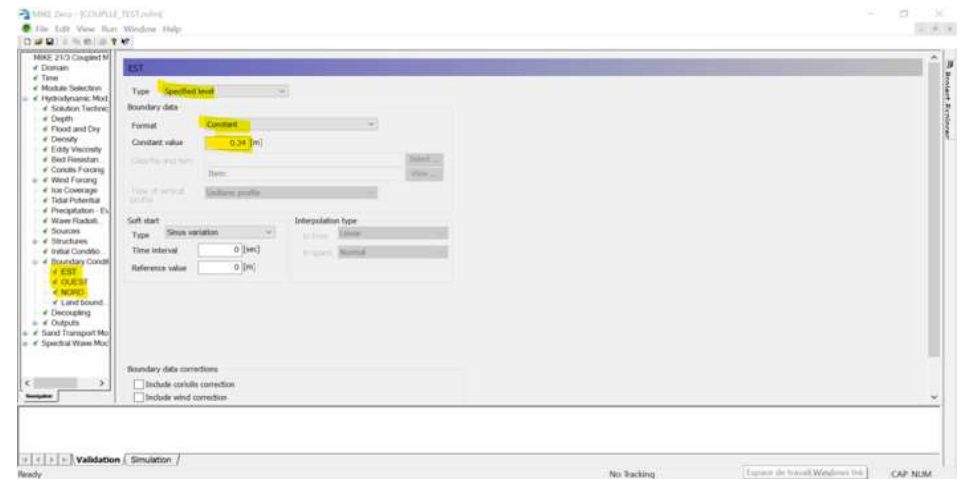


Figure : réglage des paramètres des bords

ANNEXES

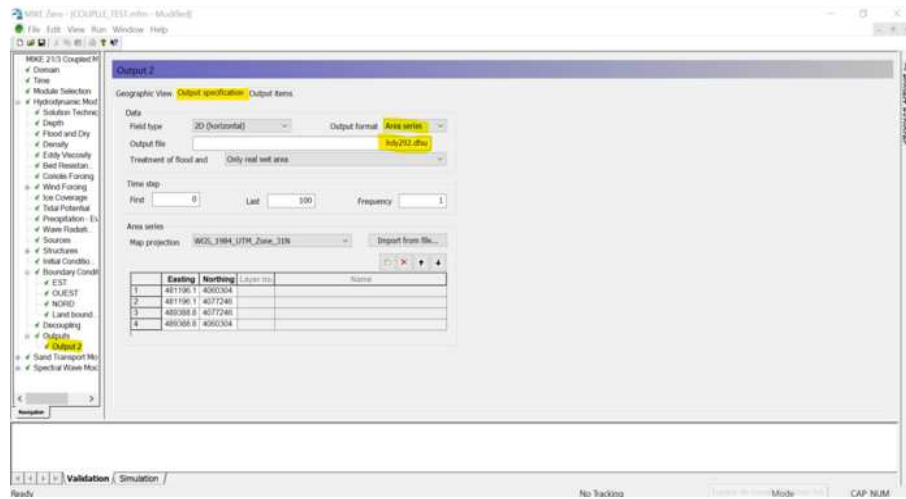


Figure : définition des paramètres de sortie pour le HD

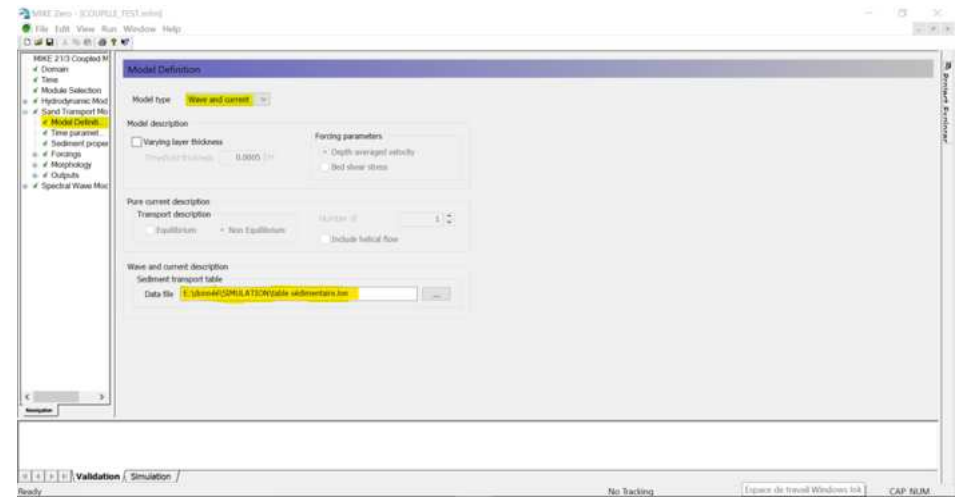


Figure : l'acquisition de la table sédimentaire

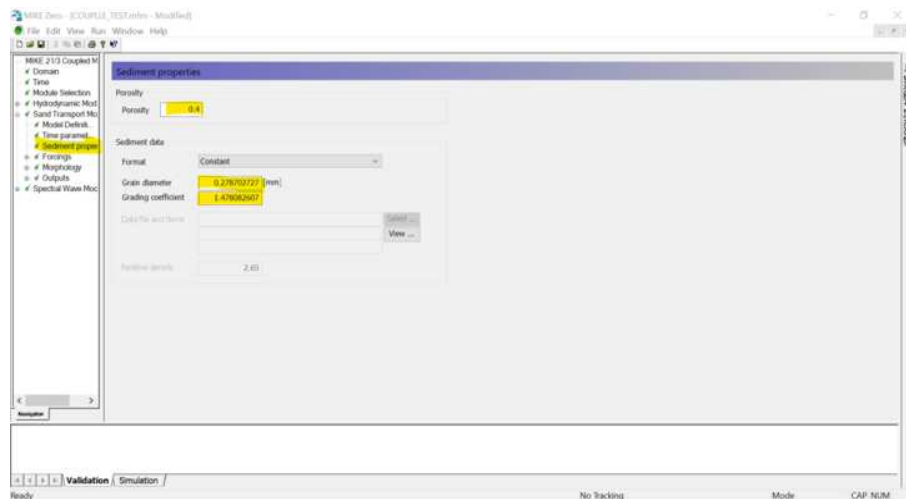


Figure : l'acquisition des propriétés de sédiment

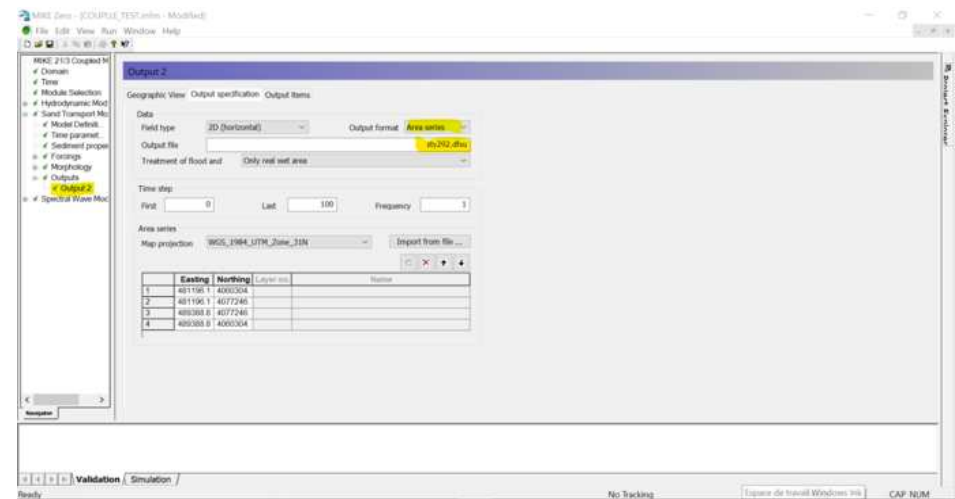


Figure : définition des paramètres de sortie pour le ST

ANNEXES

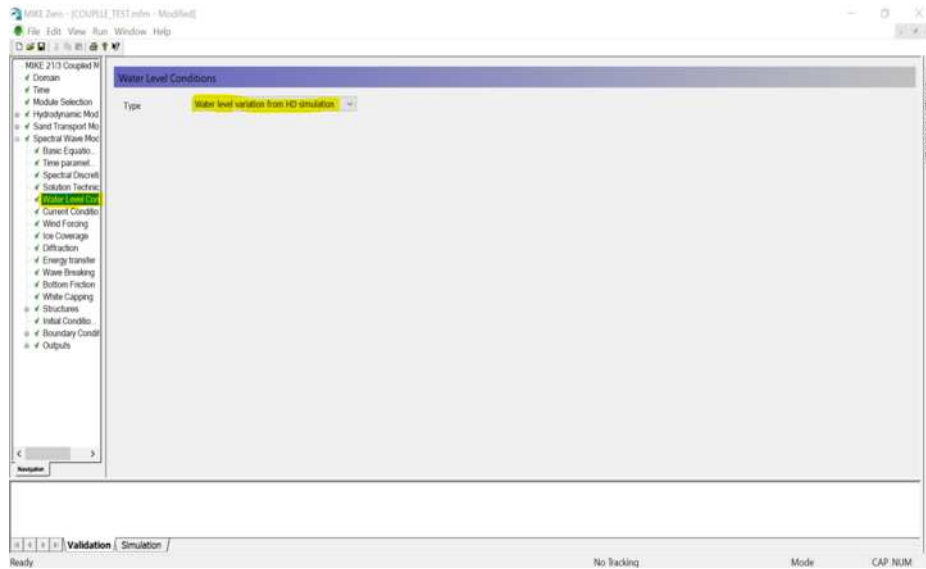


Figure : le choix de la source des conditions de niveau

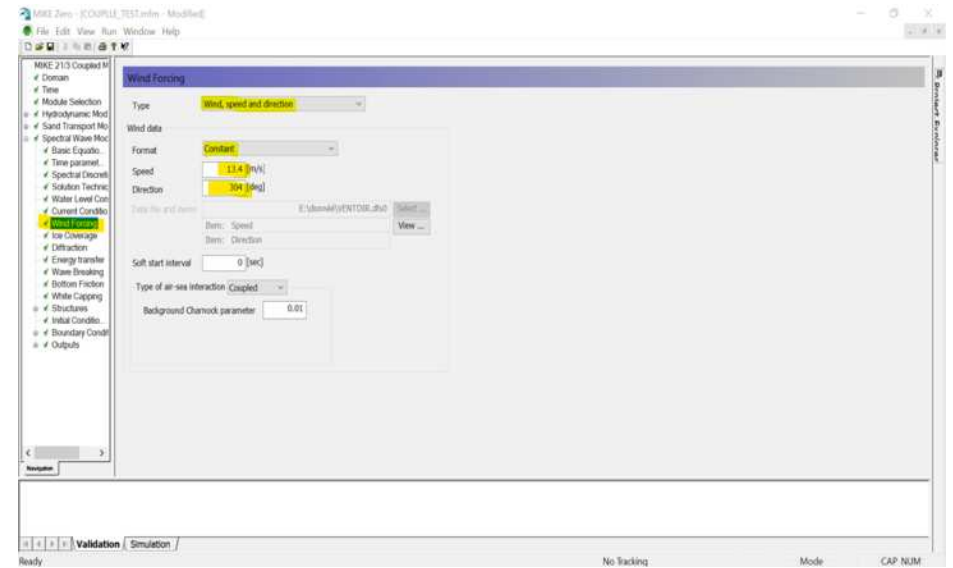


Figure : l'acquisition des données de vent

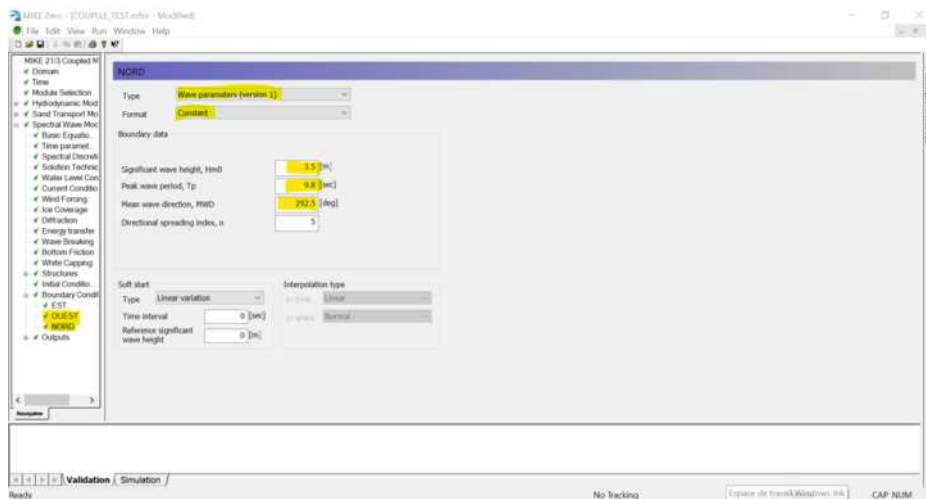


Figure : l'acquisition des paramètres de houle

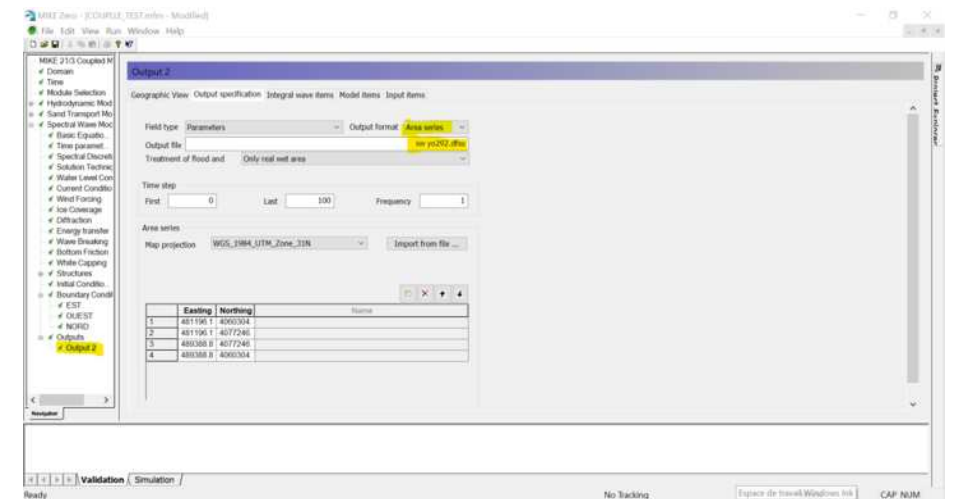


Figure : définition des paramètres de sortie pour le SW

Cartes Modélisation Numérique

1- Modélisation de la réfraction dès les houles exceptionnelles :

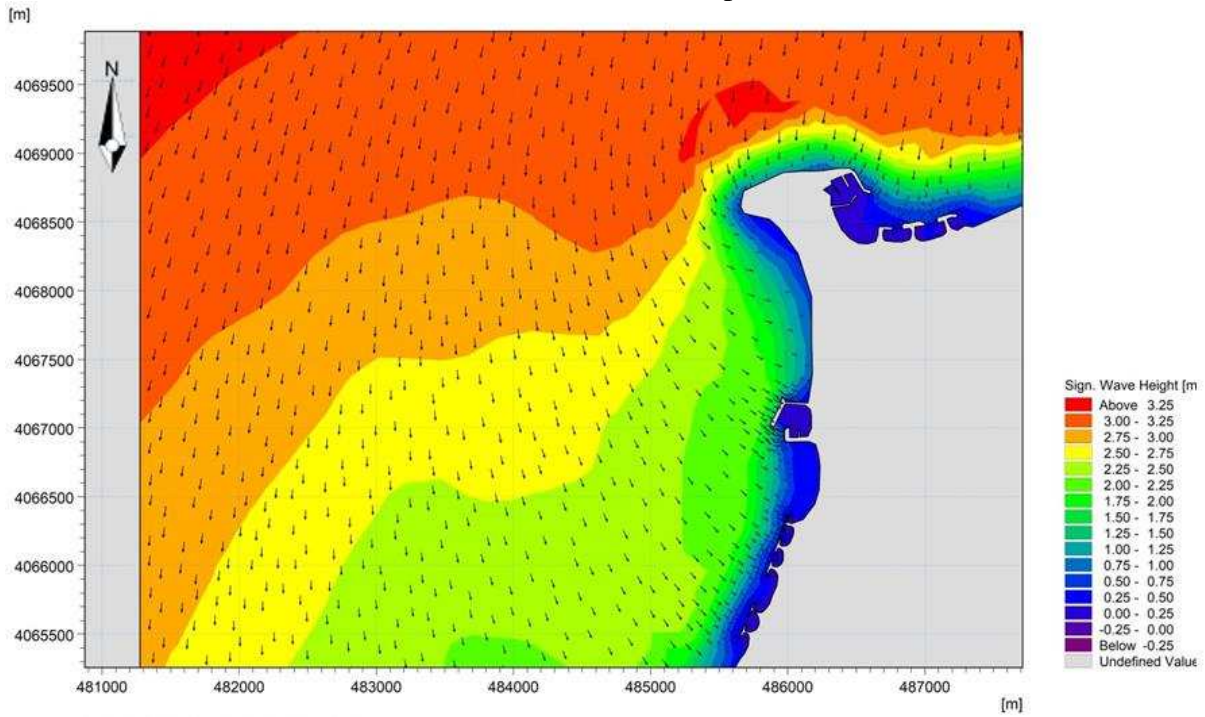


Figure : champs des courants dans la zone de Sidi Fredj jusqu' à l'Oued Mazafran (Dir =22.5°N ; Hs =3.4 ; Tp =13.4).

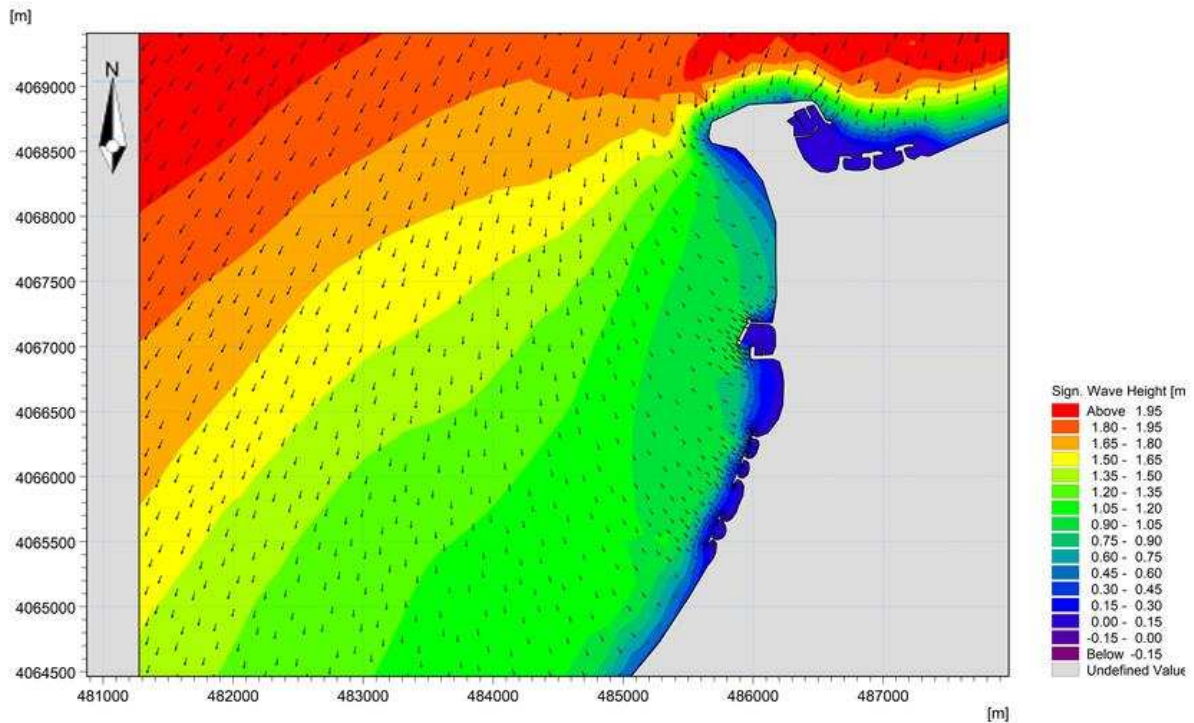


Figure : champs des courants dans la zone de Sidi Fredj jusqu' à l'Oued Mazafran (Dir =45°N ; Hs =2.16 ; Tp =11.2).

ANNEXES

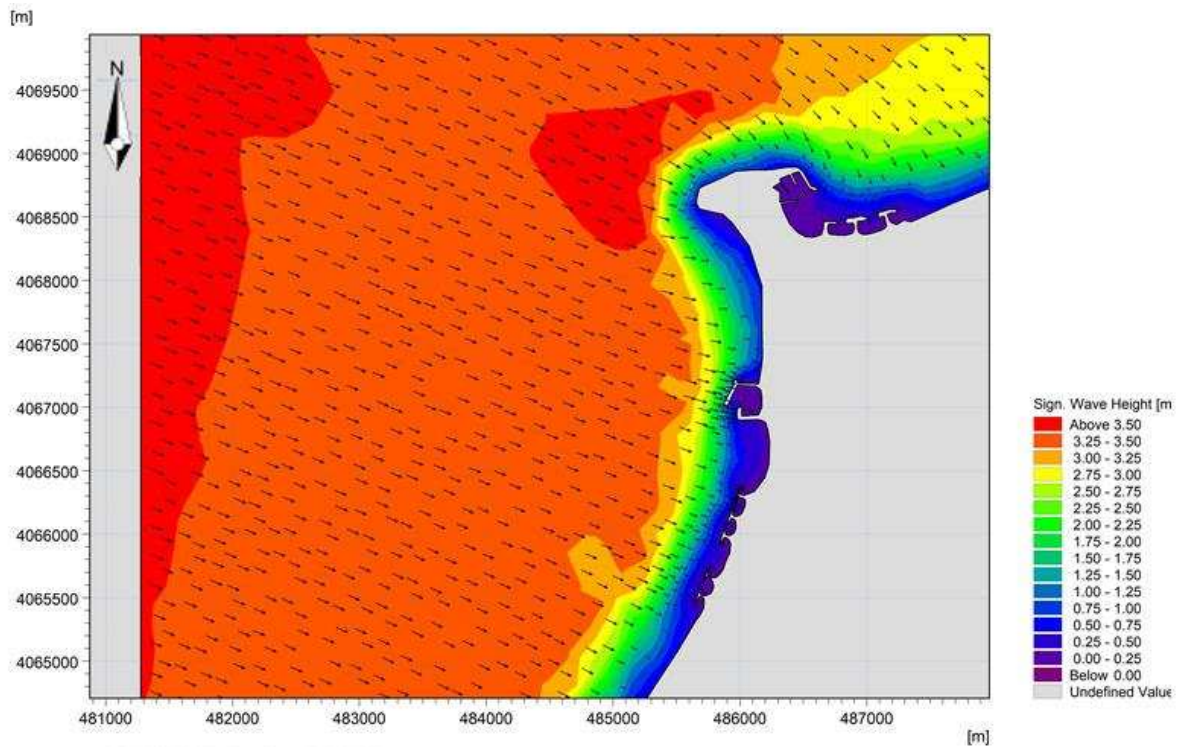


Figure : champs des courants dans la zone de Sidi Fredj jusqu' à l'Oued Mazafran
(Dir =292 .5°N ; Hs =3.5 ; Tp =9.8)

2. Modélisation des courants les houles exceptionnelles :

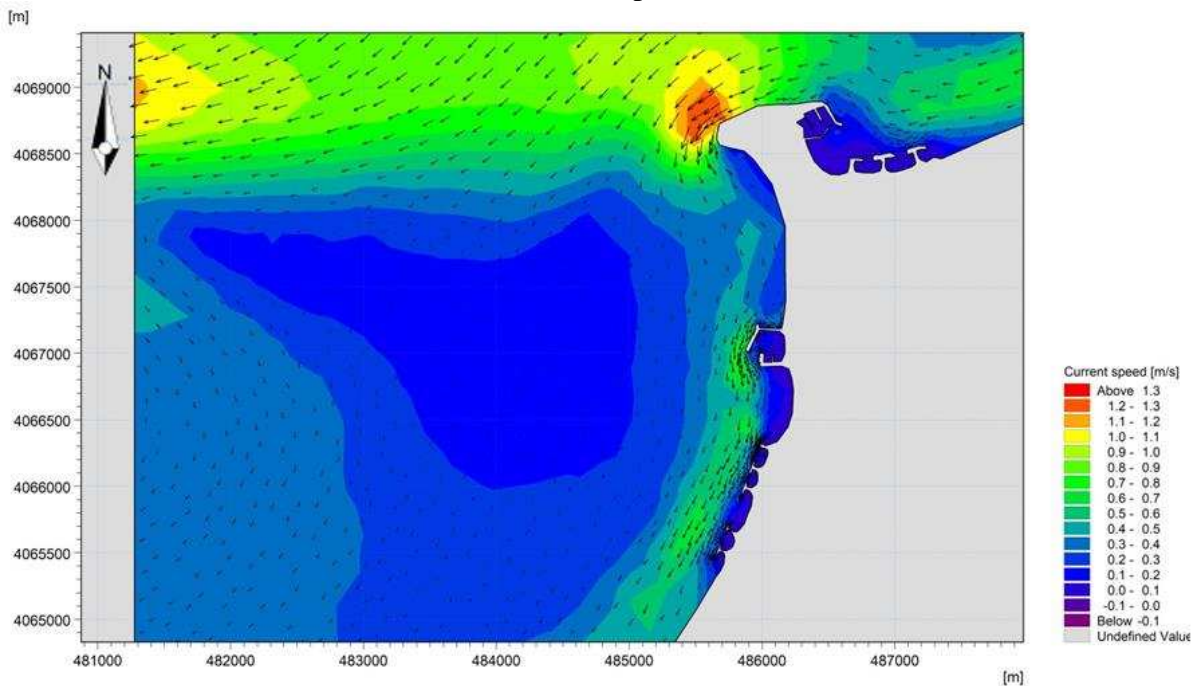


Figure: champs des courants dans la zone de Sidi Fredj jusqu' à l'Oued Mazafran
(Dir =22.5°N ; Hs =3.4 ; Tp =13.4).

ANNEXES

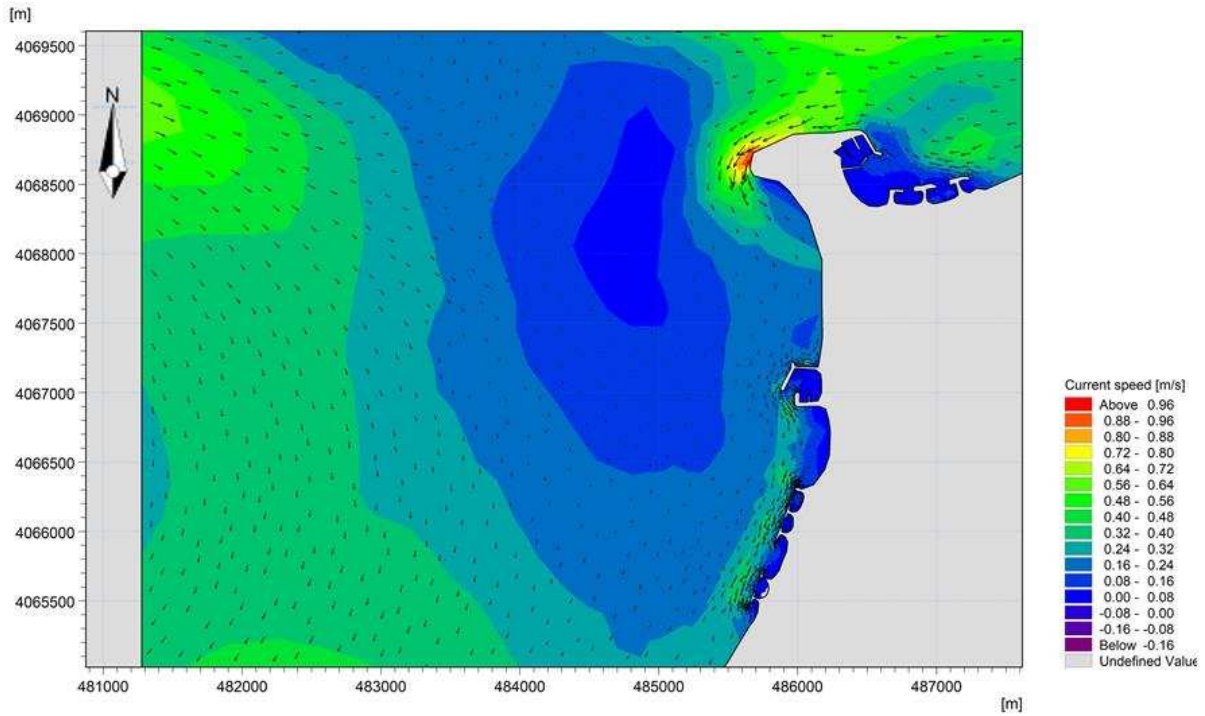


Figure: champs des courants dans la zone de Sidi Fredj jusqu' à l'Oued Mazafran
(Dir =45°N ; Hs =3.16 ; Tp =11.2)

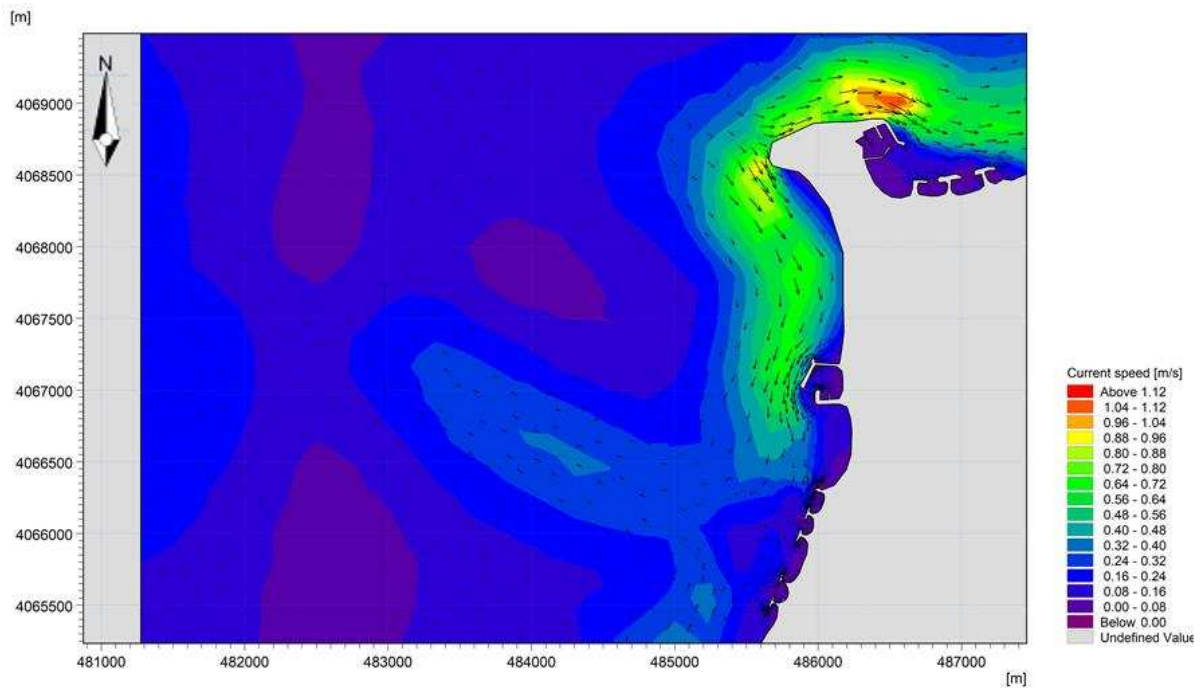


Figure: champs des courants dans la zone de Sidi Fredj jusqu' à l'Oued Mazafran
(Dir =292.5°N ; Hs =3.5 ; Tp =9.8).

ANNEXES

3. Modélisation du transport sédimentaire les houles exceptionnelles :

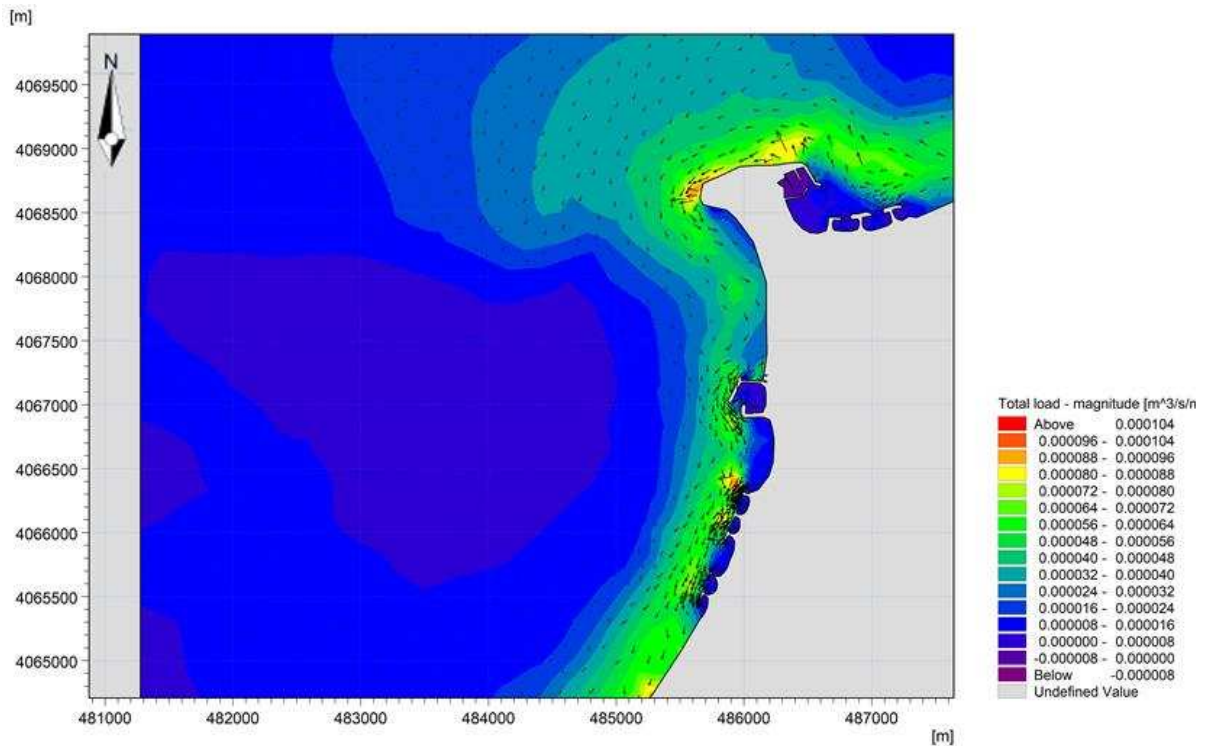


Figure: Modélisation de transport sédimentaire dans la zone de Sidi Fredj jusqu' à l'Oued Mazafran (Dir =22.5°N ; Hs =3.4 ; Tp =13.4).

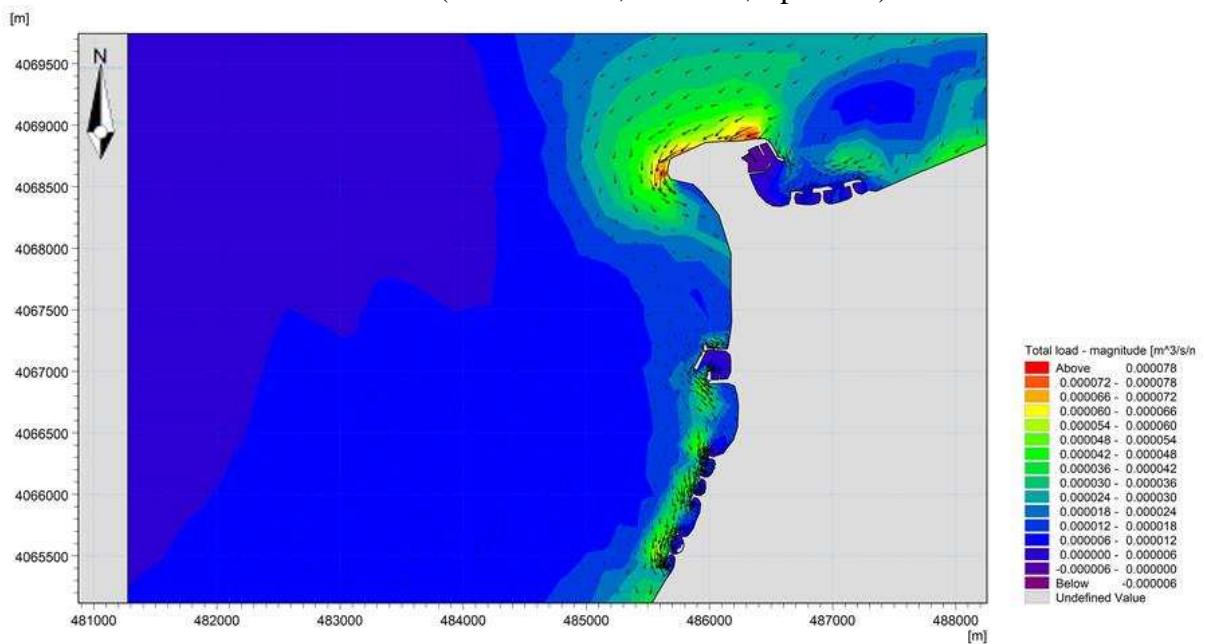


Figure: Modélisation de transport sédimentaire dans la zone de Sidi Fredj jusqu' à l'Oued Mazafran (Dir =45°N ; Hs =2.16 ; Tp =11.2).

ANNEXES

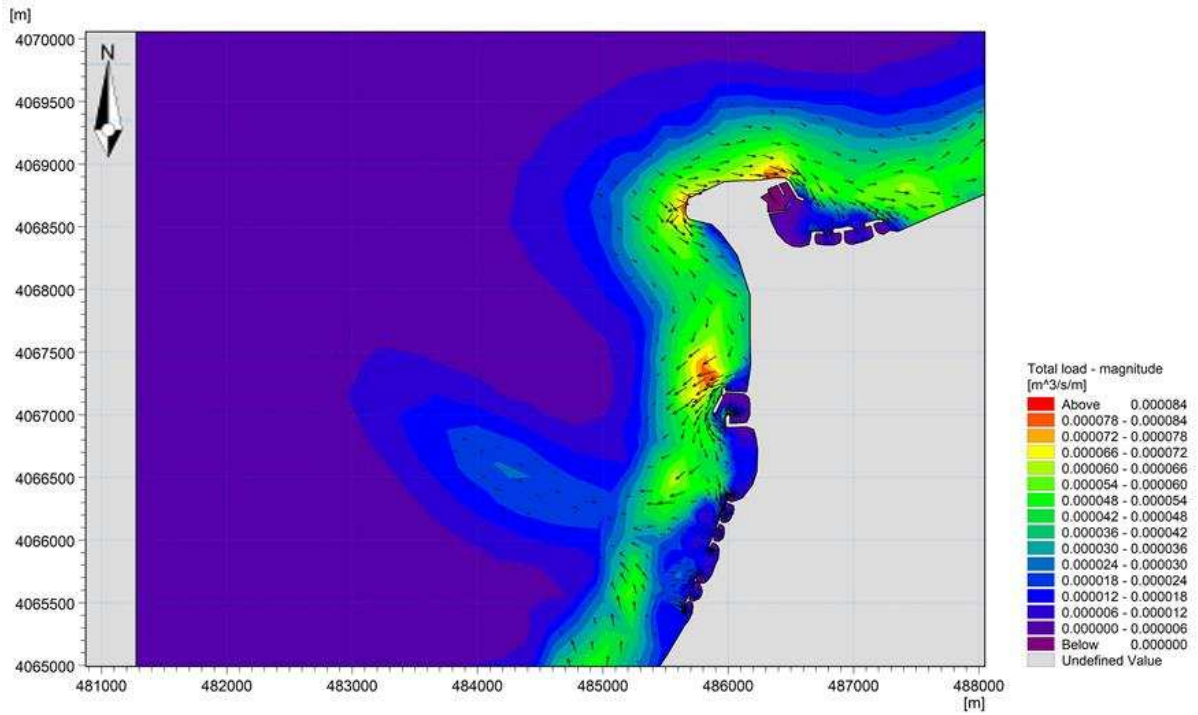


Figure: Modélisation de transport sédimentaire dans la zone de Sidi Fredj jusqu' à l'Oued Mazafran (Dir =292.5°N ; Hs =3.5 ; Tp =9.8).

ملخص :

لفهم تطور حركة المورفو الرسوبية في الجهة الغربي من الجزائر العاصمة يتطلب أولاً اختيار المنطقة الملائمة. المعيار الذي اختارنا به مكان دراستنا هو التأثير الاجتماعي والاقتصادي في المقام الأول.

تشمل مذكرة التخرج حول التأثيرات الجوية والبشرية على حركة المورفو الرسوبية الساحلية في غرب الجزائر باستخدام برامج إحصائية فعالة (استخدام النظم الجغرافية ، DHI-Mike21 ، DSAS ...) ، والخروج بالرسوم البيانية والإحصاءات عن حركة الساحل.

إن محاكاة حركة المانية والنمذجة ونقل الرواسب والدراسات الحالية بواسطة البرنامج DHI-Mike 21 كان موضوع هذه البحث لفهم حركة الرسوبية المورفو الساحلية.

هذه المذكرة تحتوي ايضا على دراسة جزيئية لرمل وإنشاء خرائط لإصلاح الرواسب في منطقة الدراسة لدينا وبالتالي تأكيد النمذجة.

كلمات مفتاحية: الساحل, احوال طقس, محرك الديناميكي , حركة المورفو الرسوبية, تأثير بشري

Résumé

La compréhension de l'évolution de la dynamique morpho-sédimentaire littoral dans la partie Ouest Algéroise a nécessité en premier lieu de choisir la zone représentative. Le critère de choix de notre zone d'étude s'est porté en premier lieu sur l'impact socio-économique.

Ce mémoire englobe des études sur les forçages météorologiques et anthropiques sur la dynamique morpho-sédimentaire littoral dans l'ouest algérois par des outils statistiques et performants (utilisation des systèmes géographiques, DHI-Mike21, DSAS...), et ressortir avec des schémas et des statistiques sur le comportement du trait de côte.

Des études de simulation de l'hydrodynamique et de modélisation, du transport sédimentaire et du courant par le puissant logiciel DHI-Mike 21 ont fait l'objet de ce mémoire pour bien comprendre la dynamique morpho-sédimentaire littoral.

Ce mémoire contient aussi l'étude granulométrique et la création des cartes de la répartition des sédiments dans notre zone d'étude ainsi confirmer la modélisation.

Mots clés : métrologie, processus hydrologique, dynamique sidimentaire, morphologie, modélisation numirique, évolution du trait de côte, effet anthropique.

Summary :

The understanding of the evolution of morpho-sedimentary littoral dynamics in the West Algerian part required first of all to choose the representative zone. The criterion for choosing our study area was primarily the socio-economic impact.

This work encompasses studies on meteorological and anthropogenic forcing on littoral morpho-sedimentary dynamics in western Algiers using statistical and high-performance tools (use of geographic systems, DHI-Mike21, DSAS ...), and come out with diagrams. And statistics on the behavior of the coastline.

Simulation of hydrodynamics and modeling, sediment transport and current studies by the powerful software DHI-Mike 21 have been the subject of this paper to understand the littoral morpho-sedimentary dynamics.

This work also contains the granulometric study and the creation of maps of the sediment distribution in our study area thus confirming the modeling.

Key words : littoral, morpho-sedimentary, anthropogenic, meteorological, sediment transport