

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل
Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du
Littoral



**Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur
en sciences de la mer**

Option : Aménagement du littoral

Thème :

**Évolution morpho-dynamique de la plage de Sidi Fredj :
Modélisation hydrodynamique et cinématique du trait de côte**

Présenté par :

YAHIAOUI Soussen

Soutenu le 15/07/2017 devant le jury composé de :

M. BOUAICHA F.	Maître assistant	ENSSMAL	Président
M.GUERFI M.	Professeur	ENSSMAL	Examineur
M. OTMANI H.	Maître assistant	ENSSMAL	Examineur
M.MEZOUAR K.	Maître de conférences	ENSSMAL	Promoteur

Année universitaire : 2016 - 2017

REMERCIEMENTS

Au terme de cette étude, je remercie Dieu le tout puissant pour m'avoir donné la santé, le courage et la volonté, pour réaliser ce travail.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à Monsieur **MEZOUAR Koudir** maître de conférences A (ENSSMAL), pour avoir accepté de diriger ce travail. Je le remercie pour avoir toujours été présent et pour ses conseils et ses encouragements.

J'adresse mes remerciements à Monsieur **BOUAICHA Farid** maître assistant A (ENSSMAL), pour avoir accepté de présider le jury de mon mémoire.

Je remercie également Monsieur **GUERFI Mokhtar** professeur (ENSSMAL) et **OTMANI Housseyn** maître assistant B (ENSSMAL), pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Je tiens à exprimer mes plus vifs remerciements à **ABDELLAOUI Aimen** pour son aide et ses conseils qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

Enfin, Je remercie tous ceux qui m'ont soutenu de près ou de loin pour finaliser ce mémoire.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

« A mon père, ma mère, mes frères et sœur »

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION GENERALE.....	2
----------------------------	---

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE MILIEU LITTORAL SABLEUX

1. Morpho dynamique côtière : principes et concepts.....	5
2. Morphologie littorale.....	6
3. Hydrodynamique littorale.....	7
4. La variation du niveau d'eau.....	9
5. Phénomène de l'érosion du littoral.....	10

CHAPITRE II : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

1. Situation géographique.....	13
2. Morphologie régionale.....	14
3. Géologie locale.....	14
4. Contexte climatique et hydrodynamique.....	15
4.1. Température.....	15
4.2. Précipitation.....	16
4.3. Les vents.....	17
4.4. Les houles.....	18
4.5. Les courants.....	19
4.6. La marée.....	19
5. Impact des changements climatiques et l'élévation du niveau de la mer sur la côte de Sidi Fredj.....	19
6. Actions anthropiques et leurs impacts sur le littoral de Sidi Fredj.....	20

CHAPITRE III : ÉTUDE HYDROSEDIMENTAIRE COTIERE « APPROCHE NUMERIQUE »

Introduction.....	22
1. Etude bathymétrique.....	22
2. Etude hydrodynamique.....	25
2.1. Modélisation de la propagation de la houle du large vers la côte.....	25
2.2. Modélisation des champs de courants générés par la houle.....	25
3. Résultats.....	26
3.1. La bathymétrie.....	26
3.2. Modélisation de la propagation de la houle.....	26

CHAPITRE IV : ETUDE GRANULO-SEDIMENTAIRE

Introduction.....	32
-------------------	----

1. Prélèvement et échantillonnage	32
1.1. Prélèvement dans la partie aérienne	32
1.2. Prélèvement dans la partie marine.....	33
2. Etude au laboratoire.....	33
2.1. Préparation du matériel	33
2.2. Méthode d'analyse	34
3. La fraction fine	34
4. La fraction grossière.....	34
4.1. Les paramètres de position.....	34
4.2. Les indices granulométriques.....	35
5. Résultats	37
5.1. Analyse de la fraction fine.....	37
5.2. Analyse de la fraction grossière	39
5.3. L'indice de dispersion	40
5.4. L'indice d'asymétrie.....	42

CHAPITRE V : TRANSPORT SEDIMENTAIRE

Introduction	47
1. Modes du transport sédimentaire	47
2. Modélisation du transport sédimentaire	48
2.1. Direction du transport sédimentaire	49
2.2. Charge totale du transport sédimentaire	51

CHAPITRE VI : ÉVOLUTION SPATIO-TEMPORELLE DES TRAITES DE COTE DE SIDI FREDJ

1. Evolution du trait de côte	54
2. Erosion côtière et SIG	54
3. Méthodes techniques utilisés.....	55
4. Evolution historique du trait de côte de sidi Fredj et la largeur des plages	55
4.1. Les variations du trait de côte.....	56
4.2. La vitesse de l'évolution du trait de côte.....	60
4.3. L'évolution des surfaces des plages	63
5. Etude d'impact de l'infrastructure portuaire sur la côte de sidi Fredj.....	70
 CONCLUSION GENERALE	 73
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	74
ANNEXES	80

LISTE DES ACRONYMES

DHI : Danish Hydraulics Institute.

DSAS : Digital Shoreline Analysis System.

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

EPR : End Point Rate.

HD : Hydrodynamic Module.

HS : Hauteur significative.

KML : Keyhole Markup Language.

KNMI : Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut.

LEM : Laboratoire des Études Maritimes.

NSM : Net Shoreline Movement.

ONM : Office National de Météorologie.

ONSM : Office National de Signalisation Maritime.

SIG: Système d'Information Géographique.

SSMO: Summary of Synoptic Meteorological Observation.

ST : Sand Transport Module.

SW : Spectral Waves Module.

UTM : Universal Time Mercator.

WGS : World Geoid System.

LISTE DES FIGURES

Figure I.1: Relation spatio-temporelle des systèmes morpho dynamiques côtiers (STEPANIAN, 2002).	5
Figure I.2: Schéma simplifié du fonctionnement d'un système morphodynamique côtier (BONTE, 2013).	6
Figure I.3: Les paramètres influençant l'évolution morphologique des côtes (MAZIÈRES, 2014).	7
Figure I.4: Types d'ondes de surface, montrant la relation entre les fréquences, la cause de leur génération et la quantité relative d'énergie de chaque type (MICHAUD, 2011).	8
Figure I.5: Schéma de transformation des vagues à l'approche de la côte (BONTE, 2013).	9
Figure I.6: Variations de la surface libre à différentes échelles de temps et échelles spatiales associées (BERTIN, 2015).	10
Figure II.1: Localisation des plages Est de Sidi Fredj (Google Earth Pro, 2017).	13
Figure II.2: Carte topographique de la baie de Bou-Ismaïl (LECLAIRE, 1972 in REBHI et GOUCEM, 2011).	14
Figure II.3: Carte géologique de la région d'Alger Ouest d'après (AMGHAR et SAHRAOUI, 2005).	15
Figure II.4: Histogramme des températures mensuelles moyennes enregistrés sur une période de 10 ans allant de 1999 à 2009 (ONM, 2009).	16
Figure II.5: Histogramme des précipitations mensuelles moyennes enregistrées sur une période de 10 ans allant de 1999 à 2009 (ONM, 2009).	17
Figure II.6: Répartition annuelle des directions des vents en % (ONM, Dar-El-Beïda, 1995-2005).	17
Figure II.7: Fréquence annuelle des houles au large en % (SSMO, 1963-1970).	18
Figure II.8: Roses récapitulatives de direction des houles au large du secteur (275°-55°) Source : K.N.M.I adopté d'après (ZEMENZER, 2004).	19
Figure III.1: Digitalisation des points de la bathymétrie sous Mike Zero.	23
Figure III.2: Maillage de la zone d'étude sous MIKE Zero.	23
Figure III.3: Interpolation de la bathymétrie sous MIKE Zero.	24
Figure III.4: Carte bathymétrique des plages de Sidi Fredj.	24
Figure III.5: Carte de l'évolution de la hauteur significative et de la direction d'une houle de secteur 45° et d'une période de 6s, Hs0=1.09m.	26
Figure III.6: Carte de l'évolution de la hauteur significative et de la direction d'une houle de secteur 315° et d'une période de 6s, Hs0=1.10m.	27
Figure III.7: Carte de l'évolution de la hauteur significative et de la direction d'une houle de secteur 360° et d'une période de 6s, Hs0=1m.	28
Figure III.8: Carte de l'évolution de la vitesse et de la direction des courants engendrés par une houle de secteur 45° et d'une période de 6s, Hs0=1.09m.	29
Figure III.9: Carte de l'évolution de la vitesse et de la direction des courants engendrés par une houle de secteur 315° et d'une période de 6s, Hs0=1.10m.	29
Figure III.10: Carte de l'évolution de la vitesse et de la direction des courants engendrés par une houle de secteur 360° et d'une période de 6s, Hs0=1m.	30
Figure IV.1: Positionnement des points de prélèvement dans la partie aérienne (Google Earth Pro, 2017).	32
Figure IV.2: Positionnement des points de prélèvement dans la partie marine (Google Earth Pro, 2017).	33
Figure IV.3: Matériels utilisés lors de l'analyse.	33
Figure IV.4: Interface graphique sous MATLAB pour extraire les paramètres et les courbes granulométriques à partir d'une matrice.	36
Figure IV.5 : Courbe cumulative de la station 7 (partie aérienne).	37
Figure IV.6 : Courbe cumulative de la station 6 (partie marine).	37
Figure IV.7 : Carte de la répartition des pélites (%) dans la partie aérienne.	38
Figure IV.8 : Carte de la répartition des pélites (%) dans la partie marine.	38

Figure IV.9: Carte de la répartition du grain moyen (mm) dans la partie aérienne.....	39
Figure IV.10: Carte de la répartition du grain moyen (mm) dans la partie marine.	40
Figure IV.11 : Carte de la répartition de S_o (ϕ) dans la partie aérienne.....	41
Figure IV.12 : Carte de la répartition de S_o (ϕ) dans la partie marine.	41
Figure IV.13 : Relation entre l'indice de classement et le diamètre moyen des grains de la partie marine.	42
Figure IV.14: Carte de la répartition de S_{ki} (ϕ) dans la partie aérienne.....	42
Figure IV.15 : Carte de la répartition de S_{ki} (ϕ) dans la partie marine.	43
Figure IV.16 : Relation entre l'indice d'asymétrie et le diamètre moyen des grains (en mm).....	44
Figure V.1 : Schéma des transports par jet de rive et par courant littoral (BLANCHARD et MOUKHLISS, 2007).	47
Figure V.2: Les trois modes de transport sédimentaire (CAMENEN, 2002 in MAZIERES, 2014).....	48
Figure V.3: Carte du transport sédimentaire engendré par une houle de secteur 45° et d'une période de 6s, $H_{s0}=1.09m$	49
Figure V.4: Carte du transport sédimentaire engendré par une houle de secteur 315° et d'une période de 6s, $H_{s0}=1.10m$	50
Figure V.5 : Carte du transport sédimentaire engendré par une houle de secteur 360° et d'une période de 6s, $H_{s0}=1m$	50
Figure V.6 : Carte de la charge totale du transport sédimentaire engendré par une houle de secteur 45° et d'une période de 6s, $H_{s0}=1.09m$	51
Figure V.7: Carte de la charge totale du transport sédimentaire engendré par une houle de secteur 315° et d'une période de 6s, $H_{s0}=1.10m$	52
Figure V.8: Carte de la charge totale du transport sédimentaire engendré par une houle de secteur 360° et d'une période de 6s, $H_{s0}=1m$	52
Figure VI.1: Carte de l'évolution de la partie Est de Sidi Fredj entre 2002 et 2016.	56
Figure VI.2 : Taux de variation annuel moyen sur la période 2002-2004.....	56
Figure VI.3: Taux de variation annuel moyen sur la période 2004-2008.....	57
Figure VI.4: Taux de variation annuel moyen sur la période 2008-2010.....	57
Figure VI.5 : Taux de variation annuel moyen sur la période 2010-2012.....	58
Figure VI.6: Taux de variation annuel moyen sur la période 2012-2014.....	58
Figure VI.7: Taux de variation annuel moyen sur la période 2014-2016.....	59
Figure VI.8: Taux de variation annuel moyen sur la période 2002-2016.....	60
Figure VI.9 : Vitesse de l'évolution du trait de côte entre 2002 et 2004.	61
Figure VI.10: Vitesse de l'évolution du trait de côte entre 2004 et 2008.	61
Figure VI.11: Vitesse de l'évolution du trait de côte entre 2008 et 2010.	61
Figure VI.12: Vitesse de l'évolution du trait de côte entre 2010et 2012.	62
Figure VI.13 : Vitesse de l'évolution du trait de côte entre 2012 et 2014.	62
Figure VI.14: Vitesse de l'évolution du trait de côte entre 2014 et 2016.	62
Figure VI.15: Vitesse de l'évolution du trait de côte entre 2002 et 2016.	63
Figure VI.16 : Carte de l'évolution des surfaces d'érosion et d'accrétion de la côte de Sidi Fredj entre 2002 et 2004.	63
Figure VI.17 : Histogramme du bilan sédimentaire de la côte de Sidi Fredj entre 2002 et 2004.	64
Figure VI.18 : Carte de l'évolution des surfaces d'érosion et d'accrétion de la côte de Sidi Fredj entre 2004 et 2008.	64
Figure VI.19 : Histogramme du bilan sédimentaire de la côte de Sidi Fredj entre 2004 et 2008.	65
Figure VI.20: Carte de l'évolution des surfaces d'érosion et d'accrétion de la côte de Sidi Fredj entre 2008 et 2010.	65
Figure VI.21 : Histogramme du bilan sédimentaire de la côte de Sidi Fredj entre 2008 et 2010.	66

Figure VI.22 : Carte de l'évolution des surfaces d'érosion et d'accrétion de la côte de Sidi Fredj entre 2010 et 2012.	66
Figure VI.23: Histogramme du bilan sédimentaire de la côte de Sidi Fredj entre 2010 et 2012.	67
Figure VI.24 : Carte de l'évolution des surfaces d'érosion et d'accrétion de la côte de Sidi Fredj entre 2012 et 2014.	67
Figure VI.25 : Histogramme du bilan sédimentaire de la côte de Sidi Fredj entre 2012 et 2014.	68
Figure VI.26: Carte de l'évolution des surfaces d'érosion et d'accrétion de la côte de Sidi Fredj entre 2014 et 2016.	68
Figure VI.27 : Histogramme du bilan sédimentaire de la côte de Sidi Fredj entre 2014 et 2016.	69
Figure VI.28: Carte de l'évolution des surfaces d'érosion et d'accrétion de la côte de Sidi Fredj entre 2002 et 2016.	69
Figure VI.29 : Histogramme du bilan sédimentaire de la côte de Sidi Fredj entre 2002 et 2016.	70

LISTE DES TABLEAUX

Tableau IV-1: Les valeurs adoptées de M_z pour la taille moyenne.	35
Tableau IV-2: Les valeurs adoptées de S_o pour le classement.	35
Tableau IV-3: Les valeurs adoptées de S_{ki} pour l'asymétrie.	36

INTRODUCTION GENERALE

Le littoral est un lieu de convergence et de compétition entre des nombreuses activités humaines, quelquefois concurrentes (industrie, agriculture, transport, tourisme), constitue aussi un patrimoine biologique et paysager de première importance ou les équilibres écologiques sont sans cesse fragilisés par les aléas naturels mais également par l'homme (MEZOUAR, 2009). C'est un domaine privilégié pour étudier et mieux comprendre l'incidence des processus naturels et anthropiques sur la dynamique sédimentaire actuelle. Cet impact se caractérise par une évolution du trait de côte qui reste liée à la compréhension des mécanismes hydrodynamiques et morpho-dynamiques côtiers. De façon plus appliquée, la modélisation de cette évolution, qu'elle soit due à des processus naturels ou liée à la construction d'ouvrages, reste un problème d'actualité pour les problèmes d'aménagement côtier et de gestion du littoral (IDRISSI et al, 2015).

L'hydrodynamique littorale a pour but de décrire et de modéliser les phénomènes physiques à l'origine de la dynamique des fluides en milieu littoral. Son intérêt est d'une part fondamental pour une meilleure compréhension et modélisation en océanographie physique littorale, d'autre part appliqué à des problèmes d'environnement (étude de rejets, dispersion des polluants), de gestion et d'aménagement du littoral (protection du littoral, influence d'ouvrages, équilibre dynamique de la côte...), état sanitaire des plages et de sécurité pour la baignade (SENECHAL, 2003).

Dans notre cas « la plage de Sidi Fredj », la construction du port a complètement perturbée le fonctionnement hydrosédimentaire du littoral et l'évolution du trait de côte, l'érosion est accélérer dans certaines zones, alors que dans certaines d'autres on remarque une accumulation. Dans ce contexte, l'étude de l'évolution morphodynamique de la plage de Sidi Fredj, a recours à la modélisation numérique, afin de modéliser les hydrodynamiques et les transports sédimentaires dans le secteur d'étude pour comprendre le comportement hydro-sédimentaire de cette plage.

Le modèle numérique nous permet d'illustrer les houles, le courant dû aux vagues et les modes de transport du littoral. Le modèle morphodynamique repose sur un couplage des modèles de propagation de la houle et du modèle de circulation et du modèle de transport sédimentaire dans MIKE21. Ensuite, l'évolution du trait de côte est déterminée par le suivi de la ligne du rivage à l'aide de l'outil DSAS en se basant sur les traits de côte historiques, afin d'évaluer les facteurs d'évolution du rivage.

Dans ce cadre on va développer notre travail qui se présente sous six chapitres :

Le premier chapitre concerne l'étude bibliographique des principaux phénomènes hydrodynamiques et les processus d'érosion côtière.

Le second chapitre a pour objectif de présenter le site d'étude, constitué des plages Est de Sidi Fredj.

Le troisième chapitre présente l'étude bathymétrique de notre site d'étude, ainsi la modélisation de l'hydrodynamique en tenant compte des conditions de houle et de courant.

Le quatrième chapitre concerne l'étude granulo-sédimentaire dans la plage et la partie marine de Sidi Fredj.

Le cinquième chapitre concerne le transport sédimentaire et la modélisation du transit.

Le sixième et dernier chapitre concerne l'étude de la variation de la ligne de côte depuis 2002 jusqu'à l'année 2016.

I. GENERALITES SUR LE MILIEUX NATUREL SABLEUX

1. Morphodynamique côtière : principes et concepts

Les côtes sableuses sont des environnements très dynamiques souvent exposées à une forte agitation et par conséquent présentant une forte sensibilité à l'érosion. L'étude de l'évolution morphodynamique d'une côte consiste à relier son développement morphologique et les forçages aux différentes échelles de temps. À l'échelle des temps géologiques, l'évolution du littoral est principalement contrôlée par des facteurs tectoniques et eustatiques. À l'échelle des temps historiques, les côtes subissent l'influence de la climatologie locale (fréquence des tempêtes, vents dominants) et des processus côtiers de haute fréquence (marée, courants, vagues et turbulence) (WRIGHT et THOM, 1977).

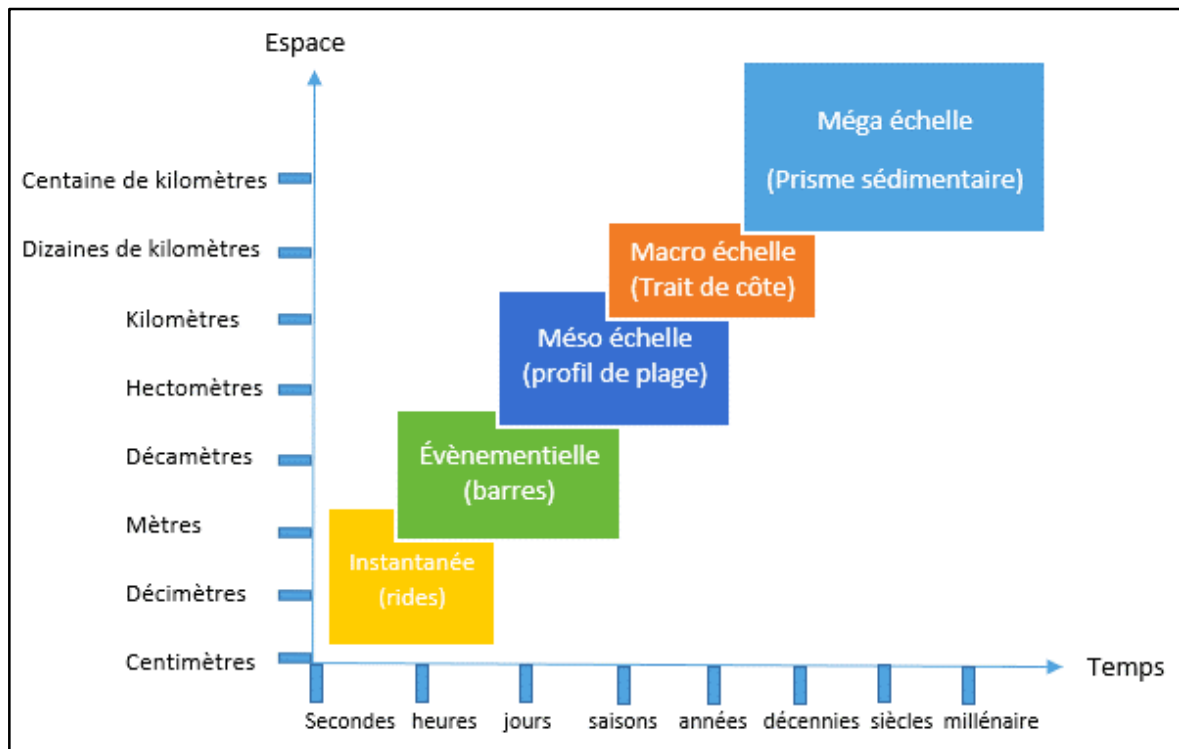


Figure I.1: Relation spatio-temporelle des systèmes morphodynamiques côtiers (STEPANIAN, 2002).

En fonction de l'échelle de temps à laquelle il est étudié, le comportement morphodynamique d'un système côtier peut être très variable. A chaque échelle de temps est associée une échelle spatiale en fonction de l'amplitude volumique des changements morphologiques mis en jeu (DE VRIEND, 1991).

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 morphodynamique correspondant.
- la méso-échelle ou échelle dynamique qui concerne le comportement morphodynamique 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 morphodynamiques primaires.

Cette schématisation constitue le fondement des modèles des processus appropriés à l'étude des phénomènes considérés dans ce mémoire, où la description des processus hydrodynamiques et sédimentaires doit permettre de simuler le comportement observé.

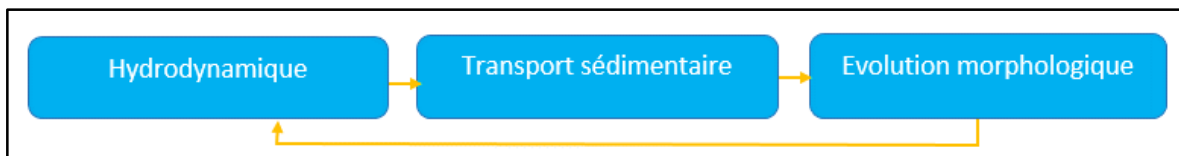


Figure I.2: Schéma simplifié du fonctionnement d'un système morphodynamique côtier (BONTE, 2013).

2. Morphologie littorale

Pour des conditions climatiques et hydrodynamiques données, la morphologie et l'équilibre sédimentaire d'une plage dépendent de la nature, de la granulométrie et de l'abondance des sédiments disponibles ainsi que des obstacles situés en amont.

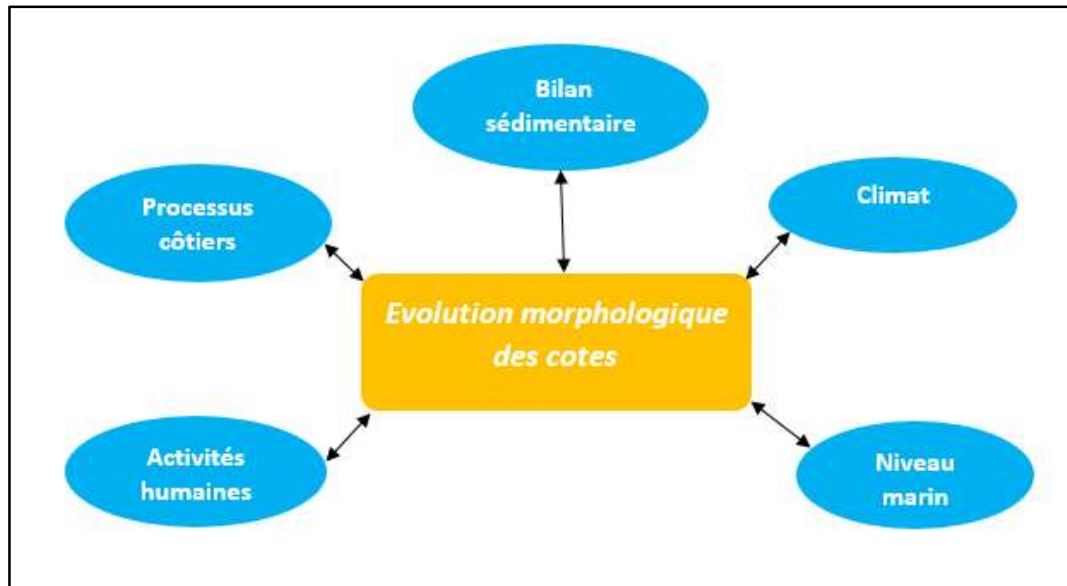


Figure I.3: Les paramètres influençant l'évolution morphologique des côtes (MAZIÈRES, 2014).

De nombreuses approches, plutôt descriptives, permettent de différencier les littoraux. Un premier type de distinction prend en compte à la fois le relief et la nature des matériaux constitutifs, notamment la granulométrie dans le cas des côtes à sédiments meubles.

Quatre types sont ainsi distingués : Les côtes rocheuses et à falaises, les côtes à graviers ou à galets, les côtes à vasières littorales et les côtes sableuses, qui est l'objet de ce travail, dont le matériel à une granulométrie comprise entre 63 μm et 2 mm, qui sont des zones de dépôts liés à l'action de la houle ou de la marée (FRERRER, 2010).

3. Hydrodynamique littorale

Les conditions atmosphériques (vent, dépression) ainsi que les effets planétaires (attraction de la lune, rotation de la terre) sont les moteurs des déplacements de la surface des océans (vagues, courants). Le frottement du vent sur l'océan provoque une agitation de la surface et la génération d'ondulations qui sont caractérisées par leur amplitude et leur périodicité, qui peut aussi être caractérisée par la longueur d'onde. Ces caractéristiques dépendent de l'intensité, de la durée et de la distance sur laquelle souffle le vent (fetch) (STEPANIAN, 2002).

Les vagues arrivent en haut de plage et s'échouent en recouvrant et découvrant alternativement la zone de jet de rive. Ainsi, en se propageant vers la côte, les vagues se déforment. Ce sont alors les non linéarités qui les caractérisent qui sont à l'origine du transport de sédiments (BERNI, 2006).

Le long de la plage, un courant de dérive parallèle à la ligne de côte dans la zone littorale est créé et s'équilibre grâce au frottement au fond. Cette dérive a une intensité d'autant plus forte que l'angle d'inclinaison des vagues par rapport à la côte est élevé. Par ailleurs, les vagues ont la capacité de soulever les sédiments du fond car les mouvements orbitaux des particules d'eau agissent comme des tourbillons turbulents supplémentaires. Les vagues sont capables de lever un sédiment d'une taille donnée alors qu'un courant de la même vitesse ne le serait pas. Une fois le sédiment mobilisé, il peut alors être transporté le long de la plage. Ceci est particulièrement visible sur les bords des digues exposés à la dérive littorale. C'est d'ailleurs pour retenir le sable emporté par la dérive littorale que des digues ou épis perpendiculaires aux plages sont aménagés. Par ailleurs, les vagues ajoutent une dérive supplémentaire en surface. Comme le flux de masse est nul sur la plage et que le niveau moyen ne peut monter indéfiniment, un courant au fond dans le sens inverse compense cette dérive en surface. Il s'agit du courant de retour (MICHAUD, 2011).

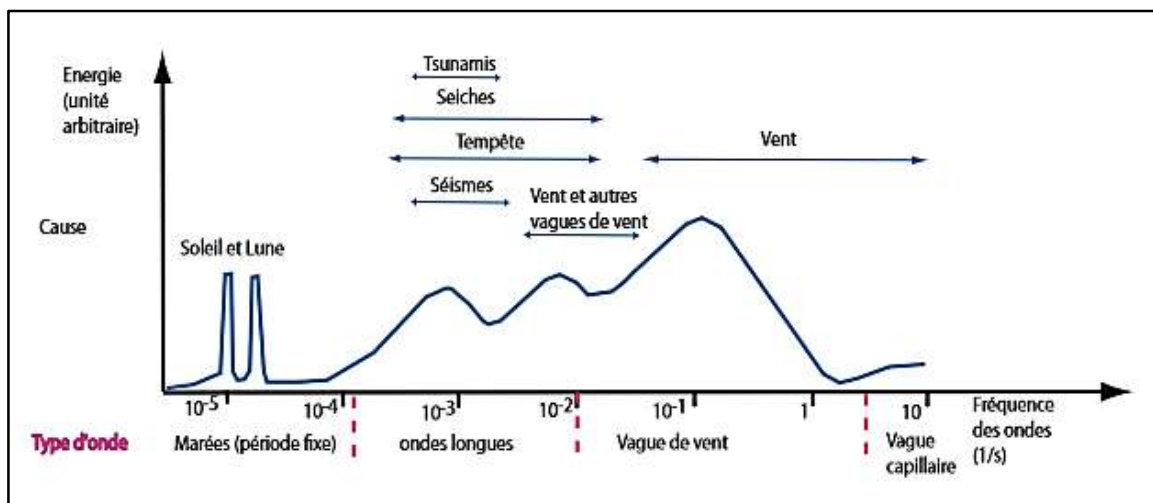


Figure I.4: Types d'ondes de surface, montrant la relation entre les fréquences, la cause de leur génération et la quantité relative d'énergie de chaque type (MICHAUD, 2011).

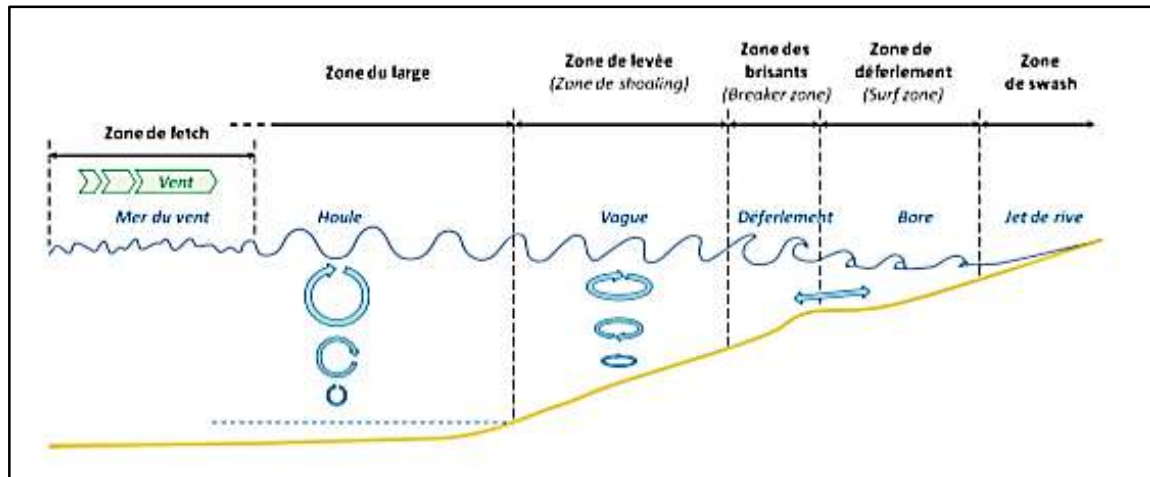


Figure I.5: Schéma de transformation des vagues à l'approche de la côte (BONTE, 2013).

La combinaison de ces différents processus hydrodynamiques fait des plages une zone au fonctionnement extrêmement complexe.

4. La variation du niveau d'eau

La surface libre de l'océan présente des variations à des échelles spatio-temporelles très variées, allant des ondes capillaires caractérisées par des longueurs d'onde centimétriques et des périodes inférieures à la seconde à des variations eustatiques millénaires contrôlées par des cycles astronomiques. Ces variations de la surface libre constituent les forçages principaux de la dynamique hydro-sédimentaire littorale. Dès lors, leurs variabilités spatiale et temporelle doivent être caractérisées convenablement et les origines de ces variations doivent être bien comprises (BERTIN, 2015).

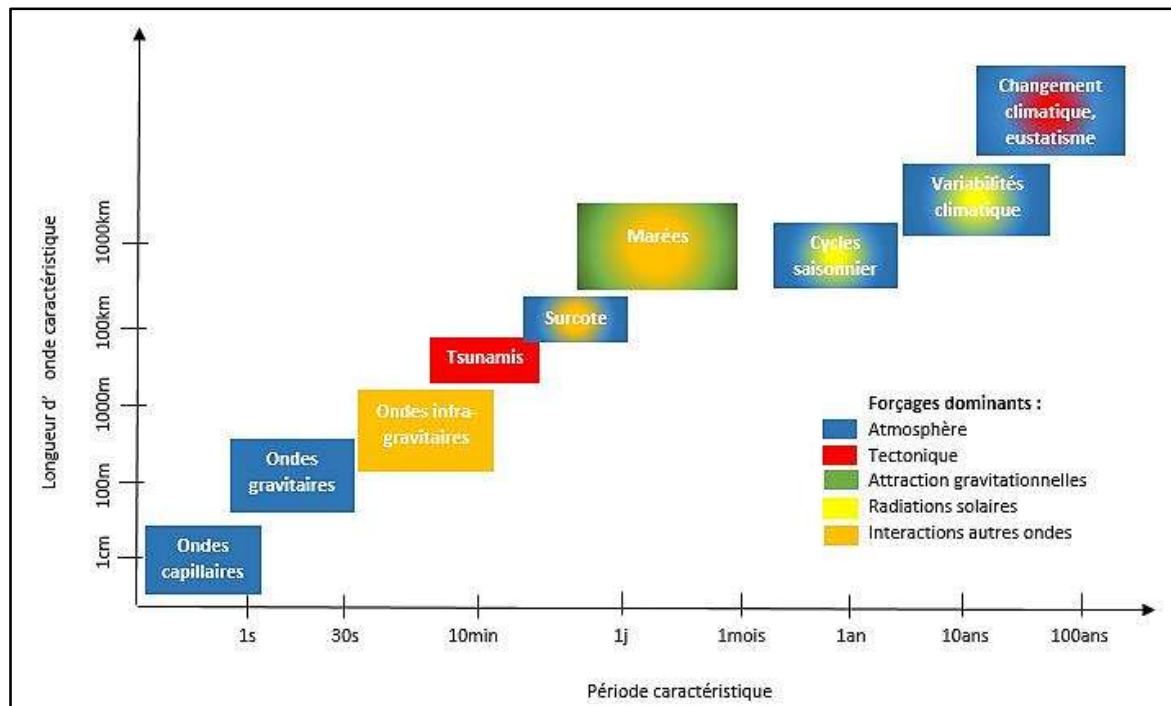


Figure I.6: Variations de la surface libre à différentes échelles de temps et échelles spatiales associées (BERTIN, 2015).

Des analyses récentes utilisant les mesures des marégraphes historiques indiquent une hausse du niveau global de la mer pour le XX^{ème} siècle. La principale menace liée à l'élévation du niveau de la mer est l'inondation permanente par l'eau de mer des littoraux à faible pente : la submersion de terres littorales est alors très rapidement accompagnée de la disparition dramatique des écosystèmes côtiers (LOMBARD, 2005).

5. Phénomène de l'érosion du littoral

L'érosion du littoral peut se définir comme l'emprise de la mer sur la terre et doit s'observer sur des périodes suffisamment longues pour éliminer les effets du climat, des tempêtes et des régimes locaux de transports sédimentaires. L'évolution du littoral et des fonds marins (avancée ou recul du rivage, érosion ou sédimentation des fonds) et les mouvements des sédiments dépendent de l'action de divers facteurs morphodynamiques d'origine météorologique ou marine sur les matériaux de la côte et des fonds. Tel que la marée, le niveau de la mer (surcote), les vents, la houle notamment par le biais des courants qu'ils génèrent. Ainsi que des facteurs anthropiques liés au développement touristique, industriel et commercial des zones littorales. L'érosion côtière induit des risques, comme la submersion de la côte (résultat de l'érosion complète des dunes), la destruction des ouvrages de protection contre la mer (associée à l'érosion de l'avant plage et au recul du trait de côte), le recul des plages et dunes causant la perte de terres à valeurs économique et écologique (BLANCHARD et MOUKHLISS, 2007).

Les causes de l'érosion côtière naturelle sont nombreuses et peuvent être le fait, entre autres, de :

- L'évolution du paysage littoral.
- Les variations climatiques.
- L'élévation du niveau marin.

Les structures côtières interférant avec le transport littoral sont la cause la plus commune de l'érosion côtière. Ce type d'érosion s'explique le plus souvent par :

- La présence de certains aménagements côtiers ou offshore.
- Une réduction des apports fluviaux.
- Des extractions de sables.

D'autres types de protection côtière qui ne débordent pas sur la mer, cependant, peuvent causer également une érosion côtière accrue. Les digues et les perrés sont typiquement construits le long des sections côtières pour assurer la protection de la côte mais peuvent empêcher alors les échanges de sable entre la plage et les dunes en arrière du trait de côte (D.H.I, 2008).

II. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

1. Situation géographique

Sidi Fredj est une presqu'île formant le cap Est de la Baie de Bousmail et la limite Ouest de la baie d'El Djamila. Notre zone d'étude c'est la partie Est de Sidi Fredj, elle s'étend du port de plaisance jusqu'à la plage Moretti sur une distance de 1.25 Km et vers le large jusqu'à une profondeur de 10m. Ses coordonnées géographiques sont :

Latitude : 486400m à 487900m Nord et **Longitude** : 4068200m à 4069000m Est.

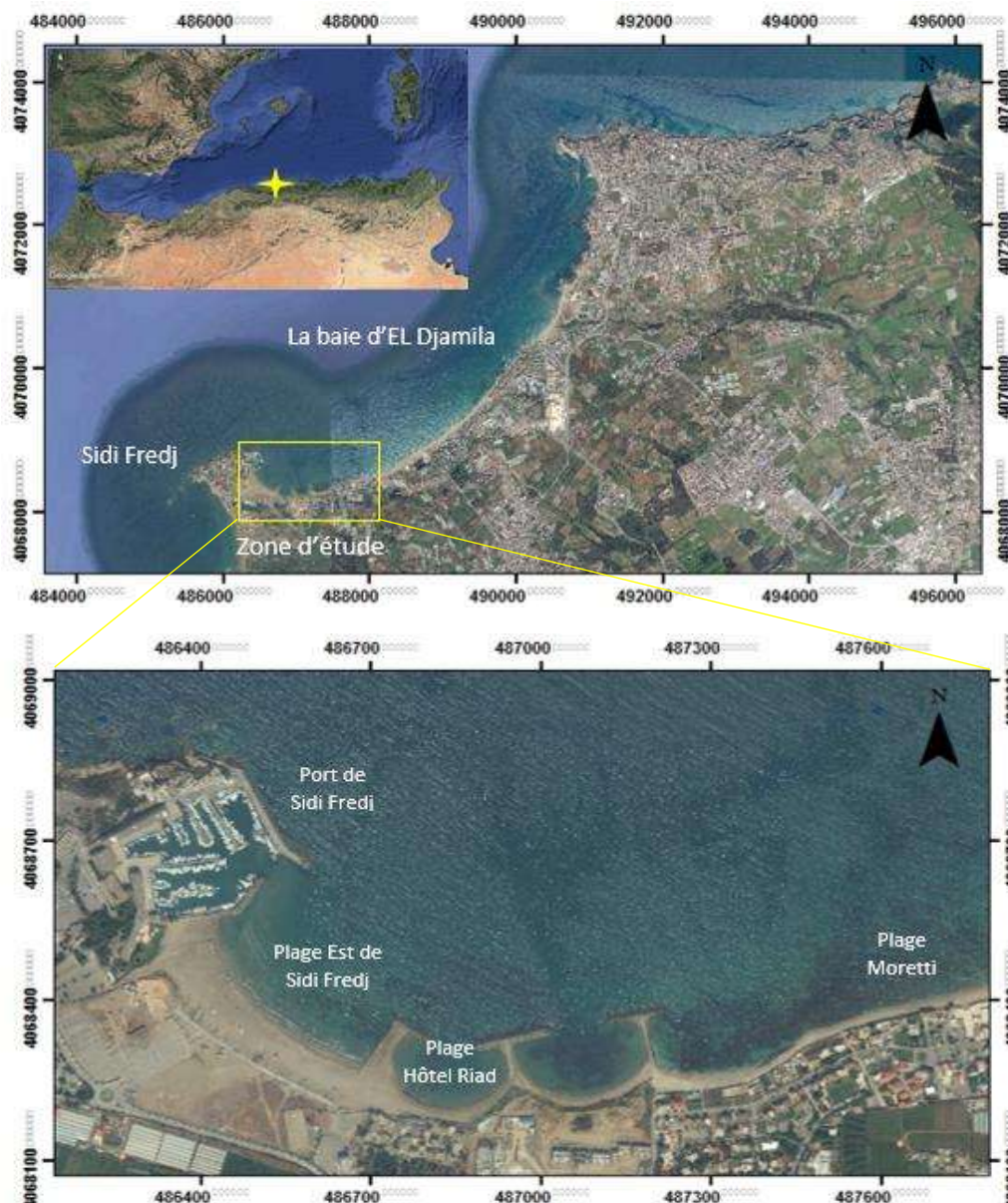


Figure II.1: Localisation des plages Est de Sidi Fredj (Google Earth Pro, 2017).

2. Morphologie régionale

La bande littorale de la baie d'El Djamila se caractérise par des plages sableuses très développées près du port de Sidi Fredj (jusqu'à 90m de large), elles se réduisent progressivement jusqu'à disparaître au centre touristique de Moretti. Plus à l'est on ne rencontre que des criques individualisées par leurs affleurements rocheux. Le seul oued se déversant dans la baie d'el Djamila est l'oued de Beni Messous débouchant à environ 5km à l'est de sidi Fredj (BELLAHSSENE et MESSAOUDI, 2002).

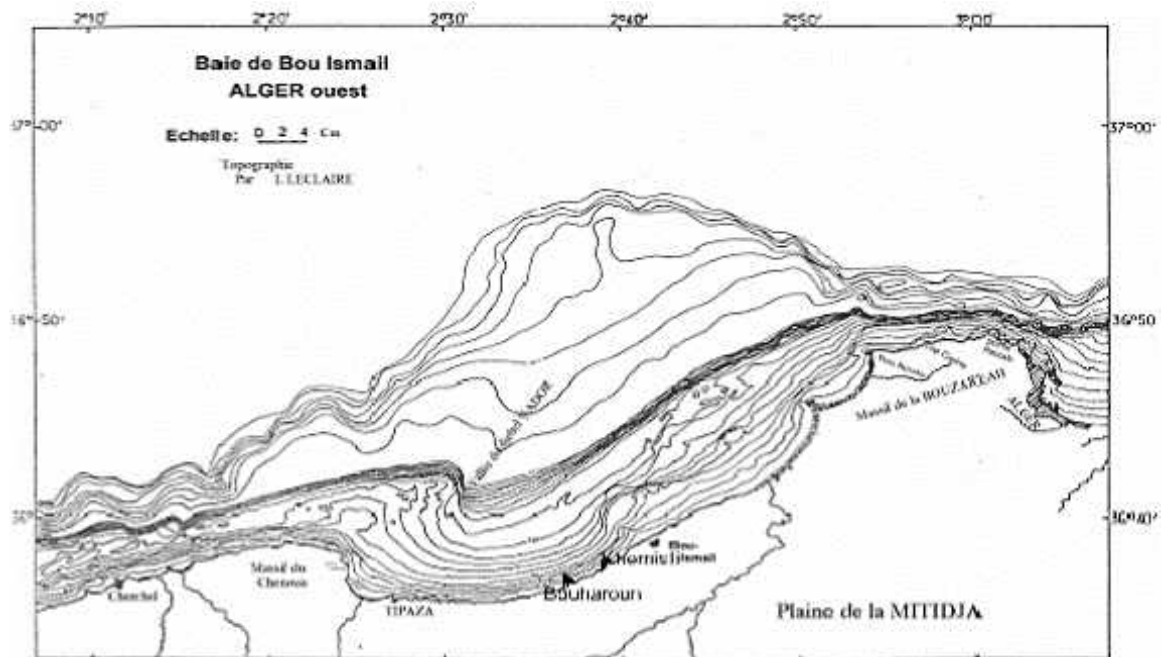


Figure II.2: Carte topographique de la baie de Bou-Ismaïl (LECLAIRE, 1972 in REBHI et GOUCEM, 2011).

3. Géologie locale

La géologie de la presqu'île de sidi Fredj est caractérisée par un substratum constitué de granites et gneiss largement fissurés et diaclases.

Selon une étude pétrographique, le promontoire rocheux est constitué de quatre types gneiss œillets :

- vieux gneiss caractérisé par la foliation et linéation bien marquées de teintes grises assez claires.
- gneiss œillet massif peu orienté de teinte claire.
- gneiss œillet à grains fins bien lités de teinte claire, riche en quartz.

- gneiss œillet avec un aspect de granite orienté avec une foliation moulante de phénocristaux.

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

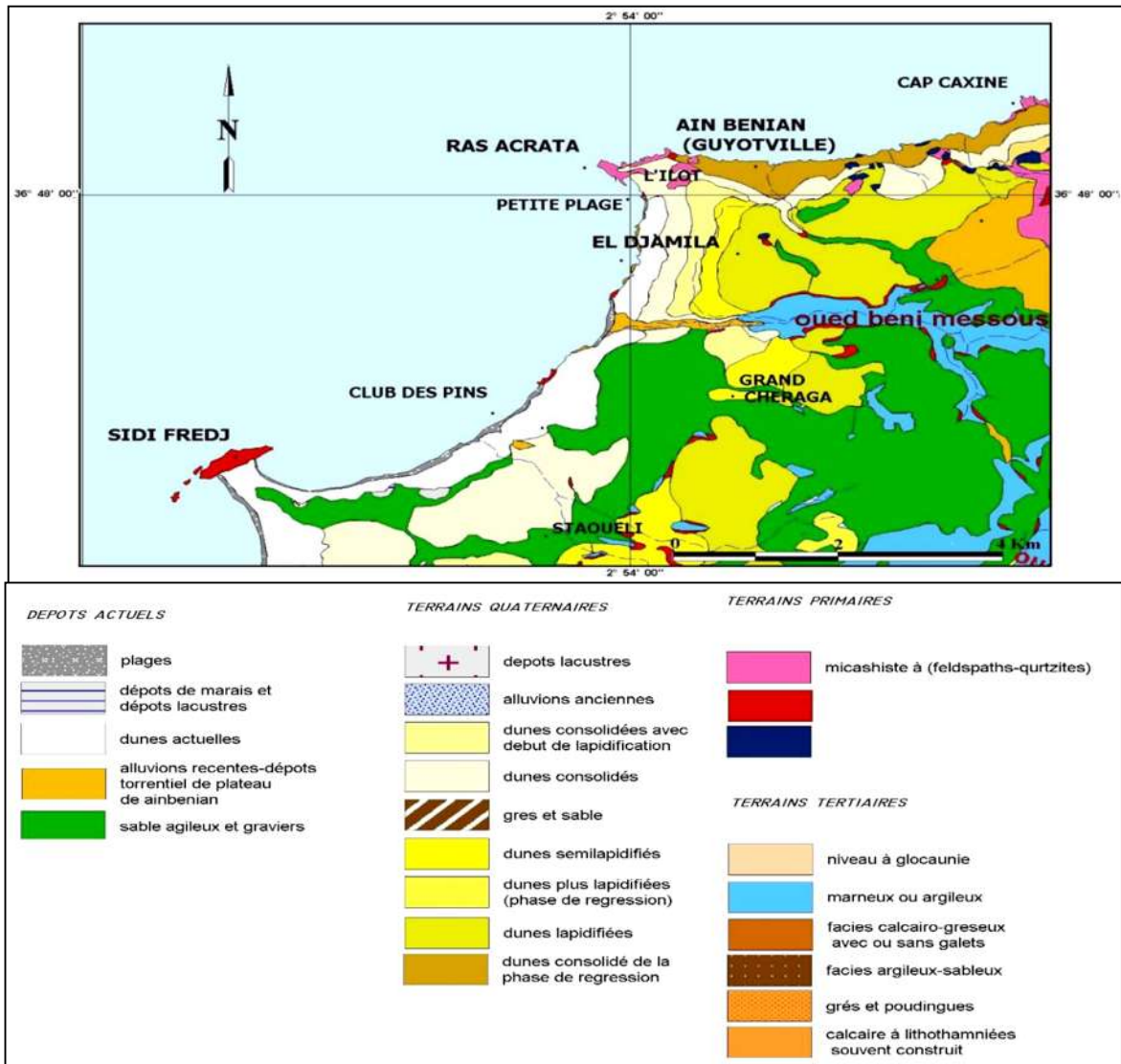


Figure II.3: Carte géologique de la région d'Alger Ouest d'après (AMGHAR et SAHRAOUI, 2005).

4. Contexte climatique et hydrodynamique

4.1. Température

Pendant une durée de 10 ans (1999 jusqu'à 2009), l'étude réalisée par la station météorologique de Dar El-Beida a montré que la région de Sidi Fredj est caractérisée par :

Une période hivernale : les températures sont basses et s'échelonnent entre 11°C et 20°C, (le mois de janvier est le plus froid avec une moyenne des minima de 5,3°C).

Une période estivale : les températures sont élevées et varient entre 25°C et 29°C. (Le mois d'Aout est le plus chaud avec une moyenne des maxima de 36.1°C).

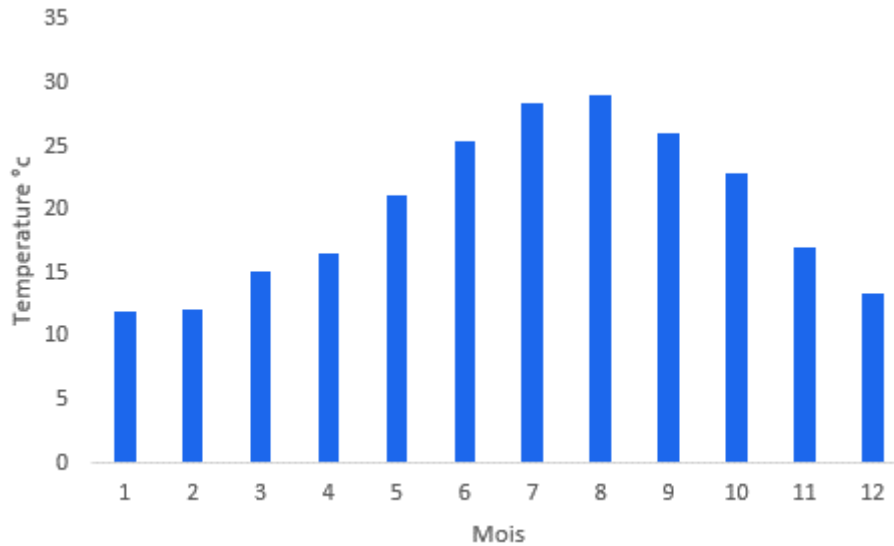


Figure II.4: Histogramme des températures mensuelles moyennes enregistrés sur une période de 10 ans allant de 1999 à 2009 (ONM, 2009).

4.2.Précipitation

Pendant une durée de 10 ans l'étude réalisée par station météorologique de Dar El-Beida ont montré que la région de sidi Fredj est caractérisée par :

Une période humide : la précipitation est considérable, (mois d'octobre au mois de mai), la quantité moyenne varie entre 35 à 115mm.

Une période sèche : la précipitation est réduite, (juin à septembre) la quantité moyenne varie entre 2.5 et 10mm.

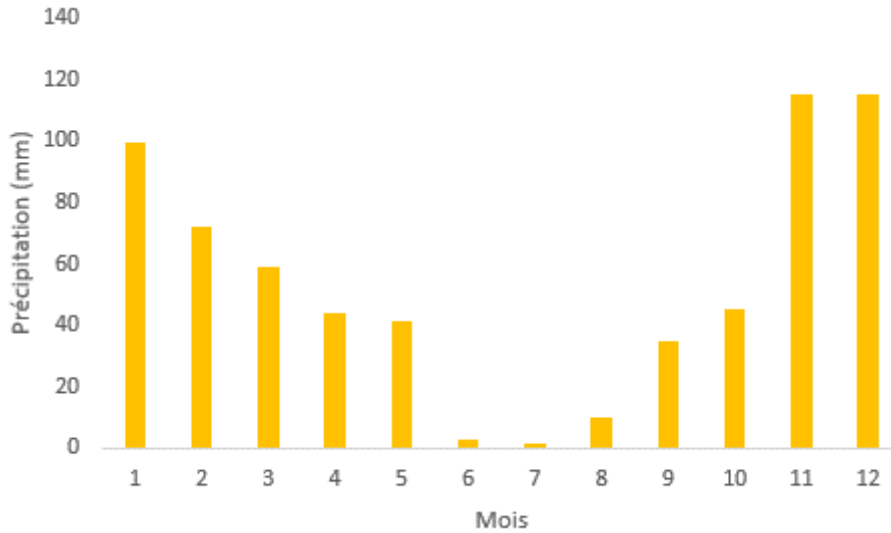


Figure II.5: Histogramme des précipitations mensuelles moyennes enregistrées sur une période de 10 ans allant de 1999 à 2009 (ONM, 2009).

4.3. Les vents

La connaissance des régimes des vents est d'une extrême importance. En effet ils sont des générateurs de vagues et des courants superficiels, leur impact croît avec leur vitesse. Les mesures issues de la station de Dar el Beida, indiquent que les vents les plus importants sont du secteur Sud-Ouest, avec une fréquence de 14%.

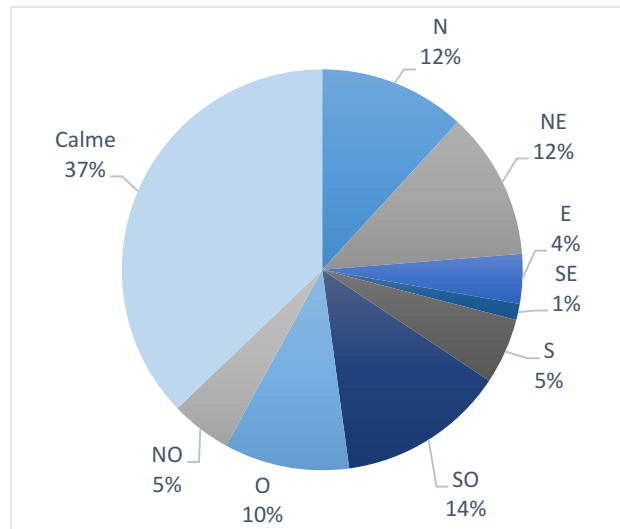


Figure II.6: Répartition annuelle des directions des vents en % (ONM, Dar-El-Beida, 1995-2005).

4.4. Les houles

La houle est le facteur le plus important dans la dynamique sédimentaire des petits fonds, la direction de propagation de la houle est liée à celle du vent, tant que la profondeur est supérieure à la longueur d'onde de la houle (BONNEFILLE, 1992).

Les statistiques des houles fournies depuis le SSMO sur une période de 1963 à 1970, concernant un secteur se situant à : **Longitude** : 2° à 5° Est et **Latitude** : 36.5° à 38° Nord indiquent que les houles les plus fréquentes sont du secteur Ouest, avec une fréquence de 22%.

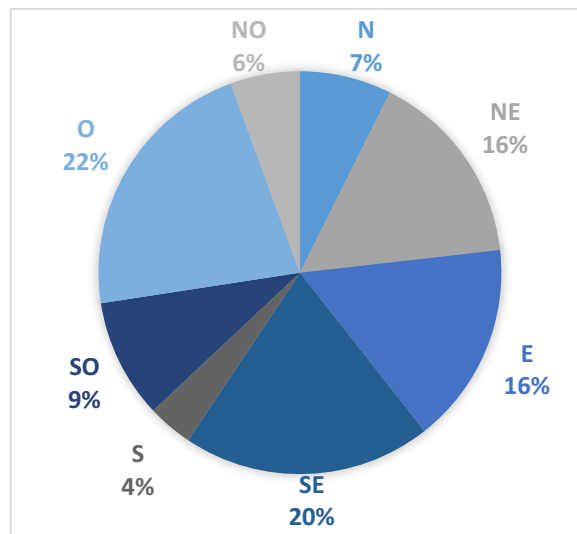


Figure II.7: Fréquence annuelle des houles au large en % (SSMO, 1963-1970).

On remarque que la répartition des houles est globalement concordante avec le régime du vent :

En hiver : les houles d'Ouest dominent avec des amplitudes entre 1 et 3 m pouvant atteindre les 4m, elles engendrent des courants de retour qui entraînent les sédiments vers le large.

En été : les houles les plus dominantes sont issues du secteur Nord-Est avec des amplitudes plus faibles. Les houles du secteur Ouest sont assez importantes, ces dernières engendrent une dérive littorale (BOUTIBA, 1996).

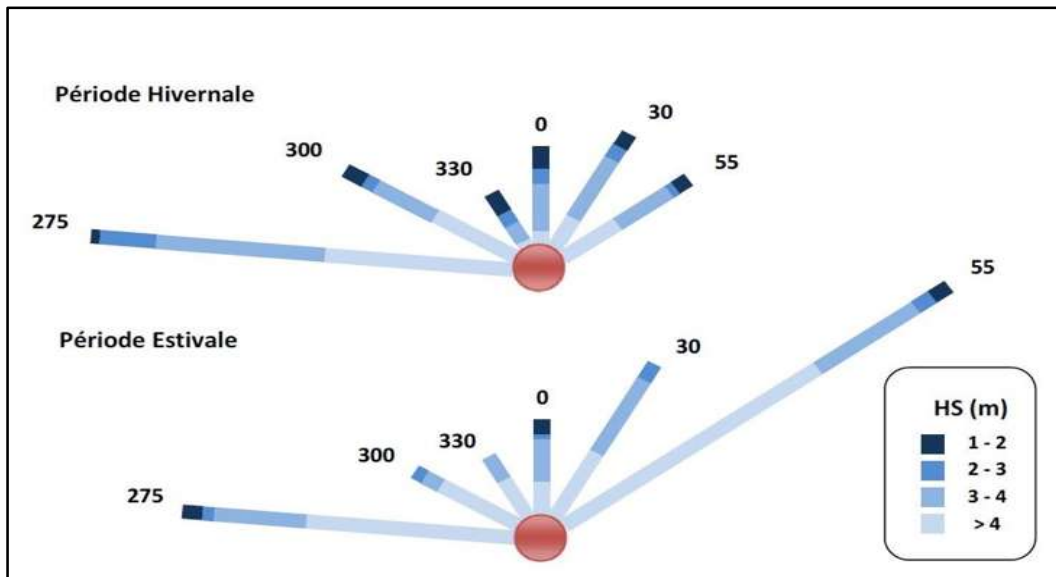


Figure II.8: Roses récapitulatives de direction des houles au large du secteur (275°-55°) Source : K.N.M.I adopté d'après (ZEMENZER, 2004).

4.5. Les courants

Le long des côtes algériennes, les courants sont relativement faibles et ne constituent pas un facteur déterminant pour le fonctionnement des ouvrages littoraux (OUKAZI, 1993).

Les informations compilées au cours des observations enregistrées au large par l'institut météorologique Royal Néerlandais indiquent que les courants ont une vitesse inférieure à 0.5 nœud pendant environ 75% et un nœud pour 80% du temps.

4.6. La marée

En Méditerranée, la marée a une faible amplitude. Sur la côte algérienne, elle ne dépasse pas 35 cm, mais elle peut conduire à une inondation due à la faible pente de la zone d'étude.

5. Impact des changements climatiques et l'élévation du niveau de la mer sur la côte de Sidi Fredj

La montée lente du niveau marin ne provoque pas des problèmes littoraux majeurs à court et moyen terme. Mais, à long terme, elle aggrave le phénomène d'érosion marine et le recul du rivage (LOMBARD, 2005).

La côte de Sidi Fredj est atteinte aussi par ce phénomène, surtout au niveau des côtes sableuses de faible pente, où on remarque les conséquences sur l'évolution du trait de côte. On va aborder tout ça d'une façon plus détaillée dans le dernier chapitre, où on va suivre l'évolution du trait de

côte à partir de la dernière décennie, et comparer les traits de côte pour déduire par la suite s'il y a érosion, de savoir si elle est réversible ou non et s'il y a une tendance.

6. Actions anthropiques et leurs impacts sur le littoral de Sidi Fredj

Il existe plusieurs facteurs anthropiques qui sont à l'origine de la perturbation de l'équilibre de la côte de Sidi Fredj, parmi lesquelles :

- La construction du port (1971), a modifié la courantologie et le comportement de l'avant-côte.
- Le dragage du port de Sidi Fredj qui contribue à la modification de la bathymétrie ainsi que l'évolution du trait de côte.
- La mise en place d'ouvrages lourds de protection (épis), qui ont pour but de retenir une partie de la charge sédimentaire véhiculée par la dérive littorale en freinant ce courant. Par conséquent, les plages voisines sont pauvrement alimentées en sédiments.
- Les extractions de sable à l'embouchure d'oued de Beni Messous, facteur important du déséquilibre sédimentologique du cordon littoral ce qui contribue au déficit sédimentaire des plages de Sidi Fredj.
- L'ouverture de la plage aux touristes, qui accentue le phénomène de piétinement de la dune faisant progressivement disparaître les végétaux retenant le sable, ce qui a perturbé significativement la dynamique hydrosédimentaire de la région.

III. ÉTUDE HYDROSEDIMENTAIRE COTIERE « APPROCHE NUMERIQUE »

Introduction

Le transport de sédiments non cohésifs dépend des mouvements d'eau générés soit par les courants, soit par les vitesses orbitales liées à la houle, soit le plus souvent par une combinaison de ces deux phénomènes. Afin de comprendre le fonctionnement hydrosédimentaire de la côte de Sidi Fredj, une modélisation bidimensionnelle de la propagation de la houle et de la courantologie est mise en œuvre.

Le logiciel de modélisation numérique Mike 21 est un logiciel bidimensionnel permettant de simuler les phénomènes hydrodynamiques dans les lacs et les zones côtières. Il permet de :

- Calculer les vitesses des courants sur les colonnes d'eau, en régime transitoire.
- Simuler la propagation des états de mer (mers de vent et houles océaniques) dans les domaines offshore et côtier.
- Simuler l'agitation dans les ports.
- Modéliser les processus de transport hydro-sédimentaire.

1. Etude bathymétrique

Les données bathymétriques issues du levé réalisé lors de la sortie en mer (Avril 2017) dans la plage de Sidi Fredj ont permis de réaliser la carte bathymétrique de la zone d'étude.

-Sous MIKE Zéro, la carte de la zone d'étude fournit depuis Google Earth Pro 2017 a été géoréférencié sous le système de coordonnées projetées WGS84_UTM.

-L'outil **set current contour level** du module **Bathymétries** de **MIKE Zéro**, est utilisé pour introduire les points de bathymétrie selon les coordonnées géographiques de chaque point (latitude et longitude).

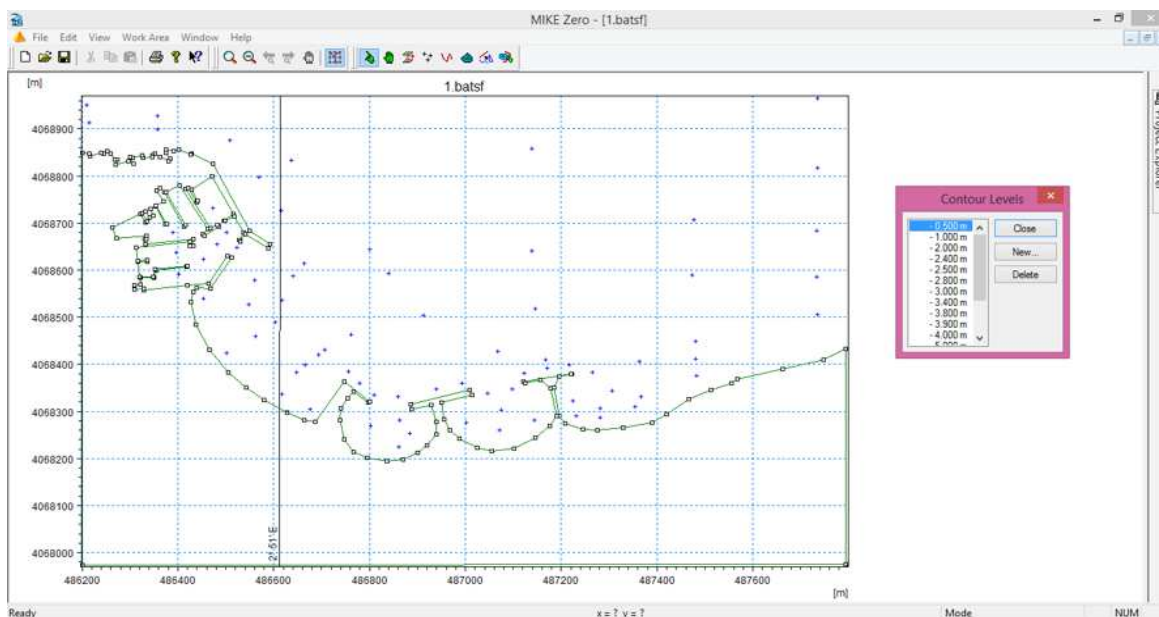


Figure III.1: Digitalisation des points de la bathymétrie sous Mike Zero.

-L'outil **GenerateMesh** du module **MeshGenerator** de **MIKE Zéro**, a été utilisé afin d'importer les données bathymétriques et créer le maillage, ce dernier est composé d'éléments triangulaires d'une taille précise suivant les évolutions bathymétriques.

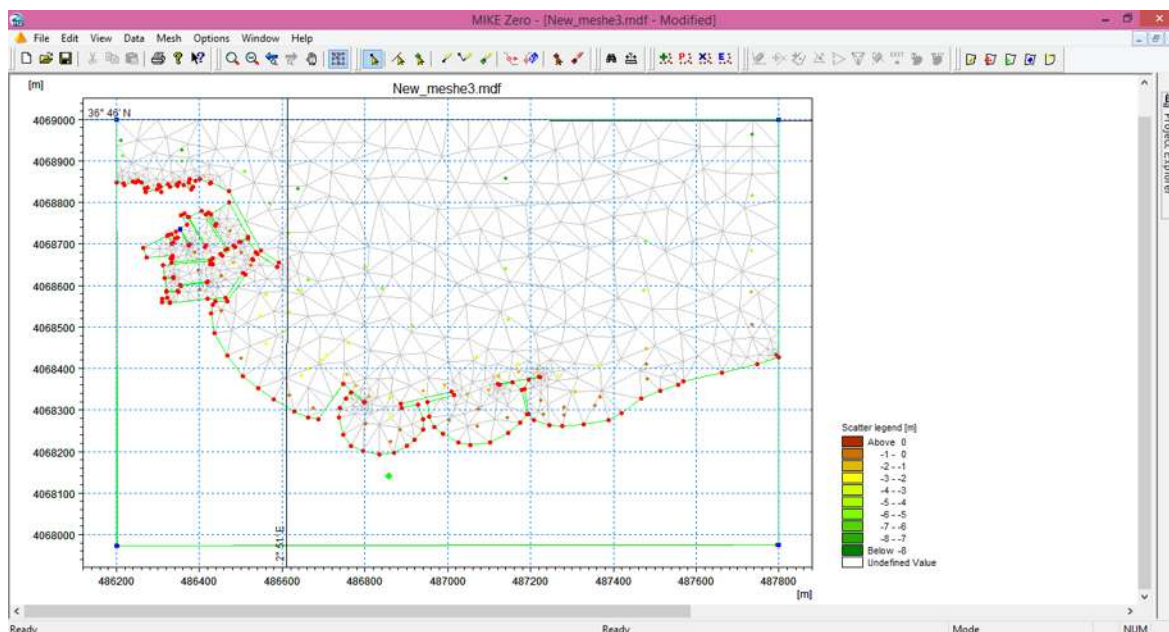


Figure III.2: Maillage de la zone d'étude sous MIKE Zero.

-La bathymétrie est obtenue à l'aide de l'outil **Interpolate** sur le maillage ainsi défini.

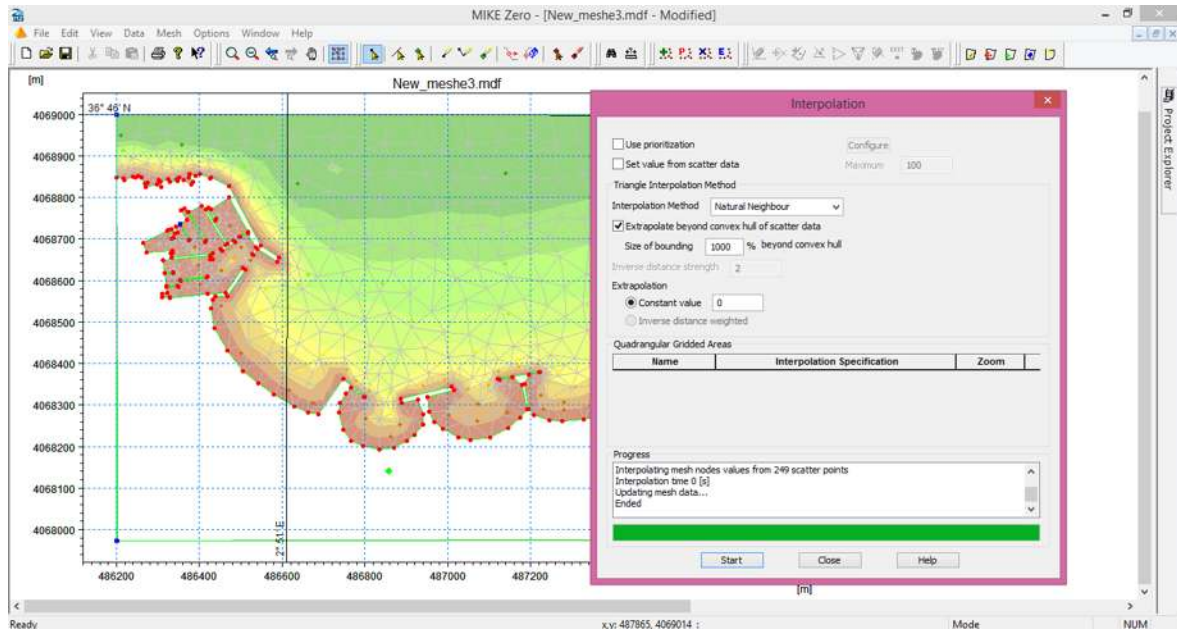


Figure III.3: Interpolation de la bathymétrie sous MIKE Zero.

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

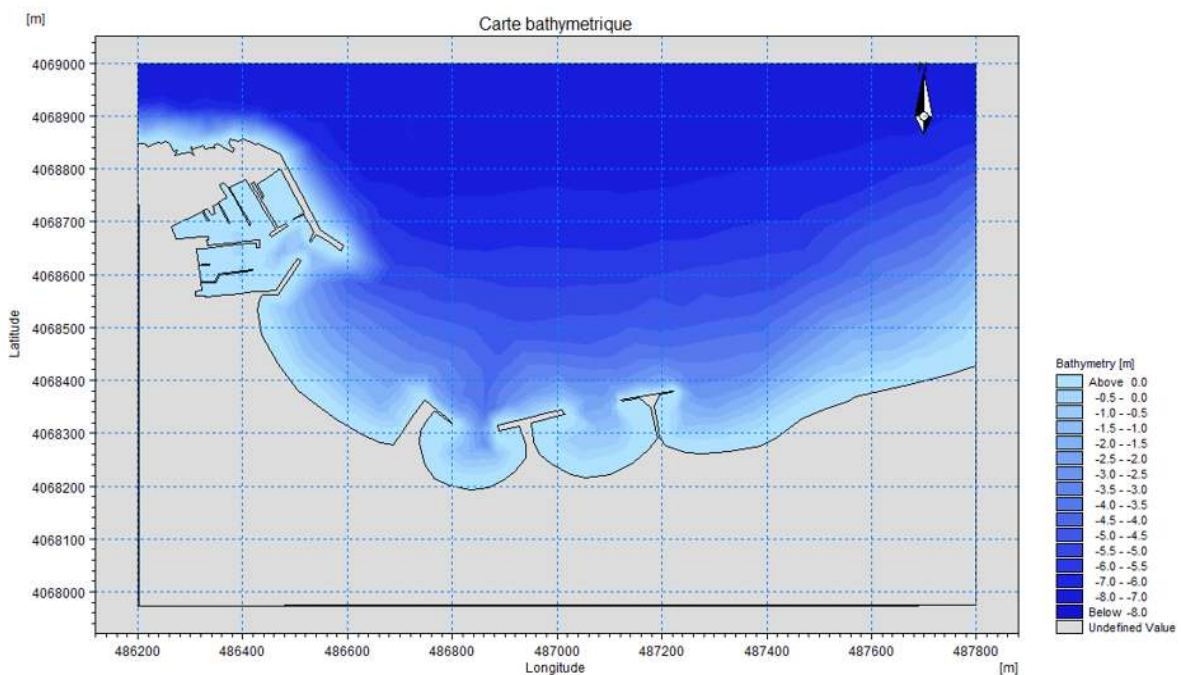


Figure III.4: Carte bathymétrique des plages de Sidi Fredj.

- Une zone entre **0 et -5m**, il y a un resserrement des isobathes. Ce qui indique une pente plus ou moins abrupte, 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 espacés qui présentent un fond relativement régulier et une pente douce.

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

2. Etude hydrodynamique

Pour l'étude de l'hydrodynamique il est nécessaire de fournir la bathymétrie de la zone et définir les conditions aux limites (les directions dominantes de propagation des vagues avec l'élévation H_{s0} de la houle au large et la période) ainsi que la direction et la vitesse du vent dominant. Le nombre de pas fixé est 20 pas. La configuration de la simulation de la propagation de la houle et celle des vitesses des courants est représentée dans les annexes.

2.1. Modélisation de la propagation de la houle du large vers la côte

En premier lieu, une étude bidimensionnelle de la propagation de la houle est mise en œuvre, celle-ci est effectuée avec le module SW.

MIKE 21 SW est le module de propagation de la houle spectrale. C'est un modèle basé sur la conservation de la densité de l'action d'onde qui permet de simuler la propagation des états de mer dans les domaines offshore et côtier. Il prend en compte la génération de la houle par action du vent, la dissipation de la houle, la réfraction et la levée de la houle, phénomènes liés aux variations de bathymétrie, les interactions entre houle et courant et les effets de variation de la hauteur du plan d'eau.

2.2. Modélisation des champs de courants générés par la houle

En deuxième lieu, une étude bidimensionnelle de la courantologie est mise en œuvre, celle-ci est effectuée avec le module HD.

MIKE 21 HD est le module hydrodynamique. C'est un modèle pour les calculs hydrodynamiques à surface libre, il permet de simuler les variations du niveau d'eau et des écoulements moyennés sur la colonne d'eau, en fonction des paramètres de forçage des zones côtières et du large. Il est utilisé pour simuler de nombreux phénomènes hydrauliques dont la marée, les courants induits par le vent et la houle ainsi que les surcotes.

3. Résultats

3.1. Modélisation de la réfraction de la houle

Les figures ci-dessous représentent les résultats obtenus de l'étude de la réfraction de la houle d'une période de 6s, pour les trois directions (45°, 315°, 360°) avec le module SW du logiciel Mike21 :

L'analyse de la carte de réfraction d'une houle de direction 45°, indique que les houles arrivent du Nord-Est, atteignant la côte sans changer de direction. La propagation se fait d'une façon frontale. Au niveau de la jetée principale du port on constate une faible diffraction. Ces houles perdent un peu de leur énergie et atteignent la côte avec une hauteur significative de 0.8m (plage Est de Sidi Fredj) et 0.7m (plage Moretti et derrière les épis).

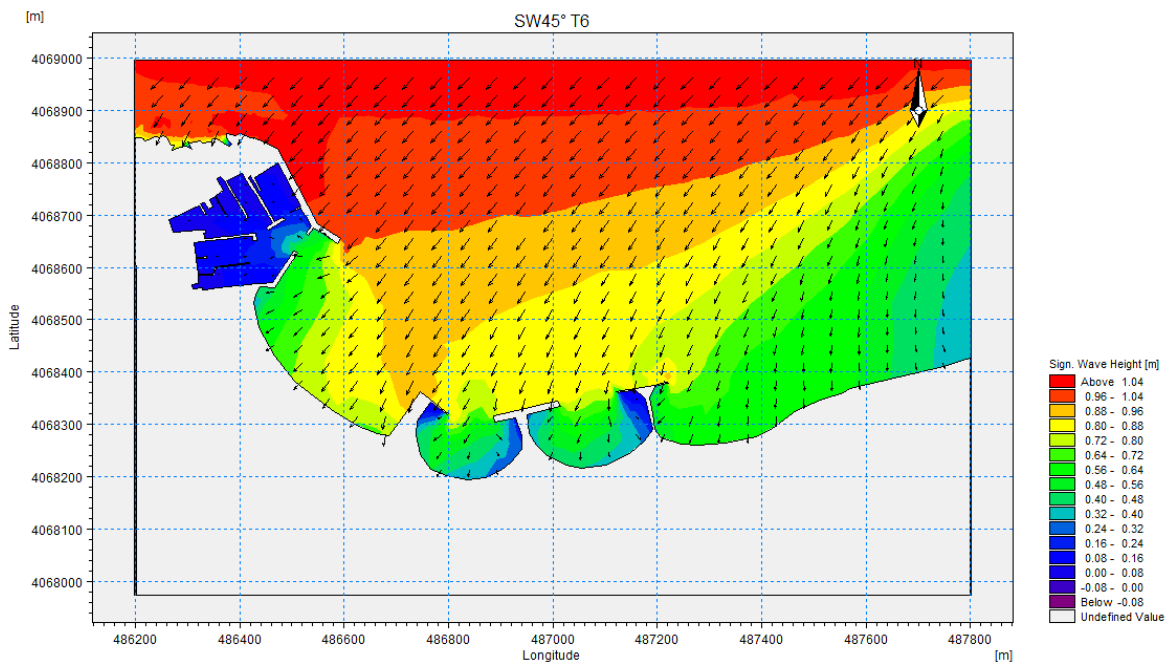


Figure III.5: Carte de l'évolution de la hauteur significative et de la direction d'une houle de secteur 45° et d'une période de 6s, $H_{s0}=1.09m$.

L'analyse de la carte de réfraction d'une houle de direction 315°, indique que les houles arrivent du Nord-Nord-Ouest d'une façon oblique aux isobathes jusqu'à une profondeur de réfraction (-5m), au-delà de cette profondeur les orthogonales commencent à se réorienter vers l'ouest au niveau du port et la plage Est de Sidi Fredj. Les houles sont totalement réfractées, perdant la majorité de leurs énergies du large, avec des hauteurs significatives de 0.2m (plage Est de Sidi Fredj). Alors qu'elles atteignent la côte avec une hauteur significative de 0.9m au niveau de la

plage Moretti et 0.6m derrière les épis. Au niveau de la jetée principale du port on constate une forte diffraction de la houle.

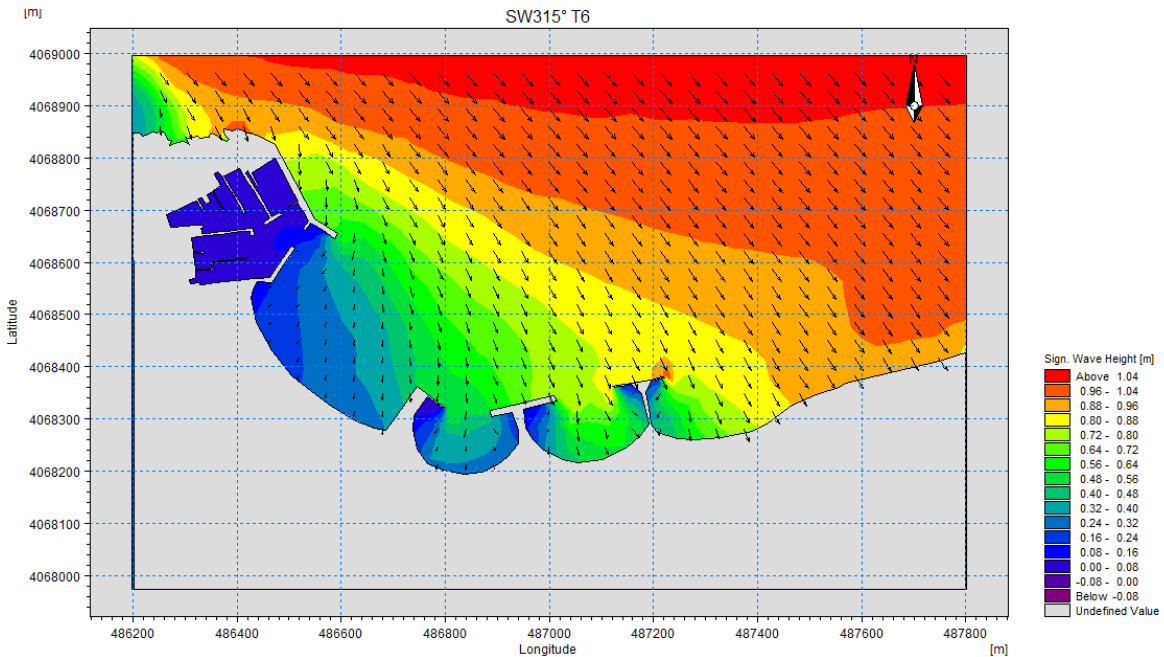


Figure III.6: Carte de l'évolution de la hauteur significative et de la direction d'une houle de secteur 315° et d'une période de 6s, $H_{s0}=1.10\text{m}$.

L'analyse de la carte de réfraction d'une houle de direction 360°, indique que les houles arrivent du Nord, la propagation se fait d'une façon presque perpendiculaire aux isobathes jusqu'à une profondeur de réfraction (-4m), au-delà de cette profondeur, la houle se réfracte au niveau de la plage Est de Sidi Fredj, elle atteint la côte avec des hauteurs significatives de 0.7m. Par contre au niveau de la plage Moretti, elle est plus de 0.9m. L'agitation est importante derrière les trois épis, les hauteurs significatives des houles sont de 0.7m.

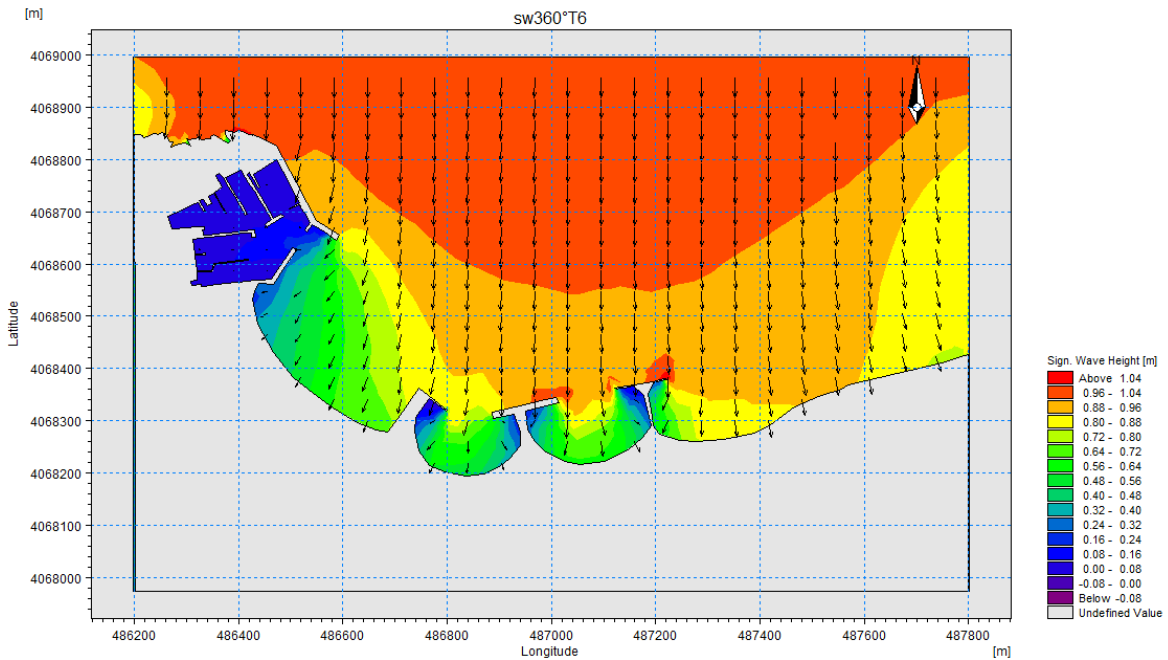


Figure III.7: Carte de l'évolution de la hauteur significative et de la direction d'une houle de secteur 360° et d'une période de 6s, $H_{s0}=1\text{m}$.

3.2. Modélisation des champs de courants

Les figures ci-dessous représentent les résultats obtenus de la visualisation des courants engendrés par une houle d'une période de 6s pour les trois directions 45°, 315° et 360° avec le module HD du logiciel Mike21. Les cartes de la visualisation des courants engendrés par les houles d'une période de 8s et 10s, pour les trois directions 45°, 315° et 360° sont représentées dans les annexes.

D'après la carte ci-dessous, on observe que les champs des courants montrent des activités hydrodynamiques dans toute la zone, surtout dans la partie Sud-Est où on observe un courant important qui est dirigé vers le Nord-Ouest avec une vitesse de 0.2 m/s. On remarque aussi une circulation turbionnaire derrière les épis et au niveau de la jetée principale du port, avec des vitesses relativement faibles d'environ 0.1m/s.

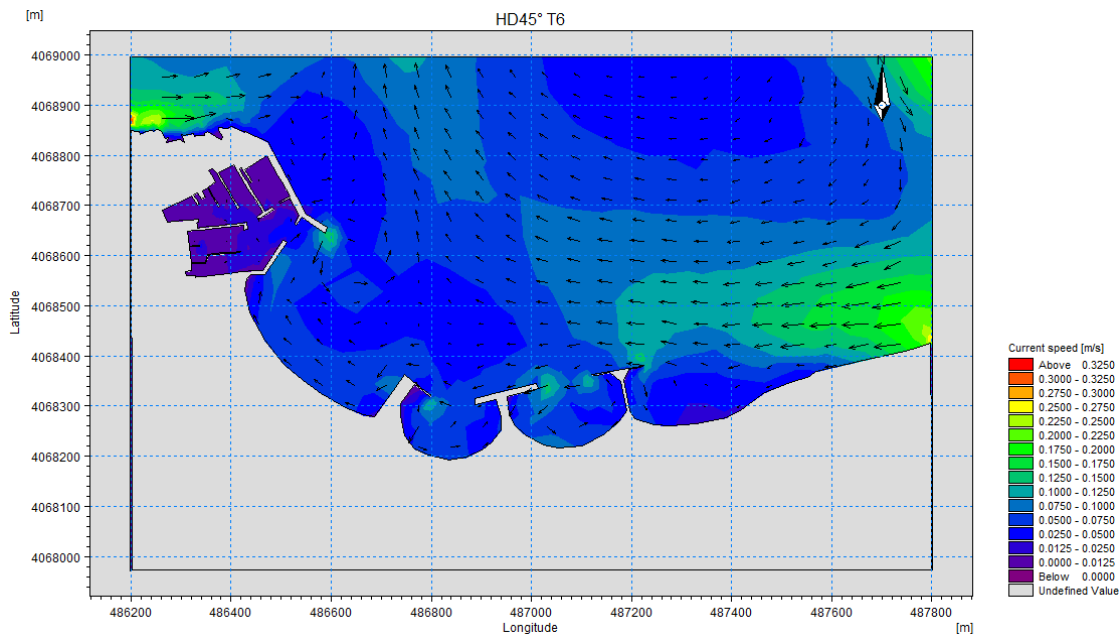


Figure III.8: Carte de l'évolution de la vitesse et de la direction des courants engendrés par une houle de secteur 45° et d'une période de 6s, $H_{s0}=1.09m$.

La carte ci-dessous, montre un courant important d'une direction 0Nord-Ouest avec un gradient de vitesse de 0.3m/s. La vitesse des courants est presque nulle au niveau de la partie Ouest de la zone d'étude et derrière les épis, ce qui favorise le dépôt des sédiments.

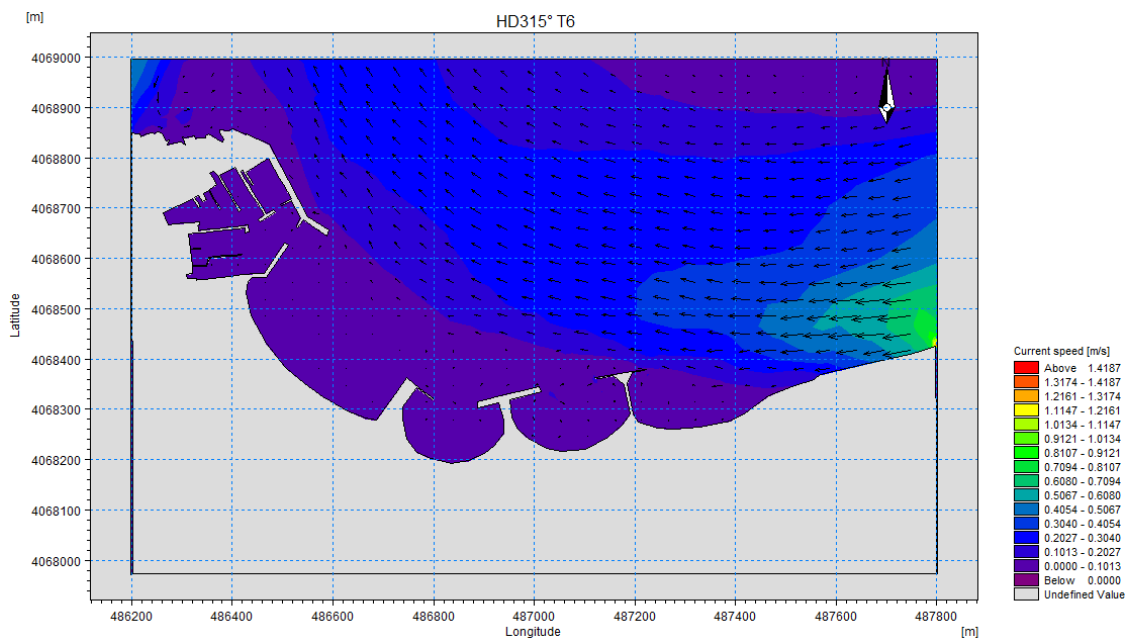


Figure III.9: Carte de l'évolution de la vitesse et de la direction des courants engendrés par une houle de secteur 315° et d'une période de 6s, $H_{s0}=1.10m$.

D'après la carte ci-dessous, on observe un courant important qui est dirigé vers le Nord-Ouest avec une vitesse de 0.2 m/s. On remarque aussi une circulation turbionnaire derrière les épis et au niveau de la plage Est de Sidi Fredj, avec des vitesses relativement faibles d'environ 0.08m/s.

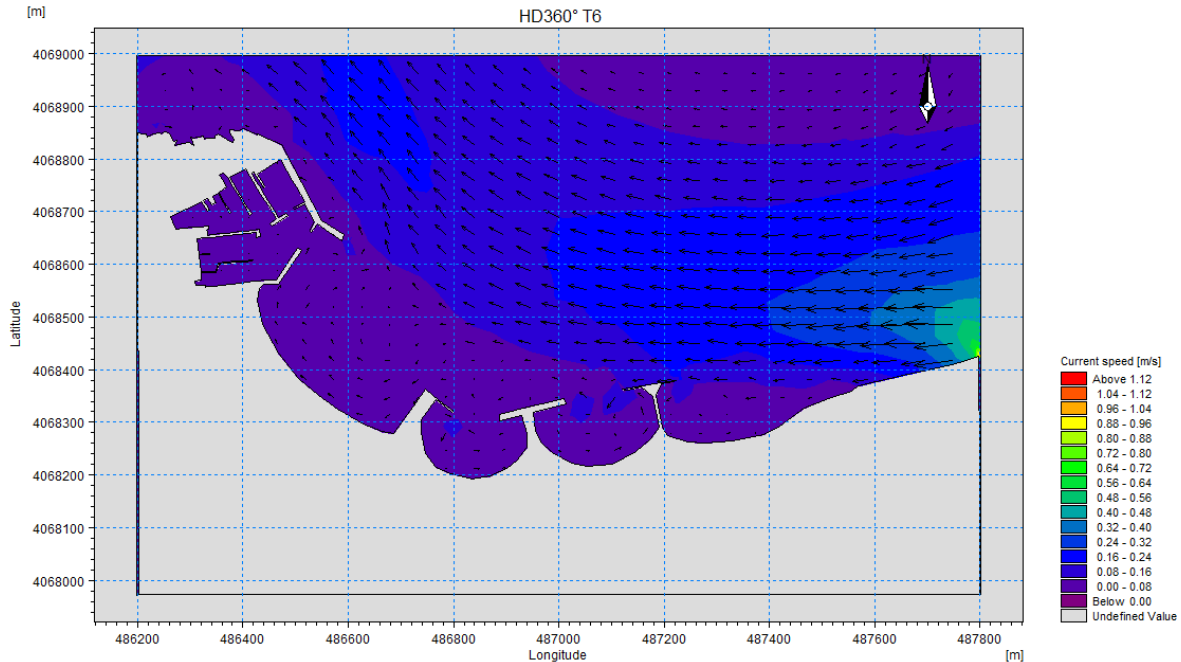


Figure III.10: Carte de l'évolution de la vitesse et de la direction des courants engendrés par une houle de secteur 360° et d'une période de 6s, Hs0=1m.

L'analyse des cartes des vitesses de courant, indique que la direction générale du courant est de l'Est vers le Nord-Ouest, avec une vitesse moyenne de 0.2m/s pour les trois directions. La direction des courants est essentiellement influencée par l'incidence des houles à la côte. L'effet combiné des houles frontales du Nord-Est et les vents dominants du secteur Ouest pousse ce courant vers le Nord-Ouest.

IV. ETUDE GRANULO-SEDIMENTAIRE

Introduction

La granulométrie des sédiments d'une plage est gouvernée par trois facteurs essentiels qui sont : les sources de sédiments, le niveau d'énergie des vagues et la pente générale du plateau sur lequel la plage s'est constituée. L'augmentation de la pente du plateau qui supporte la plage, s'accompagne d'une augmentation de la taille des sédiments, car les grains les plus fins sont systématiquement remis en suspension et perdus dans le large. Généralement, les plages de sable sont bien triées et les écarts de taille des grains sont faibles d'un endroit à l'autre de la plage (STEPANIAN, 2002).

A. Prélèvement et échantillonnage

La sortie réalisée le 17 Avril 2017, a permis de procéder à un échantillonnage de la plage aérienne et des fonds de la partie Est de Sidi Fredj.

1.1. Prélèvement dans la partie aérienne

Le prélèvement est réalisé sur 20 stations réparties sur 10 profils de sédiments superficiels collectés à la main dans des sacs en plastique et étiquetés.

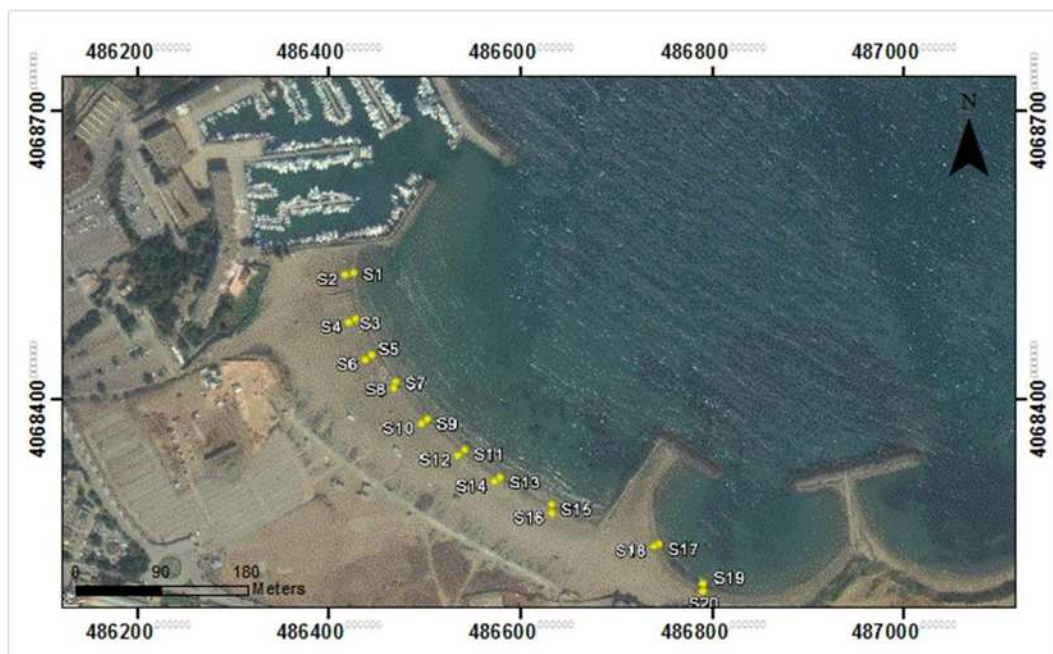


Figure IV.1: Positionnement des points de prélèvement dans la partie aérienne (Google Earth Pro, 2017).

1.2. Prélèvement dans la partie marine

Le prélèvement est réalisé sur 28 stations à l'aide d'une benne de type Van Veen qui collecte le sédiment marin superficiel. Une fois remonter sur le bateau, la benne est ouverte et le contenu en est collecté dans des sacs en plastique et étiquetés.

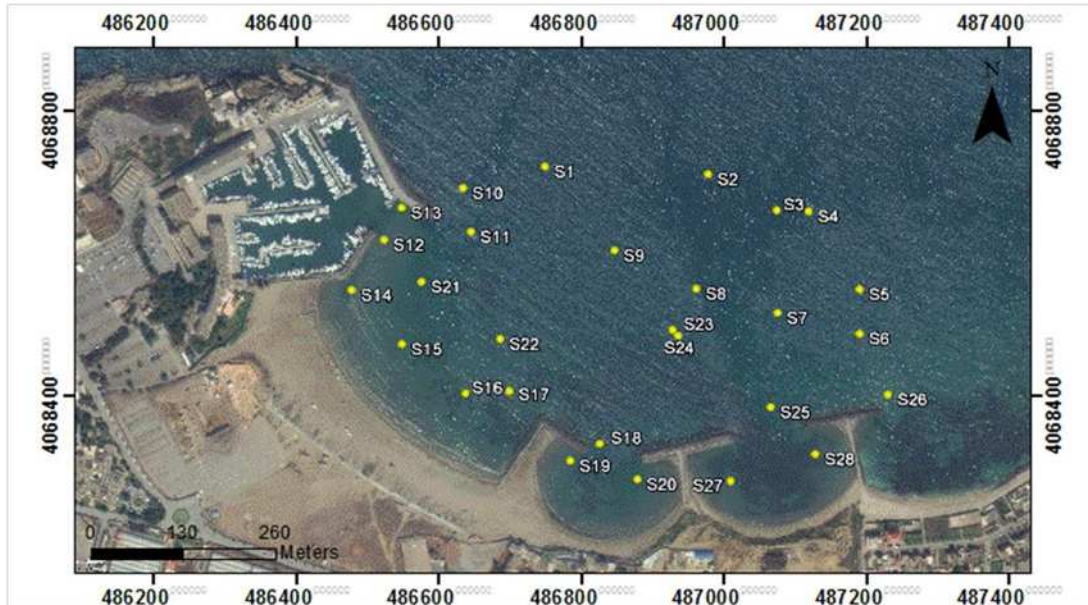


Figure IV.2: Positionnement des points de prélèvement dans la partie marine (Google Earth Pro, 2017).

2. Etude au laboratoire

L'analyse granulométrique des sédiments se fait par la technique du tamisage à sec pour la fraction grossière et le tamisage sous l'eau pour la fraction fine.

2.1. Préparation du matériel



Figure IV.3: Matériels utilisés lors de l'analyse.

2.2. Méthode d'analyse

On a suivi les normes AFNOR dans notre analyse, les étapes de l'analyse sont comme suite :

- Déposer les échantillons dans des cristallisoirs.
- Séchage à 105°C pendant 24h dans une étuve.
- La prise d'essais 200g.
- Faire passer sous un courant d'eau dans un tamis de 40 µm de diamètre afin de soustraire la fraction fine.
- Remettre les échantillons dans l'étuve à 105°C pendant 24h.
- Peser une deuxième fois.
- Tamiser mécaniquement sur une tamiseuse électrique répondant aux normes AFNOR, pendant 10 mn.
- Peser le refus de chaque tamis.
- Evaluation en pourcentage des refus de chaque tamis.

3. La fraction fine

L'étude de la fraction fine consiste, d'abord à évaluer pour chaque échantillon le pourcentage de cette fraction fine inférieure à 40 µm dans un poids considéré, ensuite à établir une carte des pélites qui montre la répartition de cette fraction.

4. La fraction grossière

4.1. Les paramètres de position

Les paramètres de position sont déduits à partir de la courbe de fréquence cumulative (en ordonnée échelle arithmétique : le pourcentage des tamis cumulés, en abscisse échelle logarithmique : les diamètres des tamis), ces paramètres vont servir à calculer les différents indices granulométriques.

- **Q25, Q75** : premier et second quartile.
- **Q50 (D50)** : la médiane.
- **φ5, φ16, φ84, φ95** : percentiles.

Le passage de l'échelle millimétrique à l'échelle phi se fait suivant la formule suivante :

$$\phi = -\log_2(D)$$

4.2. Les indices granulométriques

L'analyse des paramètres granulométriques fournit des informations importantes sur la provenance, l'historique du déplacement et les conditions de dépôt des particules sédimentaires (BUI et al, 1990 in CORDIER, 2007).

Les paramètres granulométriques utilisés sont :

-Indice central (Folk et Ward) :

L'indice central est un positionnement global de l'échantillon sur l'échelle des dimensions des sédiments. Il traduit la puissance moyenne des paléo écoulements (LOSSON et CORBONNOIS, 2006).

$$Mz = (\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84})/3$$

Tableau IV-1: Les valeurs adoptées de Mz pour la taille moyenne.

Limite de Mz	Taille moyenne
Mz < -6	Galet
-6 < Mz < -2	Granule
-2 < Mz < -1	Sable très grossier
-1 < Mz < 0	Sable grossier
0 < Mz < 1	Sable moyen
1 < Mz < 2	Sable fin
2 < Mz < 3	Sable très fin
3 < Mz < 3.98	Vase

-Indice de dispersion (TRASCK) :

L'indice de classement donne une idée sur l'étalement de la courbe granulométrique autour de son grain moyen et nous renseigne sur le degré de classement du sédiment.

$$S_o = (Q_{75} / Q_{25})^{1/2}$$

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

Les valeurs de So	Classement
So < 1	Très bien classé
1 < So < 2.5	Bien classé
2.5 < So < 3	Normalement classé
3 < So < 4	Mal classé

-Indice d'asymétrie (Folk et Ward) :

Ce paramètre indique sur l'enrichissement en particules grossières ou l'enrichissement en particules fines ou s'il y'a asymétrie. Il exprime le milieu du dépôt, plutôt que les conditions du transport (LOSSON et CORBONNOIS, 2006).

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

Tableau IV-3: Les valeurs adoptées de Ski pour l'asymétrie.

Limite de Ski	L'asymétrie
-1<Ski<-0.3	Asymétrie très négative
-0.3<Ski <-0.1	Asymétrie négative
-0.1<Ski< 0.1	Asymétrie
0.1<Ski< 0.3	Asymétrie positive
0.3<Ski< 1	Asymétrie très positive

Un programme MATLAB nous a permis de calculer les indices granulométriques ainsi que les paramètres de position :

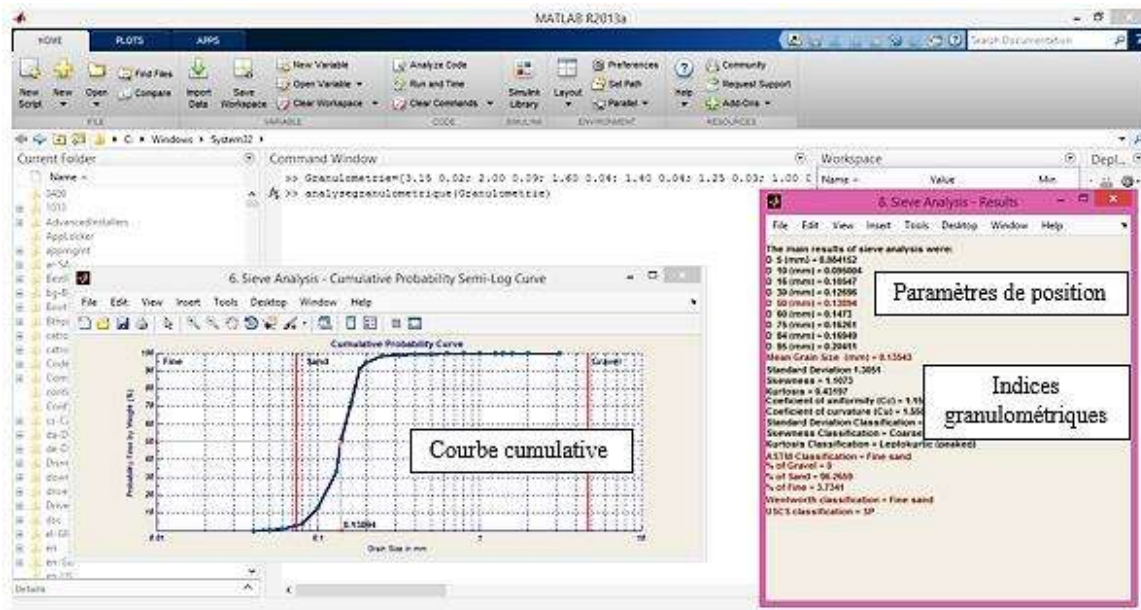


Figure IV.4: Interface graphique sous MATLAB pour extraire les paramètres et les courbes granulométriques à partir d'une matrice.

A partir du programme MATLAB, on a pu avoir les courbes cumulatives pour chaque station dans la partie marine et aérienne, on site ici deux exemples :

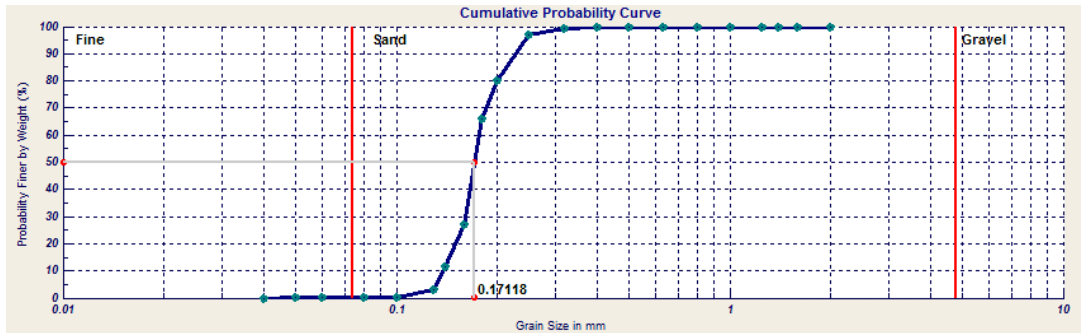


Figure IV.5 : Courbe cumulative de la station 7 (partie aérienne).

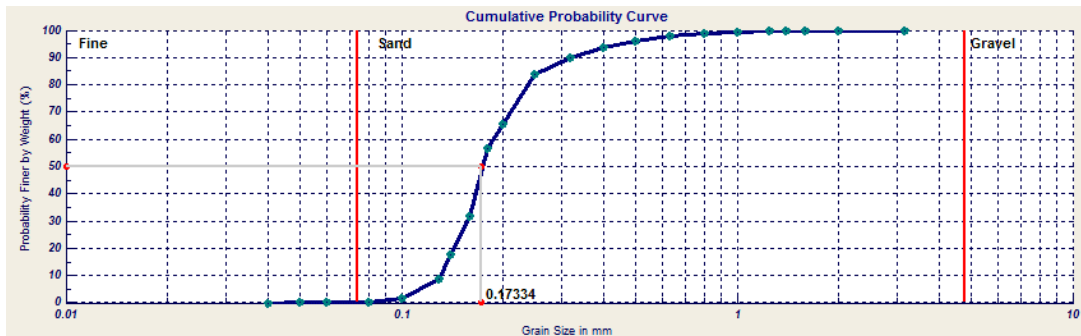


Figure IV.6 : Courbe cumulative de la station 6 (partie marine).

5. Résultats

Les analyses des pélites, grains moyens, indice de dispersion et l'indice d'asymétrie pour la plage aérienne et la partie marine sont effectuées à l'aide du logiciel ArcGis10.2.2. On a obtenu les résultats suivants :

5.1. Analyse de la fraction fine

Partie aérienne :

Les résultats d'analyse de la fraction pélique, dans la partie aérienne sont représentés dans la figure ci-dessus : les résultats obtenus montrent que les teneurs les plus élevées sont enregistrées dans la partie centre de la plage (stations 11 et 12), avec un pourcentage de 1,46%. Au-delà de cette zone la teneur des pélites diminue en allant vers les deux extrémités, avec des valeurs de 0.74% au niveau des stations 1 et 2 et environ 0.47% au niveau des stations 17 et 18 (au voisinage de l'épi). Ces concentrations de pélites sont très faibles, cela est dû probablement à une tempête juste avant la sortie (dispersion des pélites vers le large).

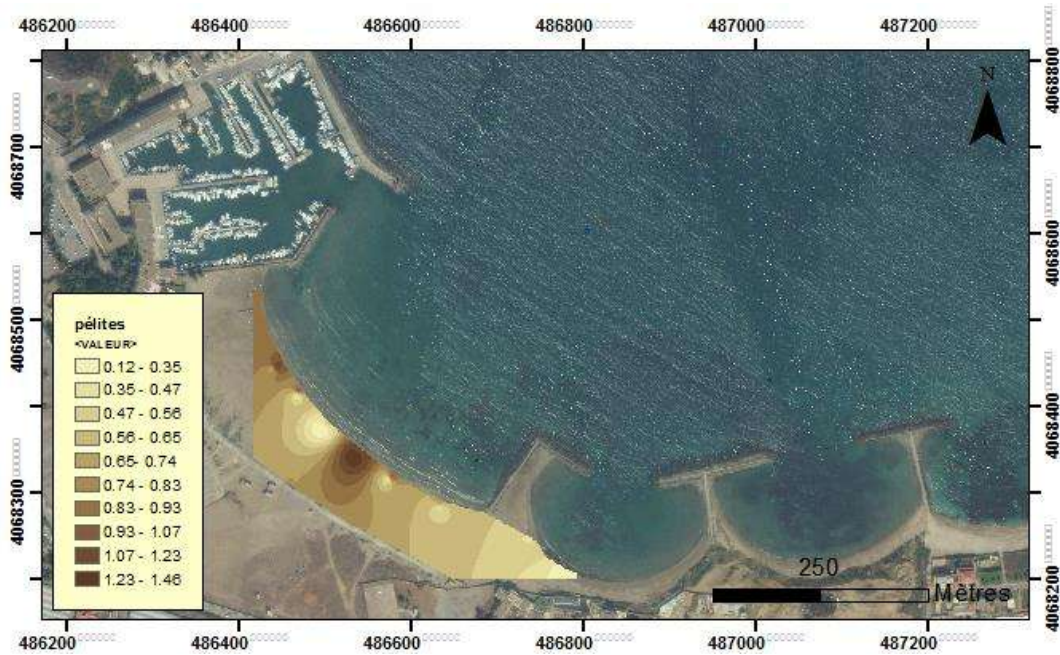


Figure IV.7 : Carte de la répartition des pélites (%) dans la partie aérienne.

Partie marine :

Les résultats d'analyse de la fraction pélitique dans la partie marine sont représentés ci-dessous, les résultats obtenus montrent une distribution homogène de la fraction fine qui augmente de la côte vers le large, de valeurs faibles (0.24 à 1.15%) au voisinage de la côte jusqu'à des valeurs de 4.09% vers le large (station 9). Ce qui explique la redistribution des sédiments due à des courants de dérive littorale et du courant de retour.

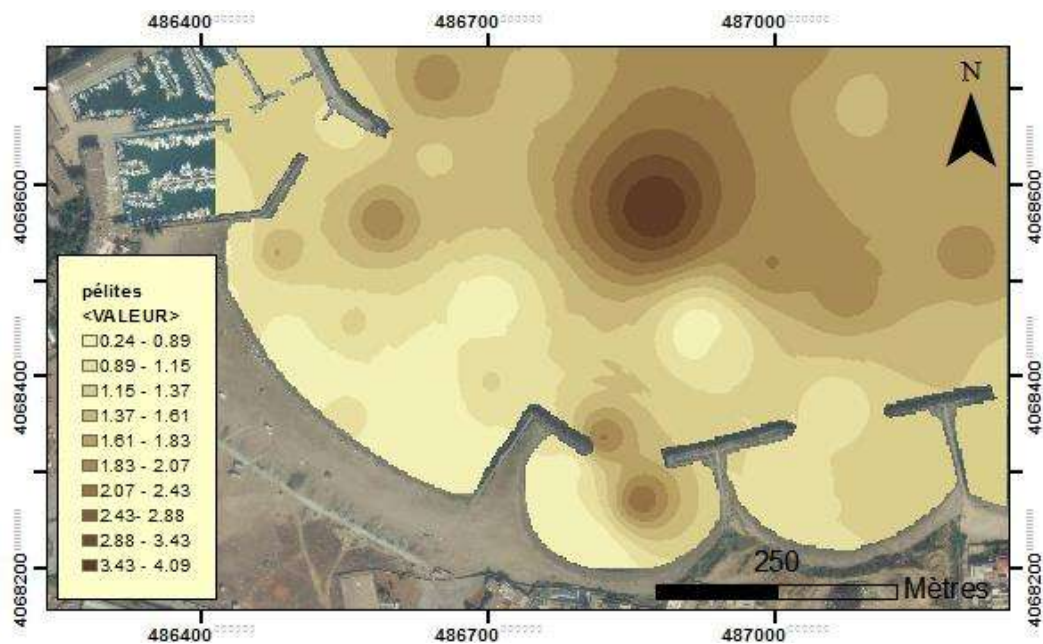


Figure IV.8 : Carte de la répartition des pélites (%) dans la partie marine.

5.2. Analyse de la fraction grossière

Partie aérienne :

Les résultats d'analyse de la fraction grossière dans la partie aérienne sont représentés ci-dessous, les résultats obtenus montrent que le grain moyen se traduit par un sable très fin (0,16 à 0,25mm) au niveau de la partie centre et la partie Ouest de la plage. Ces valeurs augmentent en allant vers l'Est ou on enregistre des valeurs de 0.38 à 0.45mm, qui se traduit par un sable fin (0,45mm). Les teneurs les plus élevées sont enregistrées au niveau des stations 15 et 16 (au voisinage de l'épi). Ces valeurs élevées sont dues à un rechargement artificiel observé lors des prélèvements sur terrain au niveau de la plage de Hôtel Riad.

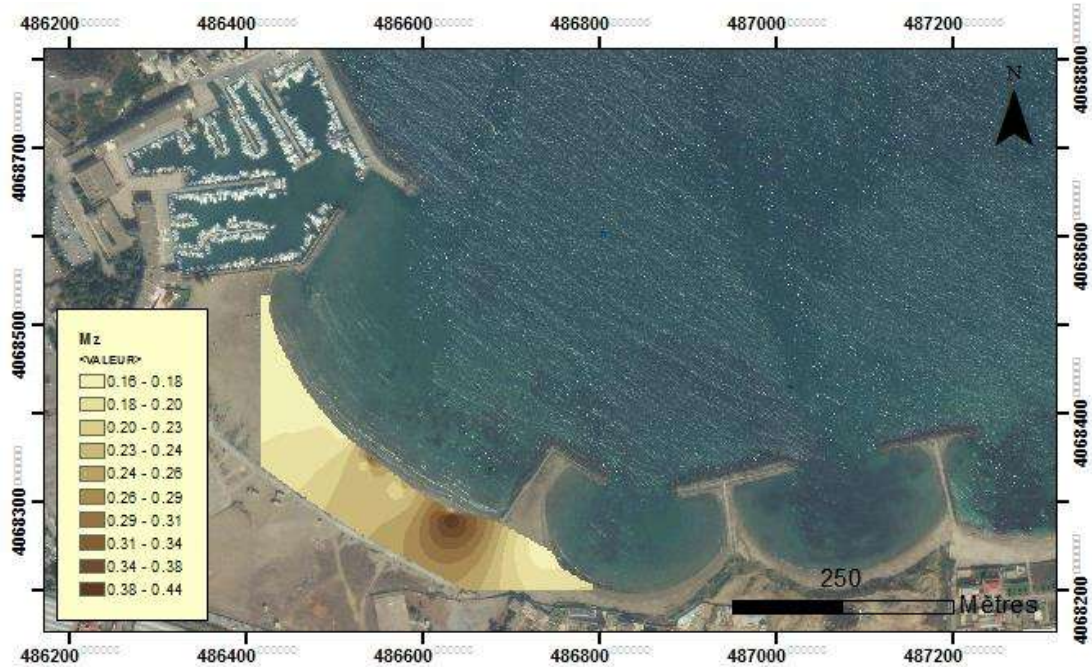


Figure IV.9: Carte de la répartition du grain moyen (mm) dans la partie aérienne.

Partie marine :

Les résultats d'analyse de la fraction grossière dans la partie marine sont représentés ci-dessous, les résultats obtenus montrent que la teneur du grain moyen se traduit par un sable très fin de 0.16 à 0.18mm au niveau de la partie Ouest au voisinage du port, c'est ce qui engendre l'ensablement de la passe d'entrée du port. Ces valeurs augmentent en allant vers l'Est ou on enregistre des valeurs de 0.55 à 0.71mm, qui se traduit par un sable grossier (0,7mm) se trouvant au niveau des stations 23 et 24 (en dessus du deuxième épi). Ces valeurs élevées sont dues à la

concentration d'énergie de la houle au voisinage des ouvrages (il y a un fort escarpement au niveau du deuxième épi).

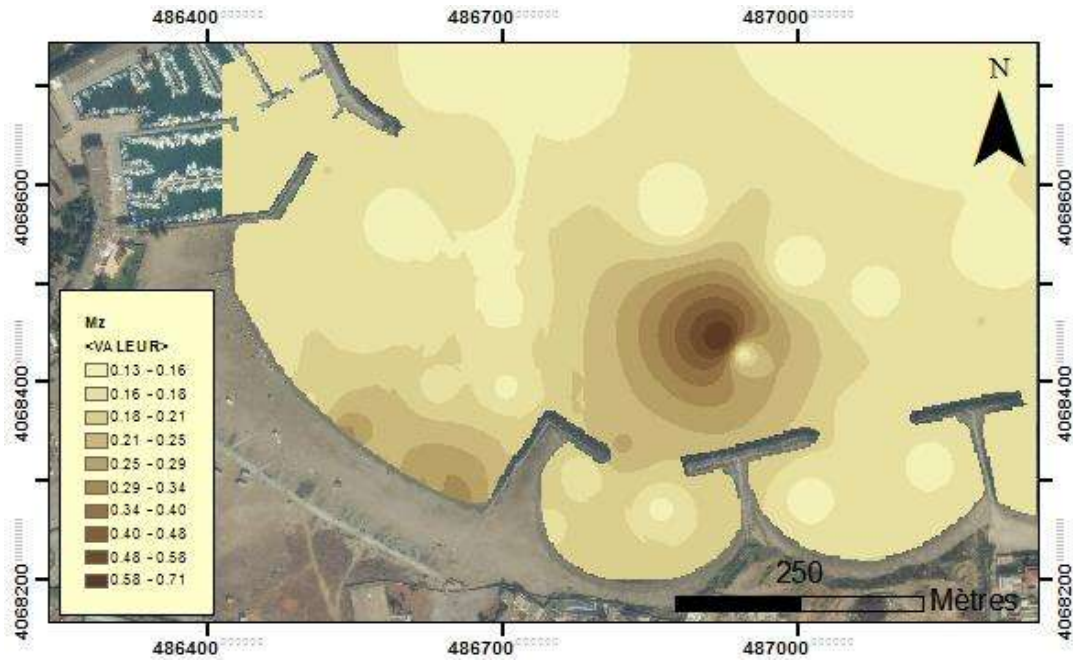


Figure IV.10: Carte de la répartition du grain moyen (mm) dans la partie marine.

5.3. L'indice de dispersion

Partie aérienne :

Selon la carte si dessous, on remarque que les sédiments sont très bien classés ($So < 1$), surtout aux extrémités de la plage (jusqu'à -0.91), ce qui indique que la zone est calme.

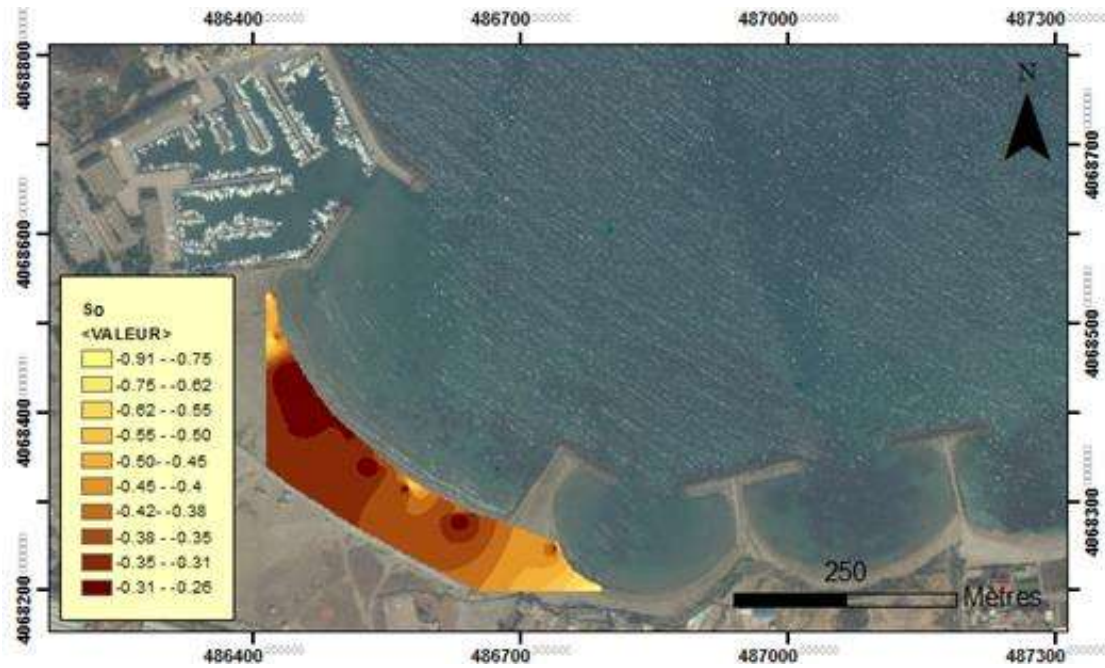


Figure IV.11 : Carte de la répartition de S_o (ϕ) dans la partie aérienne.

Partie marine :

Selon la carte ci-dessous, on remarque que les sédiments sont très bien classés ($S_o < 1$) sur la majorité de la zone d'étude (jusqu'à -0.92). Par contre en dessus du deuxième épi (entre l'épi et la station 24) le sédiment est bien classé ($S_o = 1.23$), cela est dû probablement à la forte agitation à ce niveau.

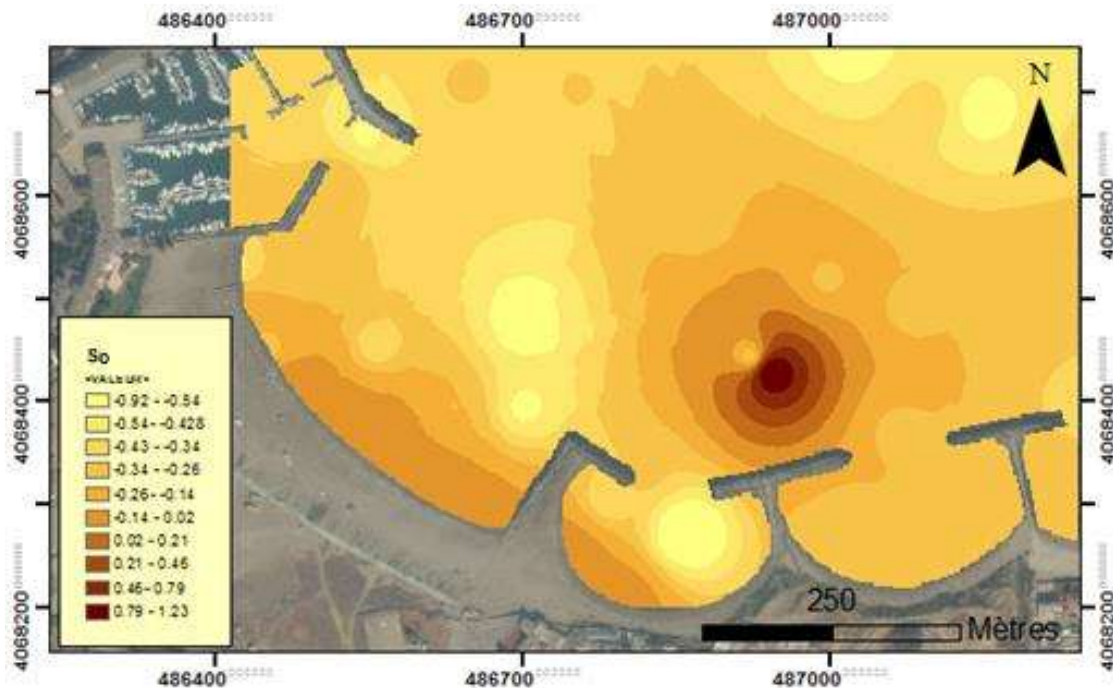


Figure IV.12 : Carte de la répartition de S_o (ϕ) dans la partie marine.

La figure suivante représente la relation entre l'indice de classement S_o et le grain moyen M_z :

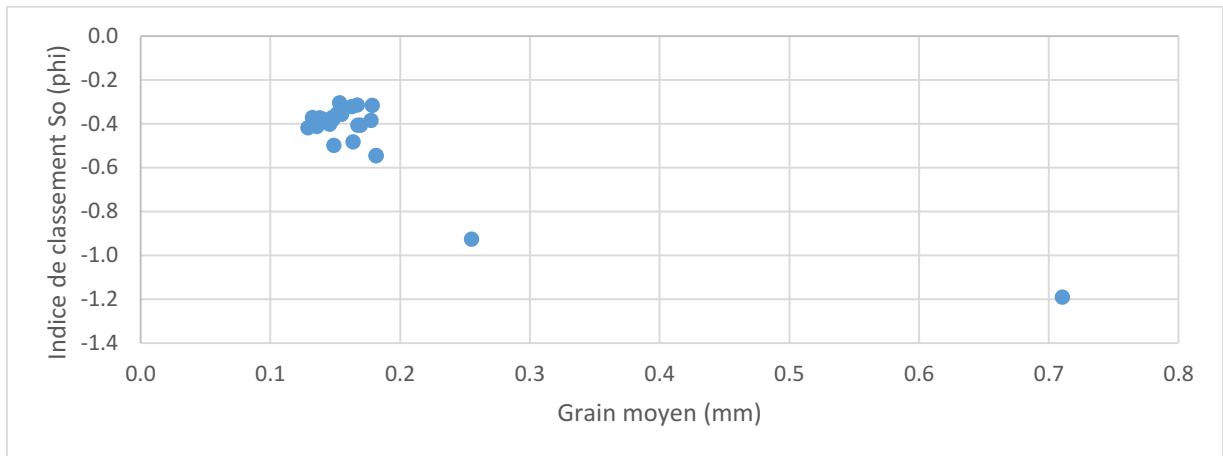


Figure IV.13 : Relation entre l'indice de classement et le diamètre moyen des grains de la partie marine.

La figure permet de constater que tous les échantillons de notre zone d'étude (partie marine) ont un $S_o < 1$, cela signifie que les sédiments sont très bien classés.

5.4. L'indice d'asymétrie

Partie aérienne :

Selon la carte ci-dessous, on remarque que l'asymétrie tend vers les grossiers ($0.1 < S_{ki} < 0.3$) dans notre plage. La valeur la plus élevée ($0.4 < S_{ki} < 0.6$) se trouve au niveau de la station 13 et 14, ce qui indique que à ce niveau se dépose les sédiments.

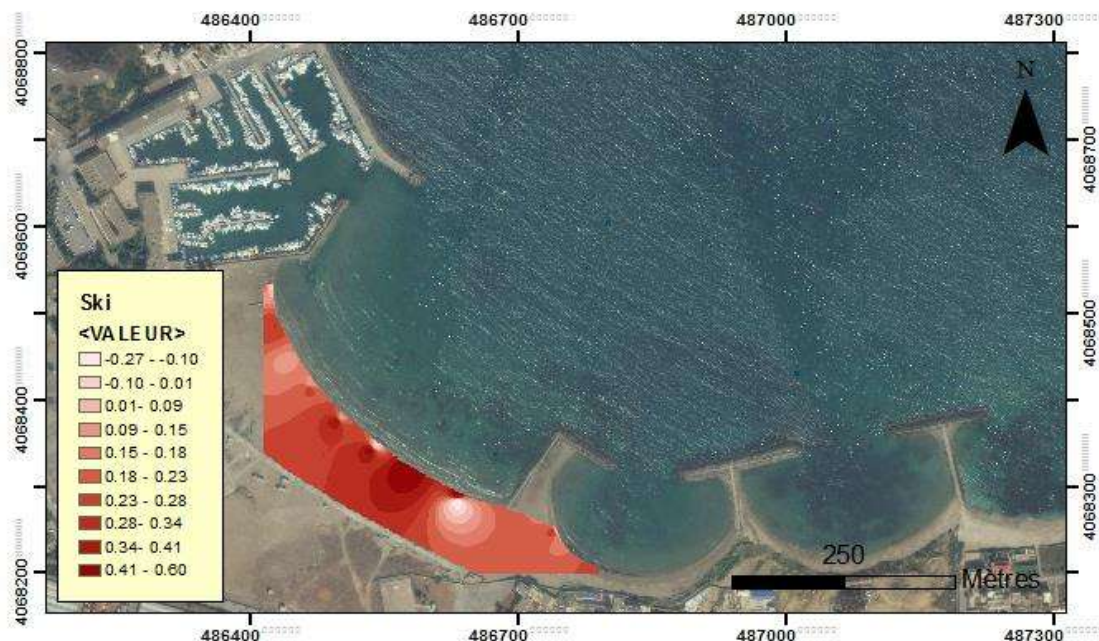


Figure IV.14: Carte de la répartition de S_{ki} (phi) dans la partie aérienne.

Partie marine :

Selon la carte ci-dessous, on remarque qu'il y a plusieurs classes d'asymétrie, l'indice Ski varie de -0.20 à 0.58 sur toute la zone. Les valeurs les plus élevées ($0.36 < \text{Ski} < 0.58$) se trouvent au niveau des parties exposées des épis et des jetées du port, puisque l'énergie de la houle est farinée à ce niveau, ce qui cause le dépôt des sédiments. On remarque aussi des valeurs élevées au niveau de la plage Est de Sidi Fredj puisque c'est une zone calme favorable à la sédimentation. Au large, les valeurs sont plus faibles ($-0.20 < \text{Ski} < -0.10$), il y a une asymétrie négative (vers les fins).

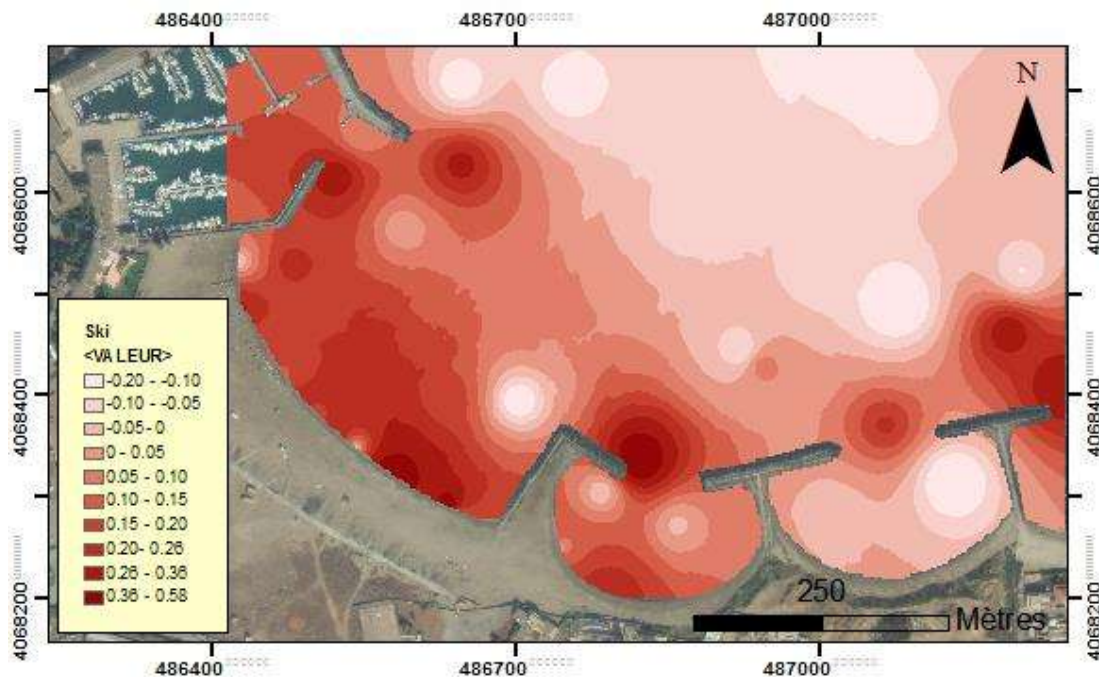


Figure IV.15 : Carte de la répartition de Ski (ϕ) dans la partie marine.

La figure suivante représente la relation entre l'indice d'asymétrie Ski et le grain moyen :

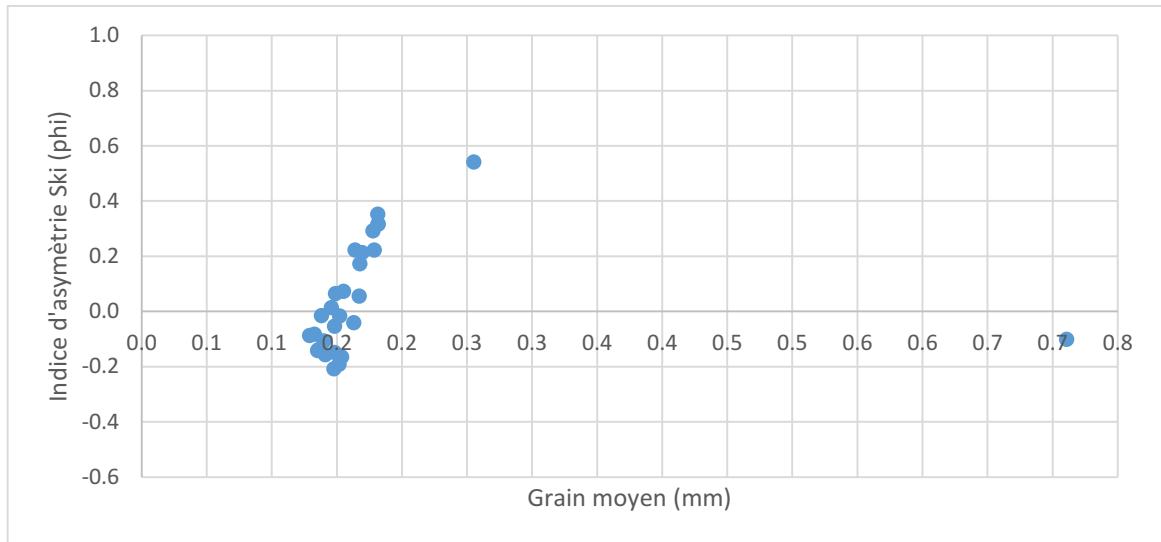


Figure IV.16 : Relation entre l'indice d'asymétrie et le diamètre moyen des grains (en mm).

Les valeurs de l'indice d'asymétrie des échantillons prélevés en mer présentent quatre classes :

La première classe : $-0,3 < Ski < -0,1$, on a une asymétrie négative pour l'ensemble des échantillons : 1, 2, 3, 5, 7, 10, 17, 23, 28.

La deuxième classe : $-0,1 < Ski < 0,1$. Les échantillons : 4, 8, 9, 13, 19, 20, 21, 22, 24, 27 sont asymétriques.

La troisième classe : $0,1 < Ski < 0,3$. On a une asymétrie positive pour les échantillons : 11, 14, 15, 16, 25.

La dernière classe : $Ski > 0,3$. Il y a une asymétrie très positive pour les échantillons : 6, 12, 18, 26.

V. TRANSPORT SEDIMENTAIRE

Introduction

L'hydrodynamique des plages, forcé par les vagues est une composante essentielle au transport sédimentaire. Les vagues apportent de l'énergie au sédiment, peuvent le mobiliser puis le transporter. Il en résulte des déplacements alternatifs des sédiments suivant les deux directions propres au littoral. La direction longitudinale localement parallèle au trait de côte et la direction transversale localement perpendiculaire au trait de côte. Les déplacements sédimentaires sont étroitement liés aux caractéristiques énergétiques des conditions environnementales (vent, houle, courant ...) (BLANCHARD et MOUKHLISS, 2007).

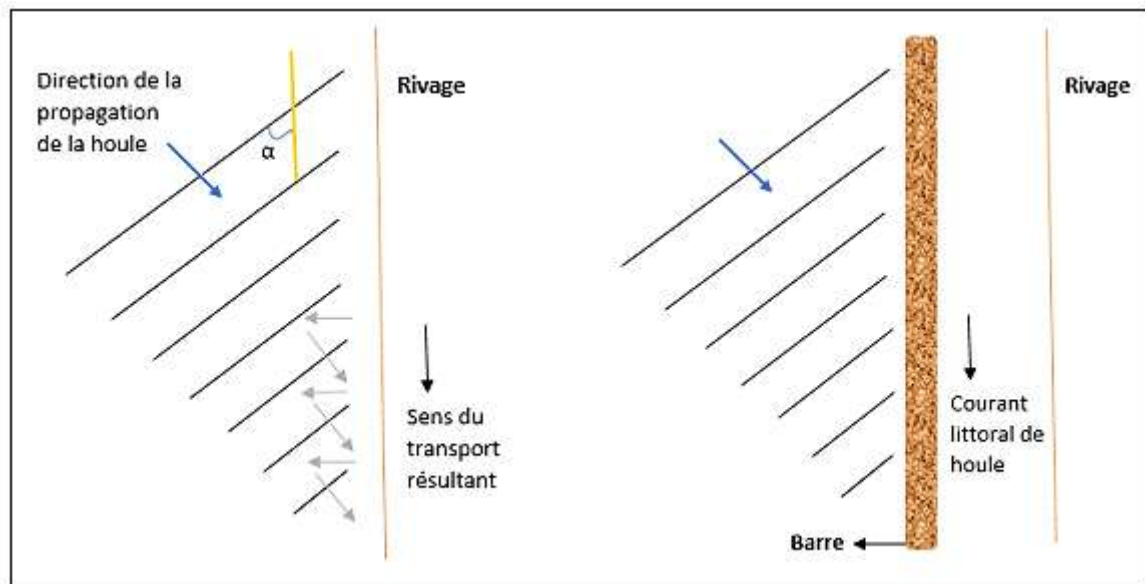


Figure V.1 : Schéma des transports par jet de rive et par courant littoral (BLANCHARD et MOUKHLISS, 2007).

1. Modes du transport sédimentaire

Les sédiments quand ils sont transportés, peuvent l'être de plusieurs façons.

- 1- Lorsque la vitesse augmente, à partir du seuil de début d'entraînement, les particules sédimentaires glissent, roulent en restant en contact avec le fond. Ce mode de transport sédimentaire est appelé transport tractif ou par charriage « bedload ».

- 2- Pour des vitesses plus fortes, les sédiments sont arrachés du fond par turbulence ou sous l'effet d'un courant suffisamment intense. Ce mode est appelé transport en suspension « suspendedload ».
- 3- Lorsque les vitesses augmentent encore, les sédiments au fond sont soumis à de très fortes contraintes et se déplacent à l'intérieur d'une couche fine (quelques diamètres de sable) de manière désorganisée. Favorisé par la présence de sédiments relativement grossiers ce mode de transport sédimentaire est appelé transport par lit fluidisé « sheet flow » (MAZIERES, 2014).

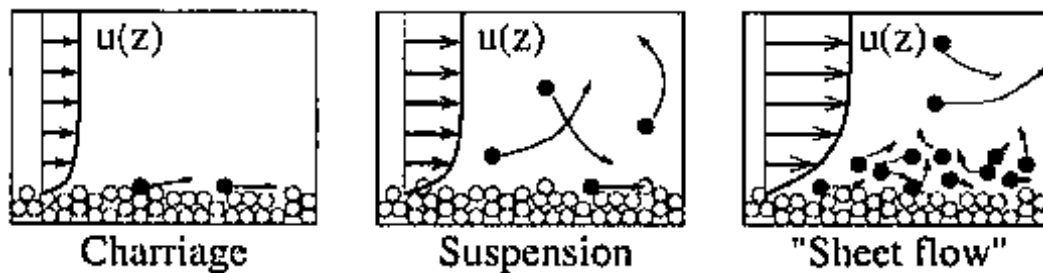


Figure V.2: Les trois modes de transport sédimentaire (CAMENEN, 2002 in MAZIERES, 2014).

2. Modélisation du transport sédimentaire

Le transport sédimentaire découle directement des conditions hydrodynamiques et des caractéristiques du sédiment. La première étape est d'analyser les résultats du transport pour différentes conditions de houle pour évaluer la façon dont le sable se déplace sur la zone étudiée. La deuxième étape c'est d'estimer la charge totale du sédiment déplacé.

Une étude bidimensionnelle du transport sédimentaire est mise en œuvre avec le modèle couplé MIKE 21/3. C'est un modèle numérique qui offre un couplage entre le modèle hydrodynamique HD avec le modèle de réfraction de vague SW et le modèle de transport de sable ST. Ce dernier simule le transport sédimentaire de sédiments non cohésifs (sable) sur le fond et en suspension sous l'action combinée des courants et de la houle.

Le transport de sable est déterminé par l'interpolation dans les tables sédimentaires. Ils doivent intégrer une condition quelconque de bathymétrie, courant, houle, ou sédiments prédite par le modèle intégré. Nous choisissons le diamètre du grain, la porosité et le coefficient de gradient comme conditions aux limites. Le nombre de pas fixé est 20 pas. La configuration de la simulation du transit sédimentaire est représentée dans les annexes.

2.1. Direction du transport sédimentaire

Les cartes ci-dessous représentent les résultats obtenus de la direction du transport sédimentaire pour une houle d'une période de 6s et pour les trois directions 45°, 315° et 360°.

L'analyse des cartes nous a permis de déterminer le cheminement du transport sédimentaire le long de la zone d'étude : les houles en provenance du Nord-Est vont engendrer une dérive littorale vers le Sud-Ouest (du large vers la cote), alors que les houles en provenance du Sud-Ouest et Nord, le transport s'effectue vers le Nord-Ouest.

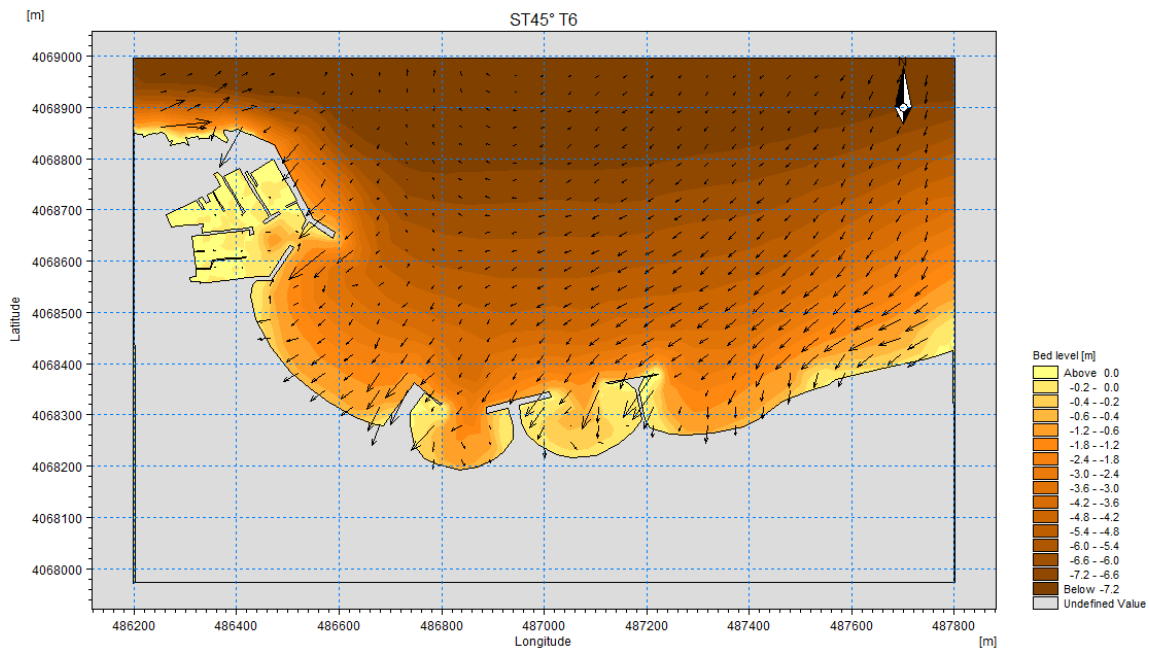


Figure V.3: Carte du transport sédimentaire engendré par une houle de secteur 45° et d'une période de 6s, Hs0=1.09m.

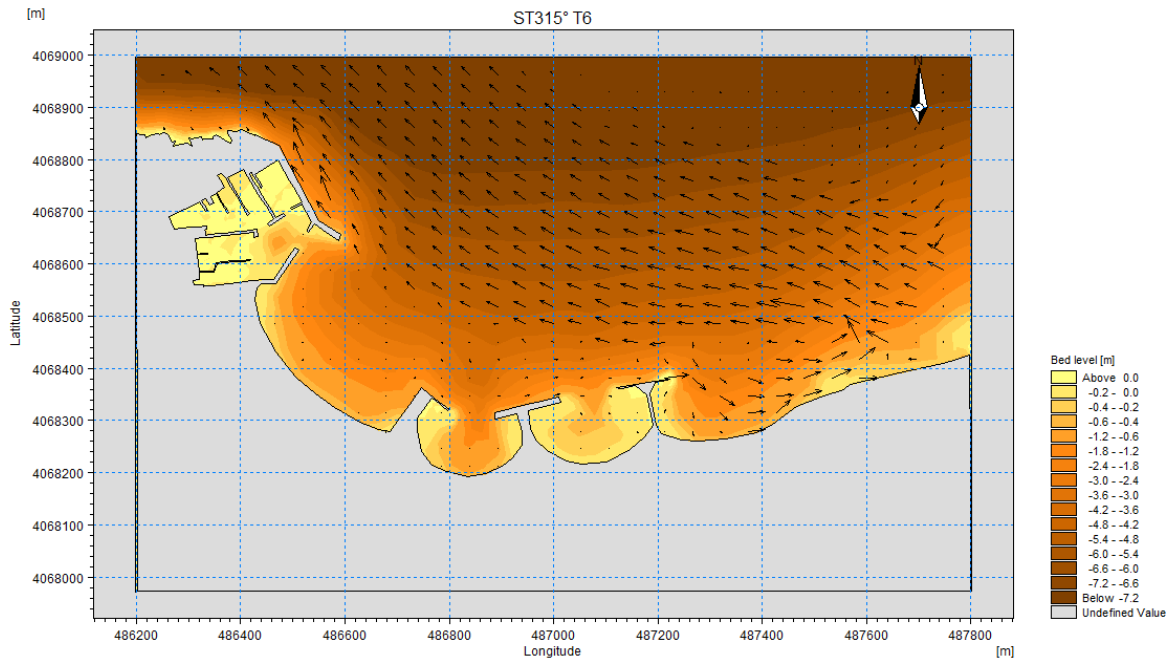


Figure V.4: Carte du transport sédimentaire engendré par une houle de secteur 315° et d'une période de 6s, $H_{s0}=1.10m$.

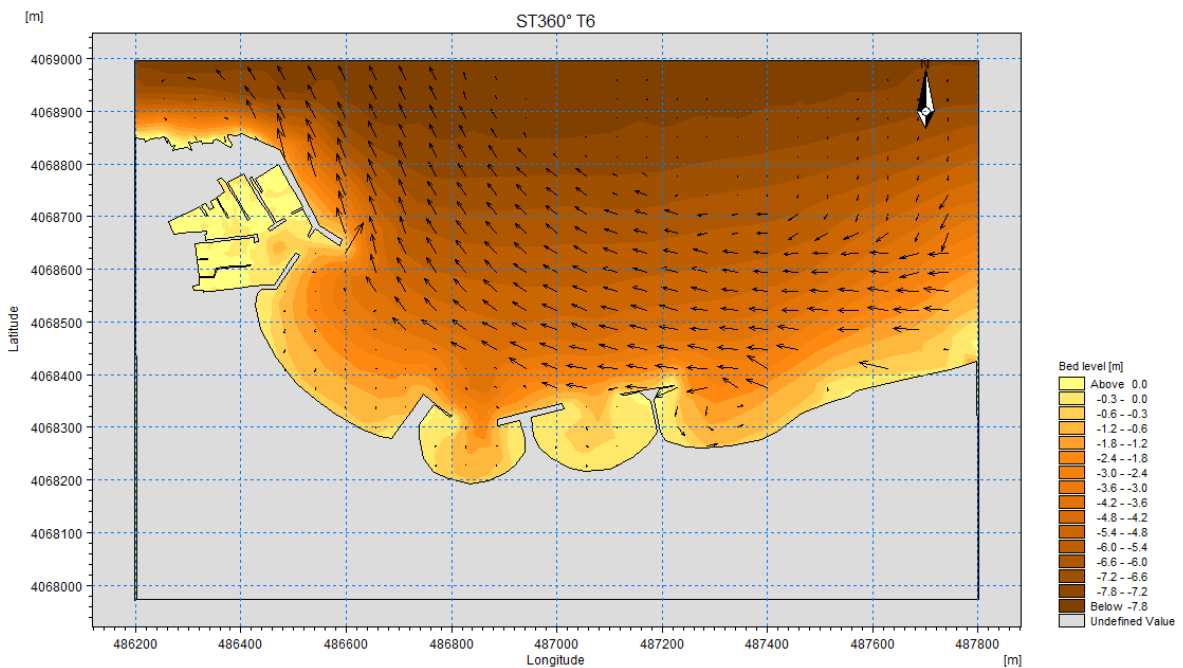


Figure V.5 : Carte du transport sédimentaire engendré par une houle de secteur 360° et d'une période de 6s, $H_{s0}=1m$.

En général, il y a une tendance de perte de sédiments vers le large, les houles provenant du Nord-Est, maintiennent l'équilibre de la plage en ramenant le sédiment du large vers la côte (par jet de rive). Pour les houles du Nord-Ouest, l'impact du port est significatif : les courants vers l'Est n'existent plus, c'est la principale cause de l'érosion sur ce secteur. Les cartes du transport

sédimentaire engendré par une houle d'une période de 8s et 10s pour les trois directions 45°, 315° et 360° sont représentées dans les annexes.

2.2. Charge totale du transport sédimentaire

Les cartes ci-dessous représentent les résultats obtenus sur la charge totale du transport sédimentaire pour une houle d'une période de 6s et pour les trois directions 45°, 315° et 360°.

L'analyse des cartes nous a permis de déterminer la charge du transport sédimentaire le long de la zone d'étude : les valeurs les plus élevées sont enregistrées au niveau de la plage Moretti et le long de la jetée principale du port.

Pour les houles d'une direction 315° et 360°, on enregistre une forte charge au niveau de la plage Moretti avec une valeur moyenne de 1576.8 m³/an/m, ce qui indique que l'érosion se fait à ce niveau par rapport au reste de la plage.

Par contre pour la houle de direction 45°, on remarque que la charge est plus faible, on enregistre la valeur la plus élevée 157.68 m³/an/m au niveau de la plage Moretti et au niveau des parties exposées des épis.

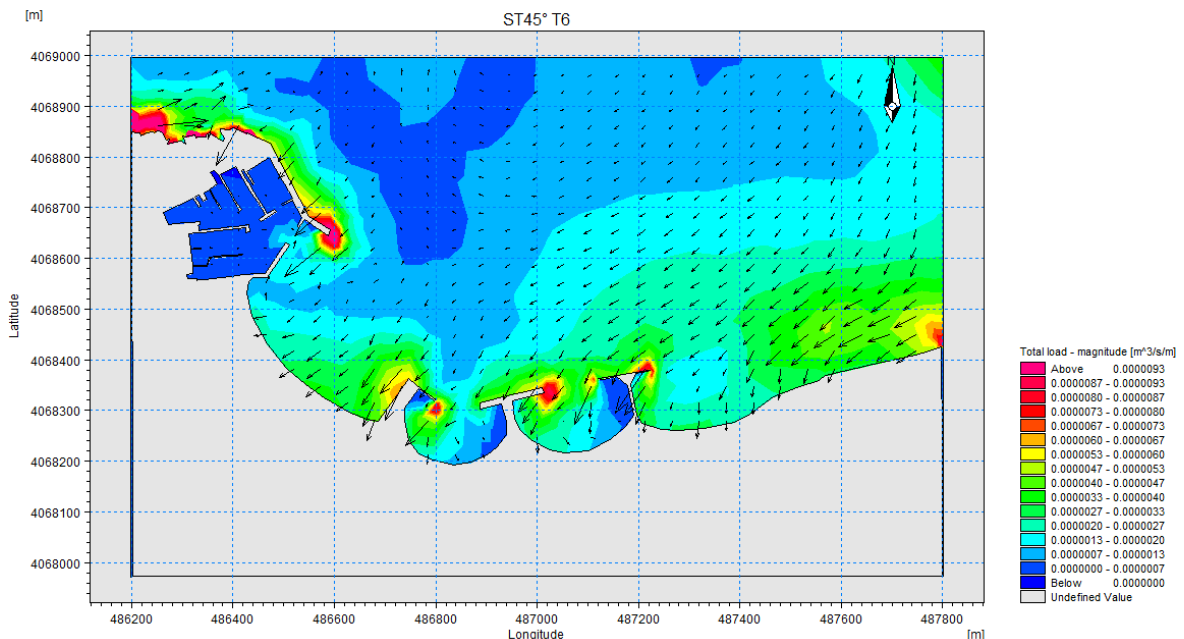


Figure V.6 : Carte de la charge totale du transport sédimentaire engendré par une houle de secteur 45° et d'une période de 6s, Hs₀=1.09m.

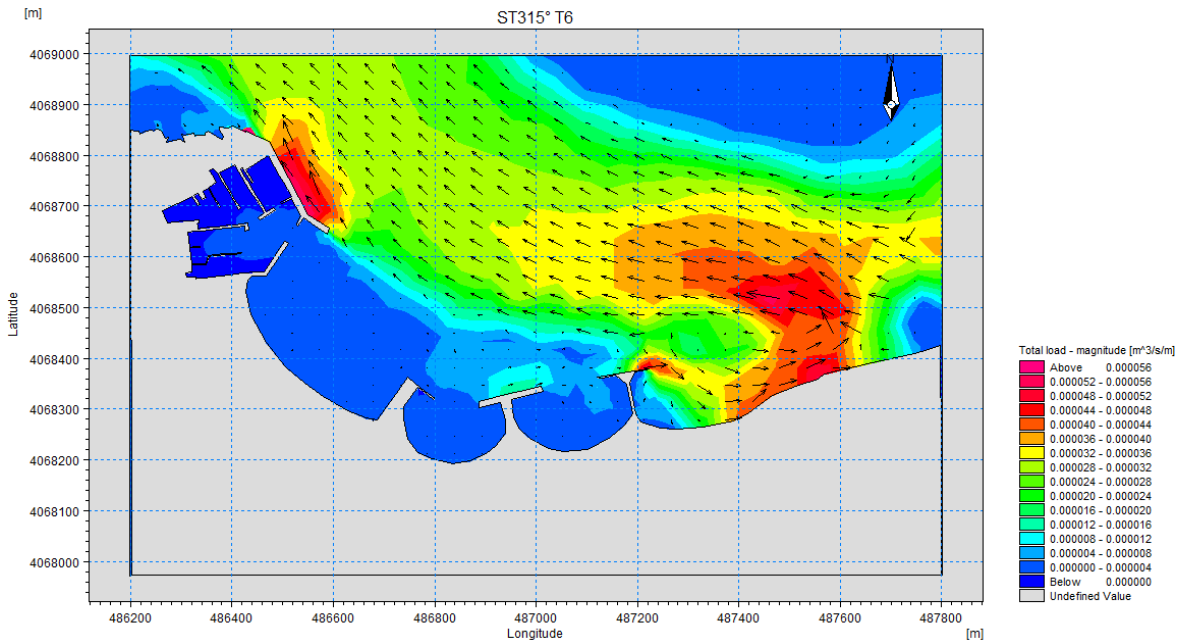


Figure V.7: Carte de la charge totale du transport sédimentaire engendré par une houle de secteur 315° et d'une période de 6s, $H_{s0}=1.10\text{m}$.

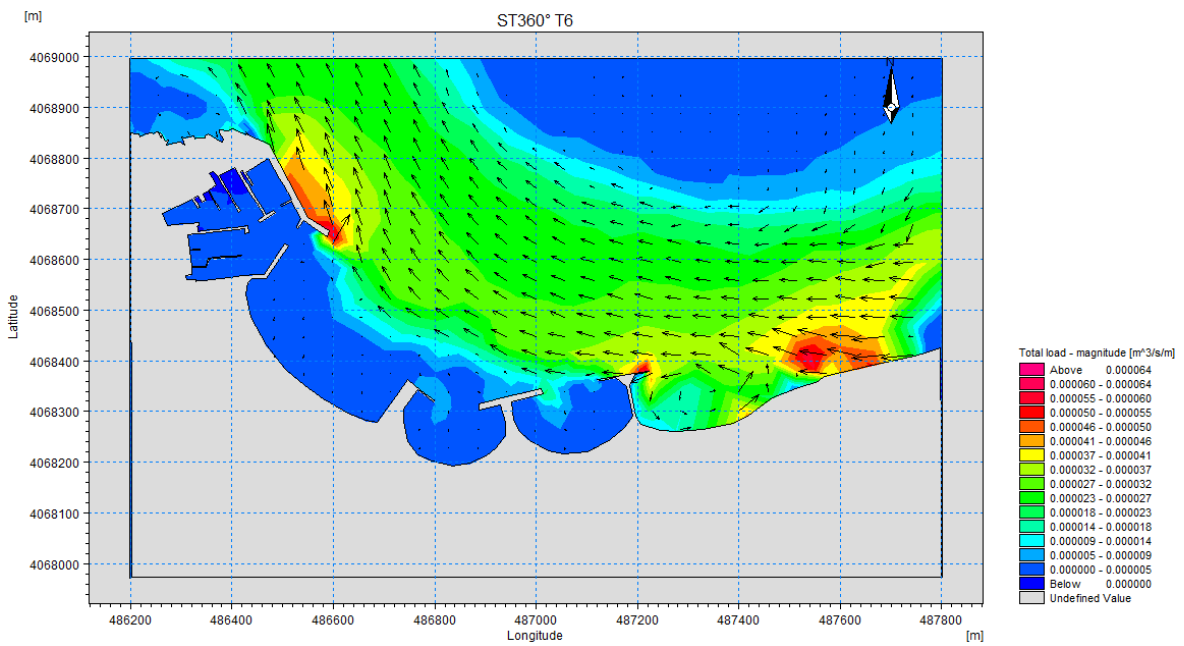


Figure V.8: Carte de la charge totale du transport sédimentaire engendré par une houle de secteur 360° et d'une période de 6s, $H_{s0}=1\text{m}$.

VI. ÉVOLUTION SPATIO-TEMPORELLE DES TRAITS DE COTE DE SIDI FREDJ

1. Evolution du trait de côte

Les études de l'évolution côtière examinent et explorent les raisons pour lesquelles la position et la nature du trait de côte se modifient d'un moment à l'autre. En général, il a été constaté que de nombreux littoraux mondiaux sont sous la menace de l'érosion et que le changement environnemental est la conséquence de l'occupation humaine des littoraux. Il faut noter que le contexte dynamique intervient dans la position du trait de côte. La détermination de la tendance de fond est difficile parce que la largeur de la plage varie selon l'échelle de temps, instantanée, quotidienne, saisonnière, décennale ou géologique, selon les marées, l'énergie de vagues, l'élévation du niveau de la mer et des facteurs humains. La surface des mers et des océans se modifie toujours en raison des mouvements des marées, des vagues, des courants, des variations de la température et de pression et de la salinité des eaux superficielles (CHAABAN, 2011). L'évolution du trait de côte dans l'ensemble de la côte de Sidi Fredj, en présence des interventions anthropiques, est examinée à plusieurs échéances dans le cadre de cette étude.

2. Erosion côtière et SIG

L'érosion côtière constitue une préoccupation croissante dans le monde entier. Elle est causée par des forces naturelles, telles que, les courants, les vagues, les tempêtes et les vents ainsi que les actions anthropiques. C'est un problème mondial ayant des implications économiques concernant le tourisme côtier et le développement durable. Les changements du trait de côte peuvent être utilisés comme un bon indicateur de présence de l'érosion côtière. En outre, les photographies aériennes verticales, les images satellitaires et les cartes fournissent une information convenable pour la cartographie et la classification environnementale, l'examen des effets tempête, les caractéristiques des vagues, l'occupation du sol, etc. Des cartes de vulnérabilité ont été obtenues pour plusieurs secteurs côtiers dans le monde par l'utilisation des (SIG), de l'analyse multivariée assistée par ordinateur et des modèles numériques. (CHAABAN, 2011).

3. Méthodes techniques utilisées

L'objectif de cette recherche est de développer une méthodologie générale basée sur l'approche de la ligne de base, pour mesurer le recul ou l'avancée du trait de côte dans la côte de Sidi Fredj. Le changement de sept traits de côte au cours des 14 années (2002-2016) a été calculé et représenté dans le logiciel ArcGIS10.2.2 à l'aide de l'outil DSAS, à partir des différentes images satellitaires de Google Earth Pro. Dans notre cas d'étude l'outil DSAS est utilisé pour calculer d'une part les statistiques de vitesse de changement, d'autre part les mouvements de la ligne du rivage pour une série chronologique définie (Annexes).

Mouvement net du trait de côte (NSM)

Le mouvement net de la ligne du rivage rapporte une distance, pas un taux. Il est associé avec les dates de seulement deux rives. Il rend compte de la distance entre les plus anciennes et les plus jeunes rivages pour chaque transect. Cela représente la distance totale entre l'ancienne et la plus récente des rives (THAN, 2015).

La méthode des points extrêmes (EPR)

L'indice EPR est utilisé pour prédire la vitesse d'évolution entre deux traits de côte. Cet indice est calculé selon la méthode des points extrêmes qui utilise la position la plus ancienne et la plus récente de chaque ligne de référence. La distance entre ces deux positions le long de chaque transect est divisée par le temps écoulé pour obtenir la vitesse d'évolution au niveau de ce point (IBRAHIMA et NDEBANE, 2010).

4. Evolution historique du trait de côte de sidi Fredj et la largeur des plages

L'estimation de la cinématique du trait de côte et la cartographie des taux d'évolution sont basées sur l'analyse des tables attributaires issues du DSAS.

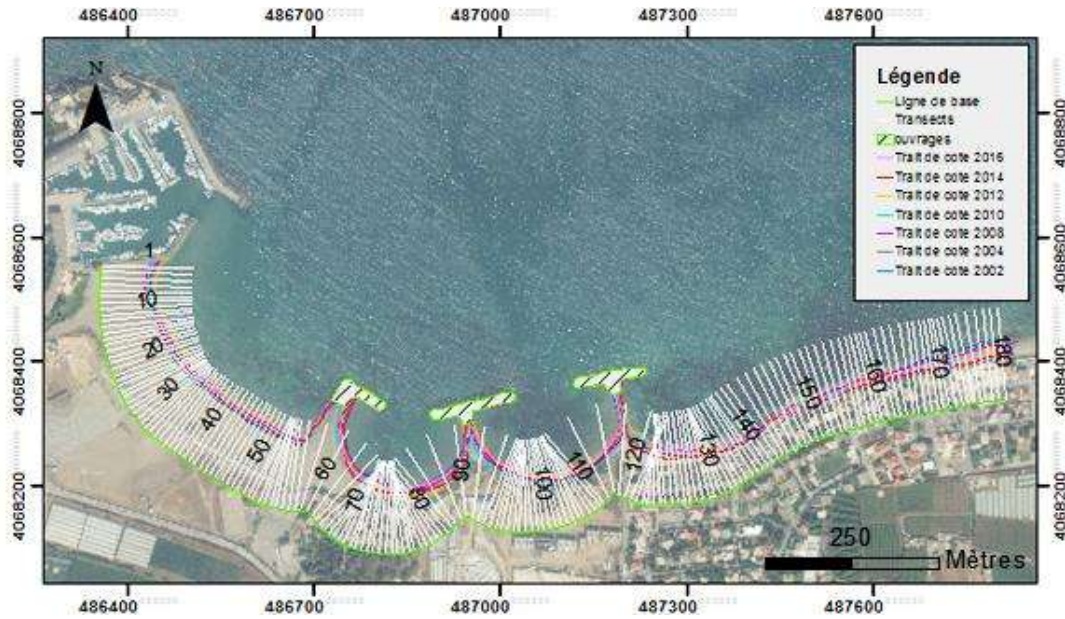


Figure VI.1: Carte de l'évolution de la partie Est de Sidi Fredj entre 2002 et 2016.

4.1. Les variations de la ligne de côte

L'analyse de l'évolution du trait de côte de Sidi Fredj, est basée sur le calcul de la distance entre la limite la plus récente et la plus ancienne (NSM), sur 182 transects.

Période 2002-2004 :

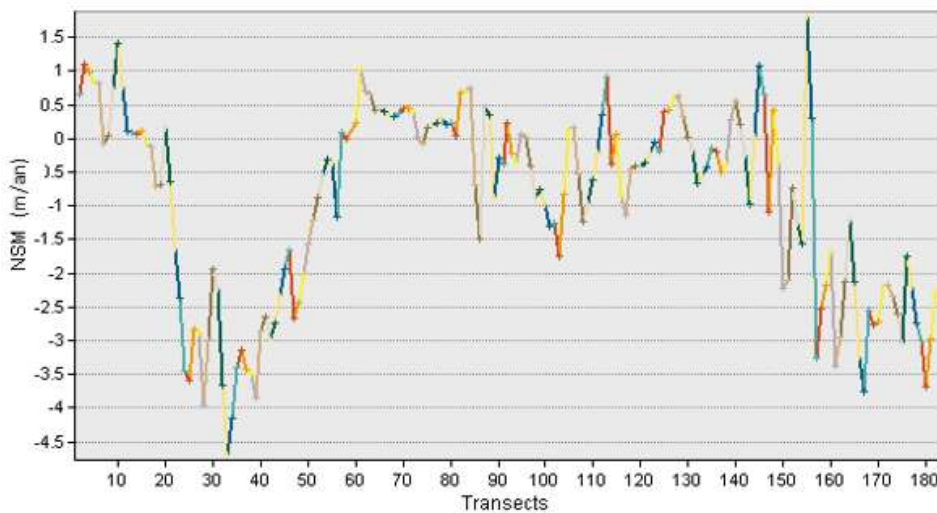


Figure VI.2 : Taux de variation annuel moyen sur la période 2002-2004.

Cette période a enregistré un recul de la ligne du rivage d'une moyenne de -2.39m/an, qui constitue l'ensemble des transects 20 à 60 et 155 à 182, à l'exception des transects entre 1 à 20 et 60 à 85 qui ont enregistré un engraissement d'une moyenne de 0.28m/an, le recul maximal a été

enregistré au niveau du transect 32 avec une valeur de -5m/an, par contre l'engraissement maximal est enregistré au niveau du transect 155 avec une valeur de 2m/an.

Période 2004-2008 :

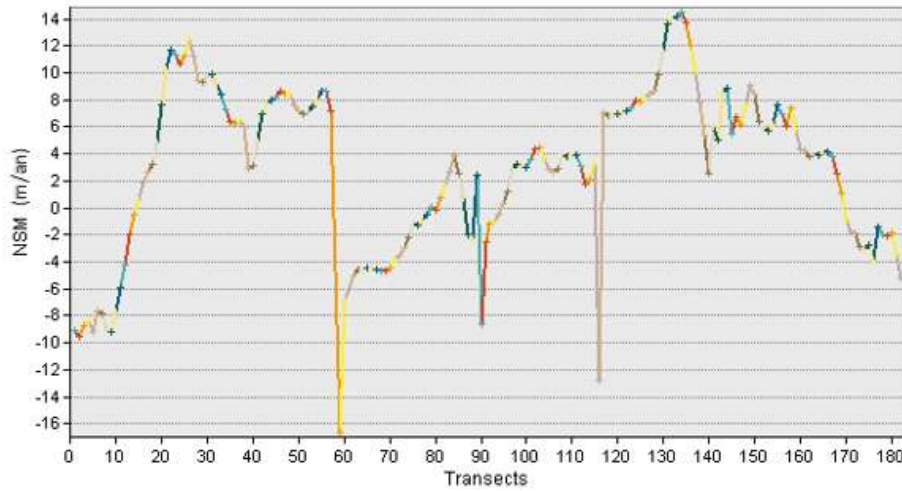


Figure VI.3: Taux de variation annuel moyen sur la période 2004-2008.

Un engraissement d'une moyenne de 6.31m/an est enregistré au niveau des transects 16-58 et 118-168, à l'exception des transects entre 1 à 16 et 58-80 et au-delà de 168 qui ont enregistré un recul de la ligne de rivage d'une moyenne de -4.39m/an. Le recul maximal a été enregistré au niveau du transect 59 avec une valeur de -16 m/an, par contre l'engraissement maximal est enregistré au niveau du transect 134 avec une valeur de 14.51m/an.

Période 2008-2010 :

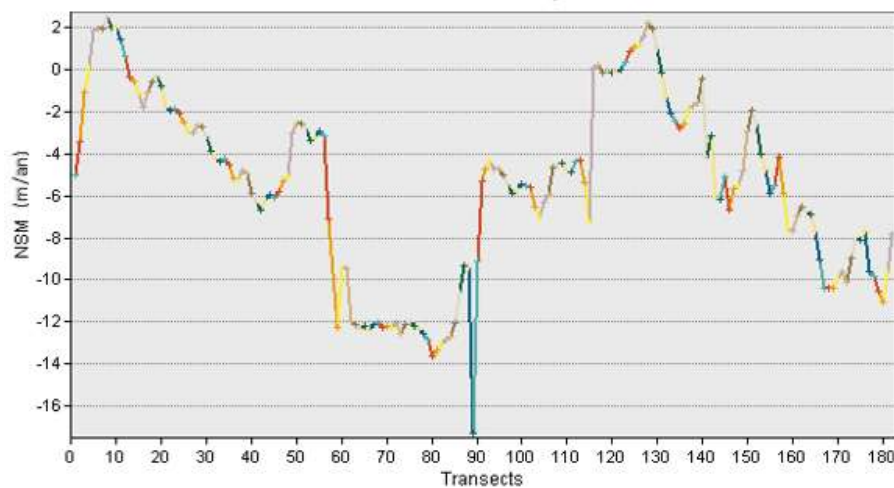


Figure VI.4: Taux de variation annuel moyen sur la période 2008-2010.

Cette période a connu un recul important de l'ordre de -6.20 m/an, le plus fort recul a été enregistré au transect 89, un engraissement a été enregistré au niveau des transects 4-12 et 122-130 d'une moyenne de 1.18m/an, avec deux pics au transects 8 et 128 de 2.51et 2.22m/an de suite.

Période 2010-2012 :

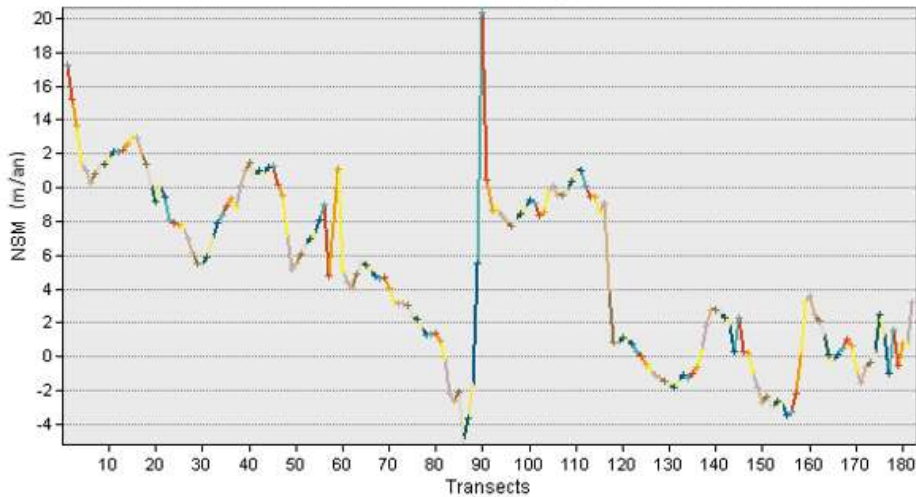


Figure VI.5 : Taux de variation annuel moyen sur la période 2010-2012.

Durant cette période, la plage a connu un engraissement du trait de côte de l'ordre de 6.53 m/an avec un pic d'engraissement de l'ordre de 20.35m/an enregistré au niveau du transect 90. Cependant certains transects ont enregistrés un recul d'une moyenne de -1.69m/an, dont la valeur la plus importante se trouve au niveau du transect 86 (-4.91m/an).

Période 2012-2014 :

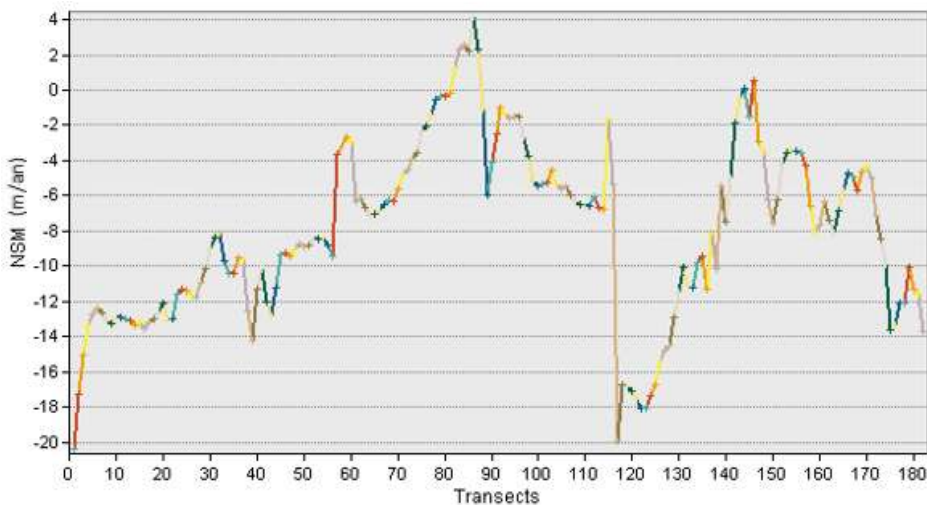


Figure VI.6: Taux de variation annuel moyen sur la période 2012-2014.

Cette période a enregistré un recul de la ligne de rivage d'une moyenne de -8.28m/an , qui constitue l'ensemble des transects 20 à 60 et 155 à 182, à l'exception des transects entre 1 à 20 et 60 à 85 qui ont enregistré un engraissement d'une moyenne de 2.47m/an , deux pics de recul ont été enregistrés au niveau du transect 1 et 117 avec des valeurs de -20.37 et 19.39 m/an de suite. L'engraissement maximal est enregistré au niveau du transect 86 avec une valeur de 4.18m/an .

Période 2014-2016 :

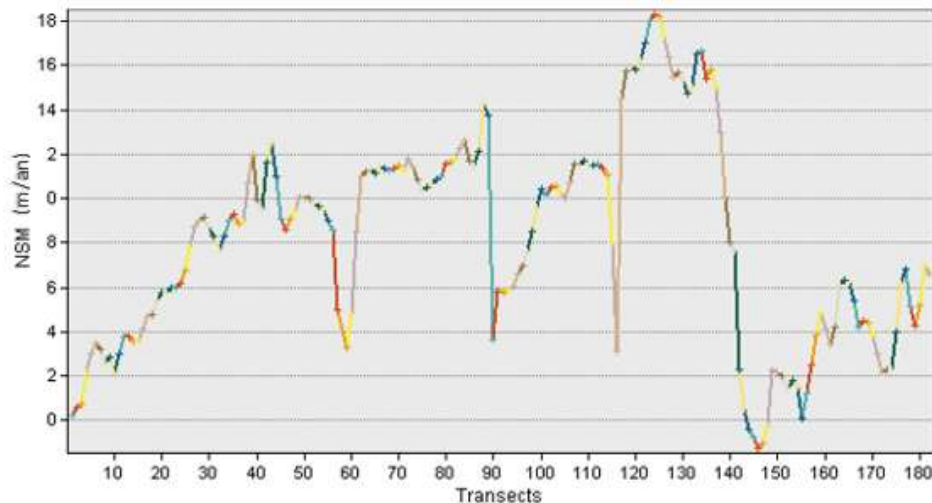


Figure VI.7: Taux de variation annuel moyen sur la période 2014-2016.

Cette période a enregistré une avancée de la ligne de rivage d'une moyenne de 8.40m/an , qui constitue l'ensemble des transects 1 à 143 et 149 à 182, à l'exception des transects 144 à 148 qui ont enregistré un recul d'une moyenne de -0.72m/an , l'engraissement maximal est enregistré au niveau du transect 124 avec une valeur de 18.28m/an .

Période 2002-2016 :

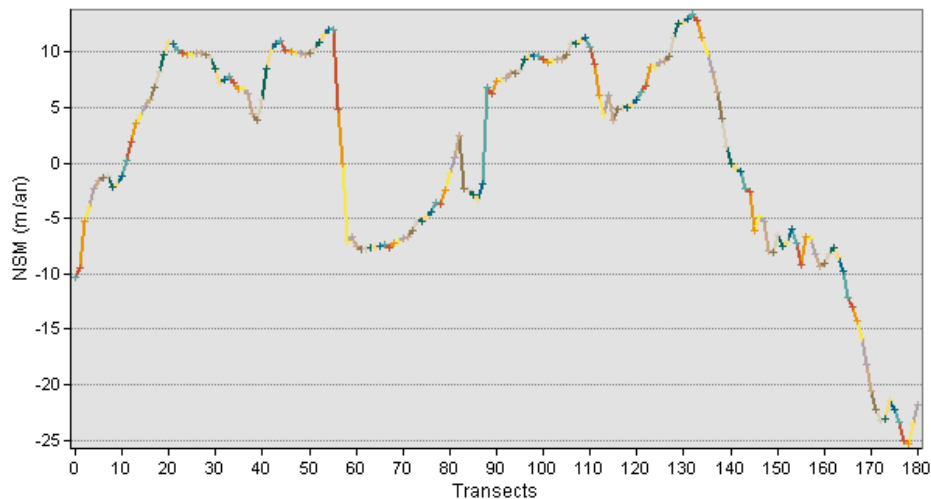
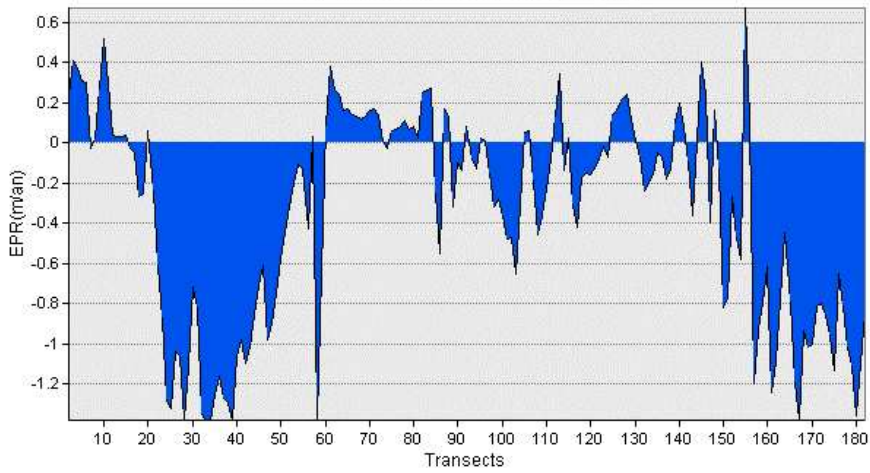
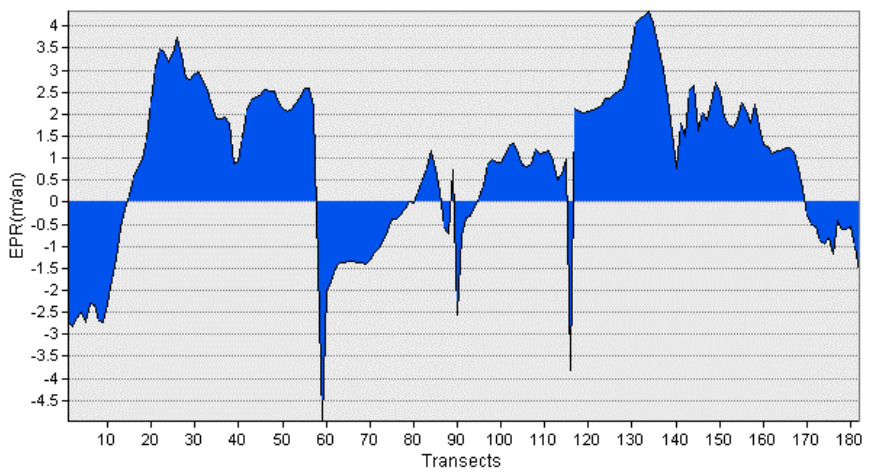
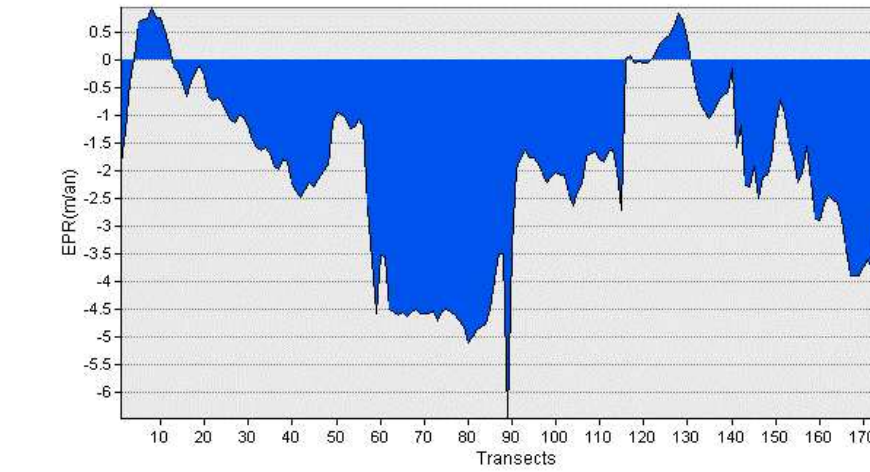


Figure VI.8: Taux de variation annuel moyen sur la période 2002-2016.

Sur toute la période d'étude (2002 jusqu'à 2016), on enregistre une stabilité moyenne dans l'évolution du trait de côte. Mais en analysant par transects on remarque un recul de la ligne de rivage d'une moyenne de -8.31m/an qui constitue l'ensemble des transects 1 à 11 et 59 à 88 et 141 à 182, à l'exception des transects 12 à 58 et 8 à 140 qui ont enregistré un engraissement d'une moyenne de 8.15m/an . Un pic de recul a été enregistré au niveau du transect 179 avec une valeur de -25.33m/an . Pour conclure, on remarque une forte érosion au niveau de la plage Moretti tout au long de ces quatorze ans. Ce qui prouve les résultats de la modélisation du transport sédimentaire.

4.2. La vitesse de l'évolution du trait de côte

Les figures ci-dessous présentent les diagrammes de la vitesse d'évolution des traits de côte basés sur le calcul de l'End Point Rate (EPR).

Diagramme de la vitesse d'évolution des traits de côte basé sur le calcul de l'End Point Rate (EPR)	Vitesse (m/an)
<p style="text-align: center;">Vitesse de l'évolution entre 2002 et 2004</p>  <p style="text-align: center;">Figure VI.9 : Vitesse de l'évolution du trait de côte entre 2002 et 2004.</p>	<p style="text-align: center;">+0.16m/an</p> <p style="text-align: center;">-0.60m/an</p>
<p style="text-align: center;">Vitesse de l'évolution entre 2004 et 2008</p>  <p style="text-align: center;">Figure VI.10: Vitesse de l'évolution du trait de côte entre 2004 et 2008.</p>	<p style="text-align: center;">+1.88m/an</p> <p style="text-align: center;">-1.31m/an</p>
<p style="text-align: center;">Vitesse de l'évolution entre 2008 et 2010</p>  <p style="text-align: center;">Figure VI.11: Vitesse de l'évolution du trait de côte entre 2008 et 2010.</p>	<p style="text-align: center;">+0.46m/an</p> <p style="text-align: center;">-2.30m/an</p>

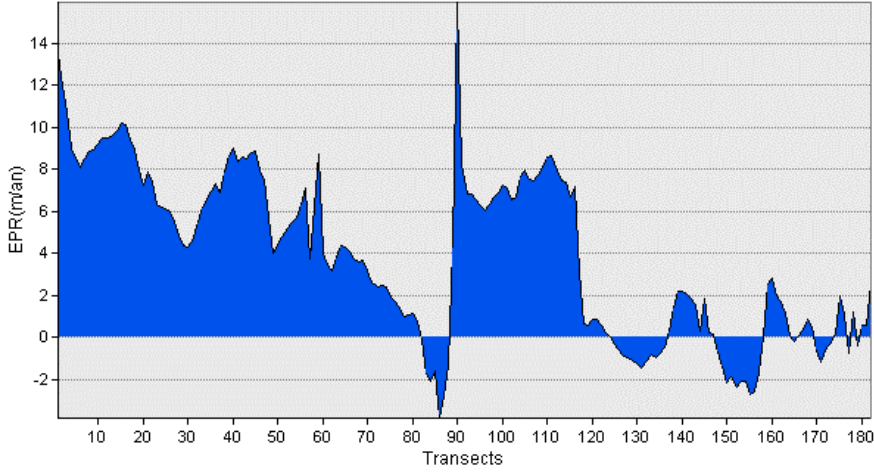
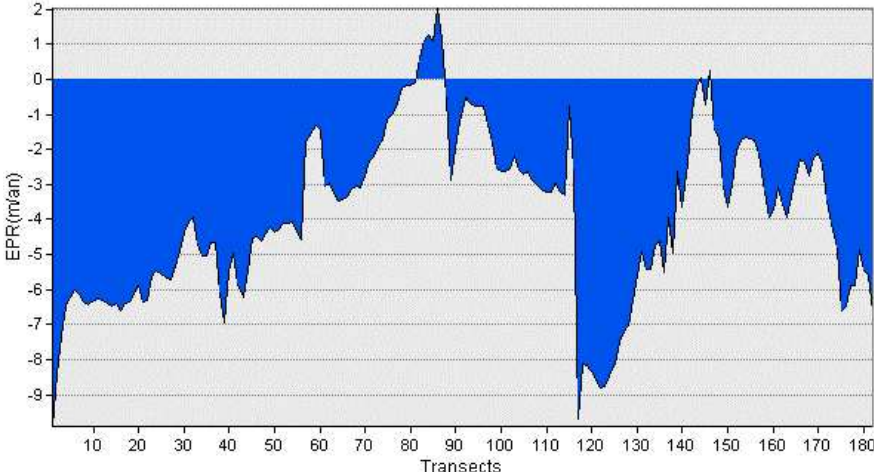
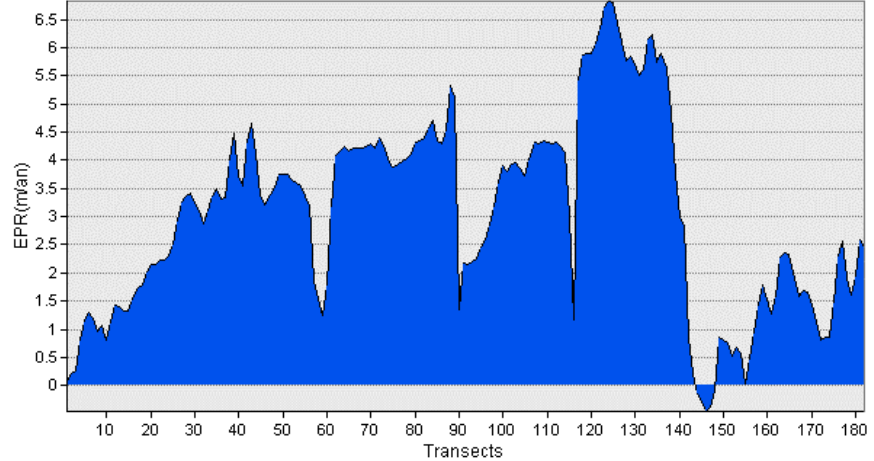
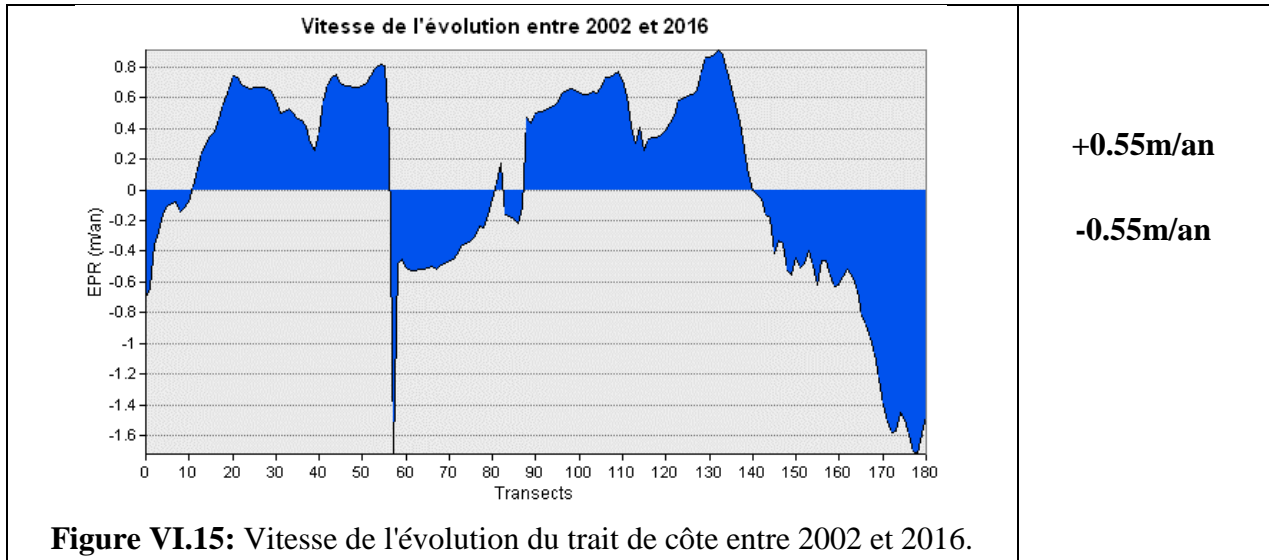
<p style="text-align: center;">Vitesse de l'évolution entre 2010 et 2012</p> 	<p style="text-align: center;">+5.12m/an</p> <p style="text-align: center;">-1.33m/an</p>
<p style="text-align: center;">Vitesse de l'évolution entre 2012 et 2014</p> 	<p style="text-align: center;">+1.2m/an</p> <p style="text-align: center;">-4.03m/an</p>
<p style="text-align: center;">Vitesse de l'évolution entre 2014 et 2016</p> 	<p style="text-align: center;">+3.14m/an</p> <p style="text-align: center;">-0.27m/an</p>

Figure VI.12: Vitesse de l'évolution du trait de côte entre 2010 et 2012.

Figure VI.13 : Vitesse de l'évolution du trait de côte entre 2012 et 2014.

Figure VI.14: Vitesse de l'évolution du trait de côte entre 2014 et 2016.



4.3. L'évolution des surfaces des plages

Les bilans sédimentaires pour chaque période étudiée sont calculés à partir de la somme des surfaces en érosion et en accrétion, ils permettent de mettre en évidence si, dans l'ensemble le littoral est en recul ou en avancée, par la suite les tendances d'érosion et de dépôt sont analysées.

Période 2002-2004 :

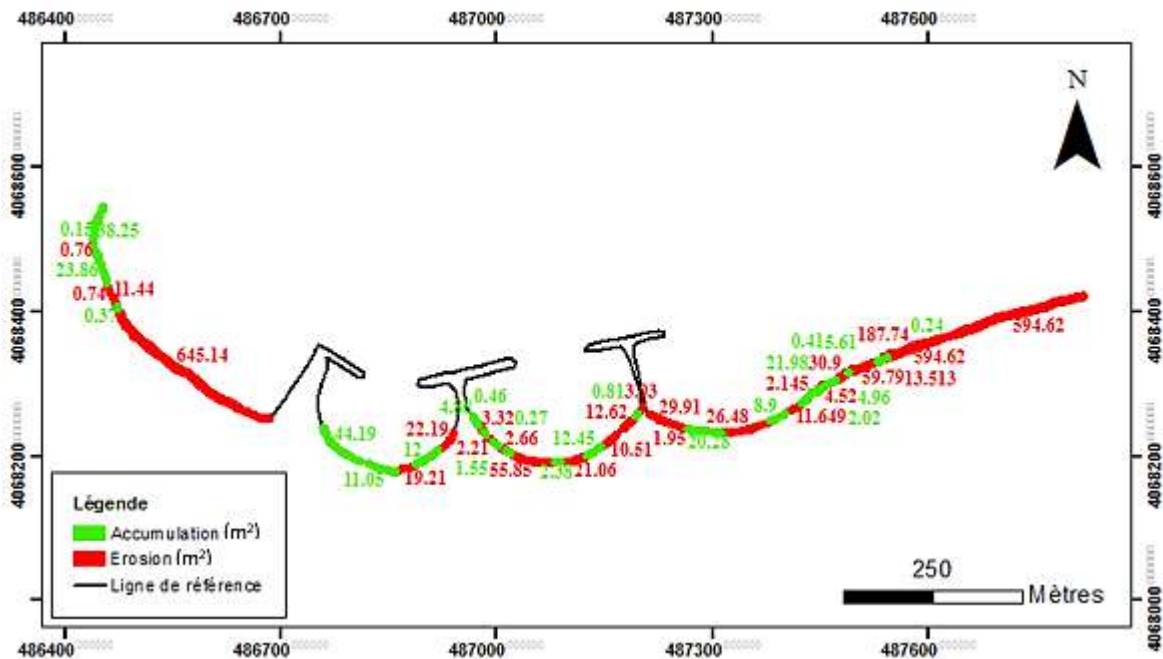


Figure VI.16 : Carte de l'évolution des surfaces d'érosion et d'accrétion de la côte de Sidi Fredj entre 2002 et 2004.



Figure VI.17 : Histogramme du bilan sédimentaire de la côte de Sidi Fredj entre 2002 et 2004.

L'analyse de l'histogramme montre que dans notre zone d'étude, l'érosion -1774.96 m^2 a pris l'avantage sur l'engraissement 217.16 m^2 . En termes de bilan, la zone présente un bilan négatif avec une valeur de -1557.8 m^2 .

Période 2004-2008 :

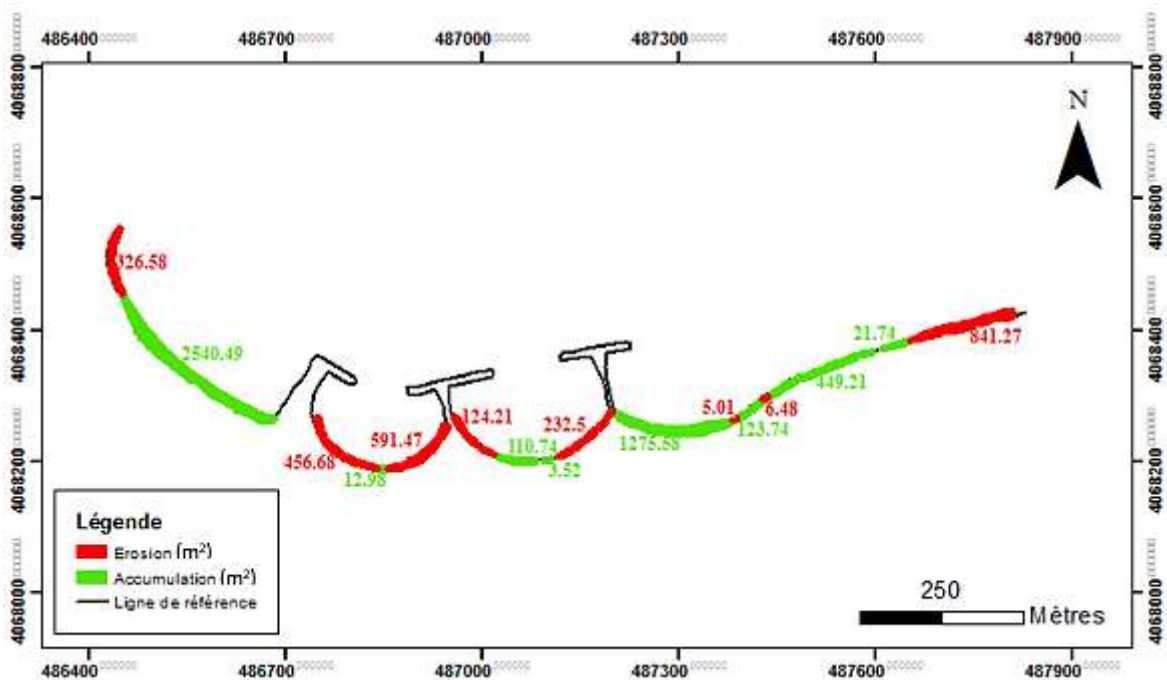


Figure VI.18 : Carte de l'évolution des surfaces d'érosion et d'accréation de la côte de Sidi Fredj entre 2004 et 2008.



Figure VI.19 : Histogramme du bilan sédimentaire de la côte de Sidi Fredj entre 2004 et 2008.

L'analyse de l'histogramme montre que dans notre zone d'étude, l'accumulation 4538.03 m^2 a pris l'avantage sur l'érosion -2584.25 m^2 . En termes de bilan, la zone présente un bilan positif avec une valeur de 1953.78 m^2

Période 2008-2010 :

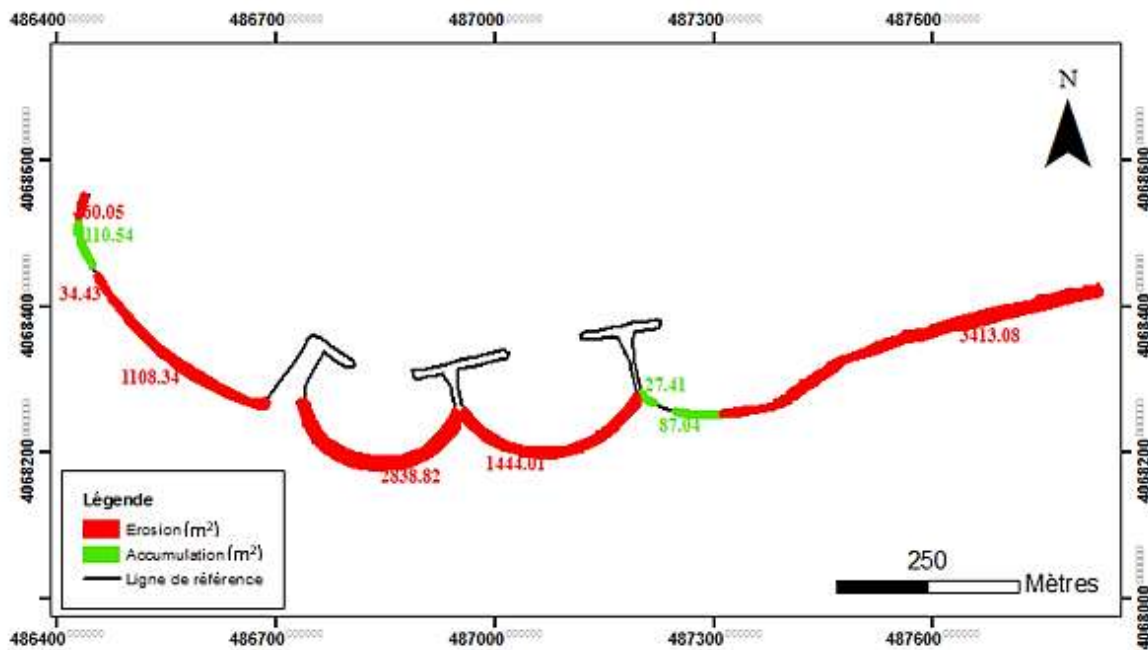


Figure VI.20: Carte de l'évolution des surfaces d'érosion et d'accrétion de la côte de Sidi Fredj entre 2008 et 2010.



Figure VI.21 : Histogramme du bilan sédimentaire de la côte de Sidi Fredj entre 2008 et 2010.

L'analyse de l'histogramme montre que, l'érosion -8898.75 m^2 a pris l'avantage sur l'engraissement 224.99 m^2 . En termes de bilan, la zone présente un bilan négatif avec une valeur de -8673.76 m^2 .

Période 2010-2012 :

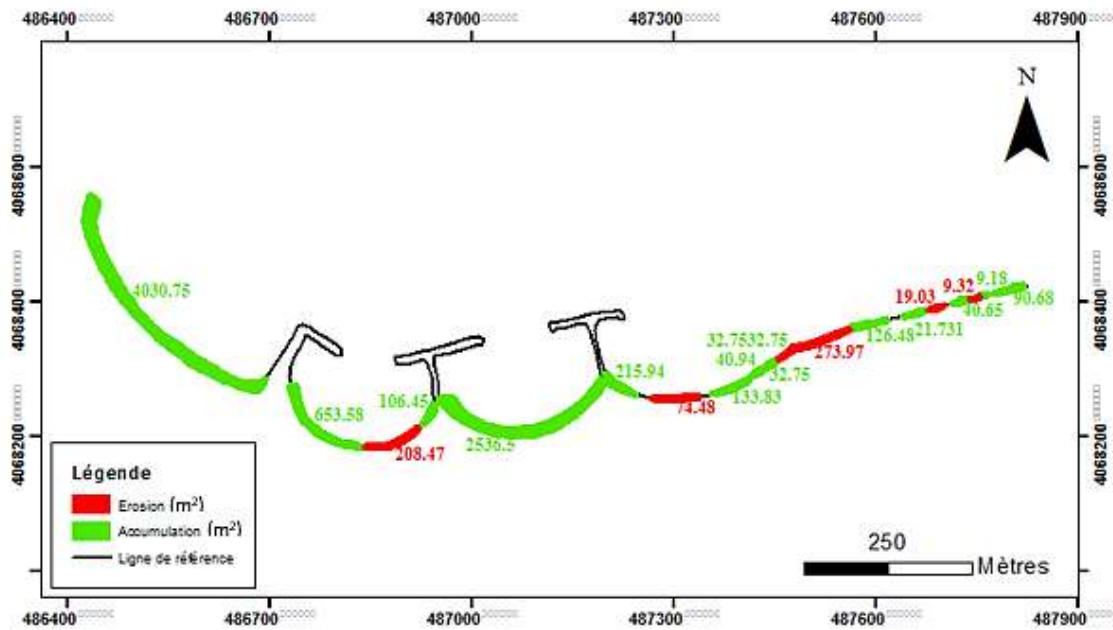


Figure VI.22 : Carte de l'évolution des surfaces d'érosion et d'accrétion de la côte de Sidi Fredj entre 2010 et 2012.



Figure VI.23: Histogramme du bilan sédimentaire de la côte de Sidi Fredj entre 2010 et 2012.

L'analyse de l'histogramme montre que, l'accumulation 8039.51 m^2 a pris l'avantage sur l'érosion -585.29 m^2 . En termes de bilan, la zone présente un bilan positif avec une valeur de 7454.22 m^2 .

Période 2012-2014 :

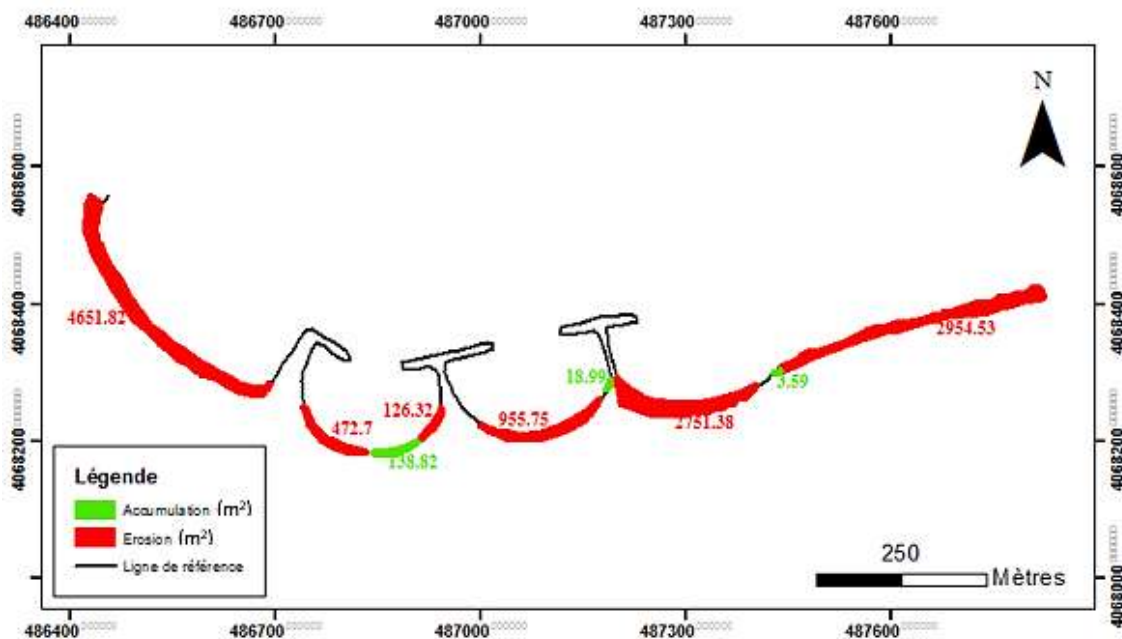


Figure VI.24 : Carte de l'évolution des surfaces d'érosion et d'accrétion de la côte de Sidi Fredj entre 2012 et 2014.



Figure VI.25 : Histogramme du bilan sédimentaire de la côte de Sidi Fredj entre 2012 et 2014.

L'analyse de l'histogramme montre que dans notre zone d'étude, l'érosion -11912.52 m^2 a pris l'avantage sur l'engraissement 161.42 m^2 . En termes de bilan, la zone présente un bilan négatif avec une valeur de -11751.1 m^2 .

Période 2014-2016 :

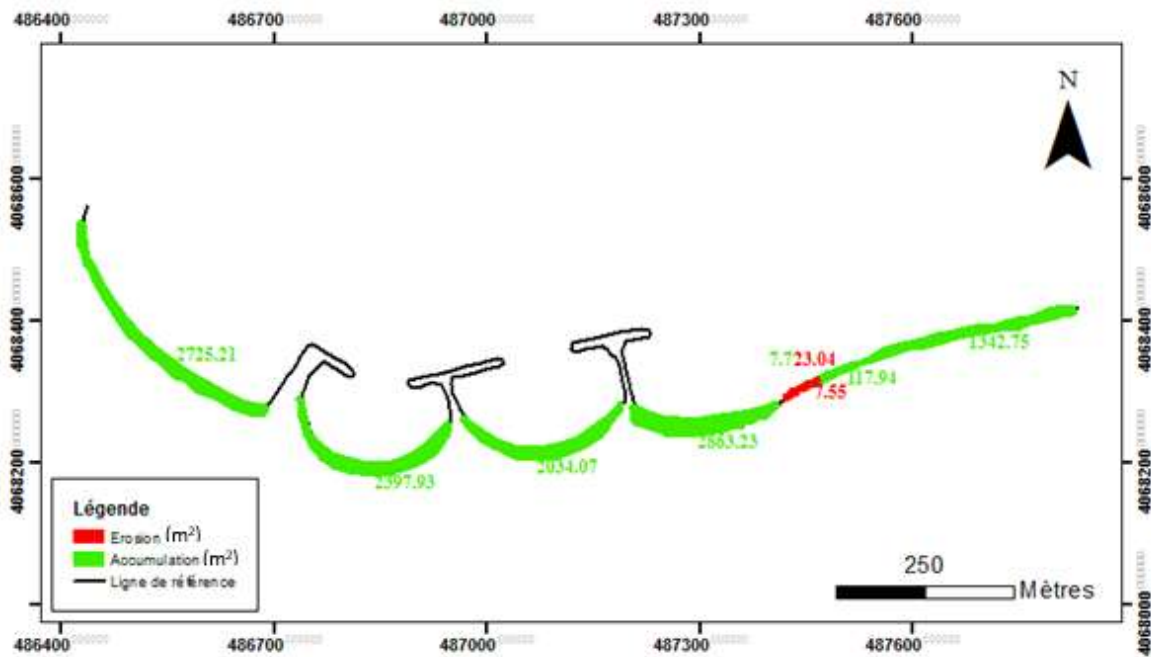


Figure VI.26: Carte de l'évolution des surfaces d'érosion et d'accrétion de la côte de Sidi Fredj entre 2014 et 2016.

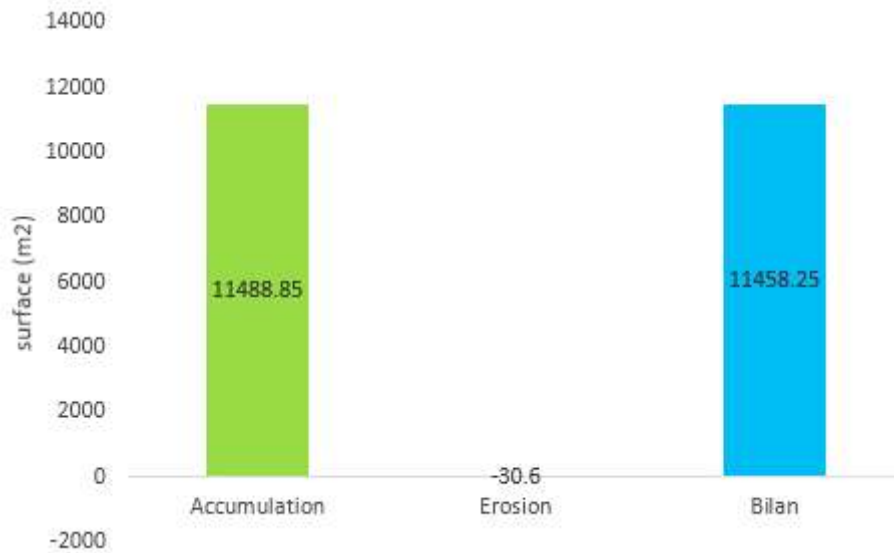


Figure VI.27 : Histogramme du bilan sédimentaire de la côte de Sidi Fredj entre 2014 et 2016.

L'analyse de l'histogramme montre que dans notre zone d'étude, l'accumulation 11488.85 m² a pris l'avantage sur l'érosion -30.6 m². En termes de bilan, la zone présente un bilan positif avec une valeur de 11458.25 m².

Période 2002-2016 :

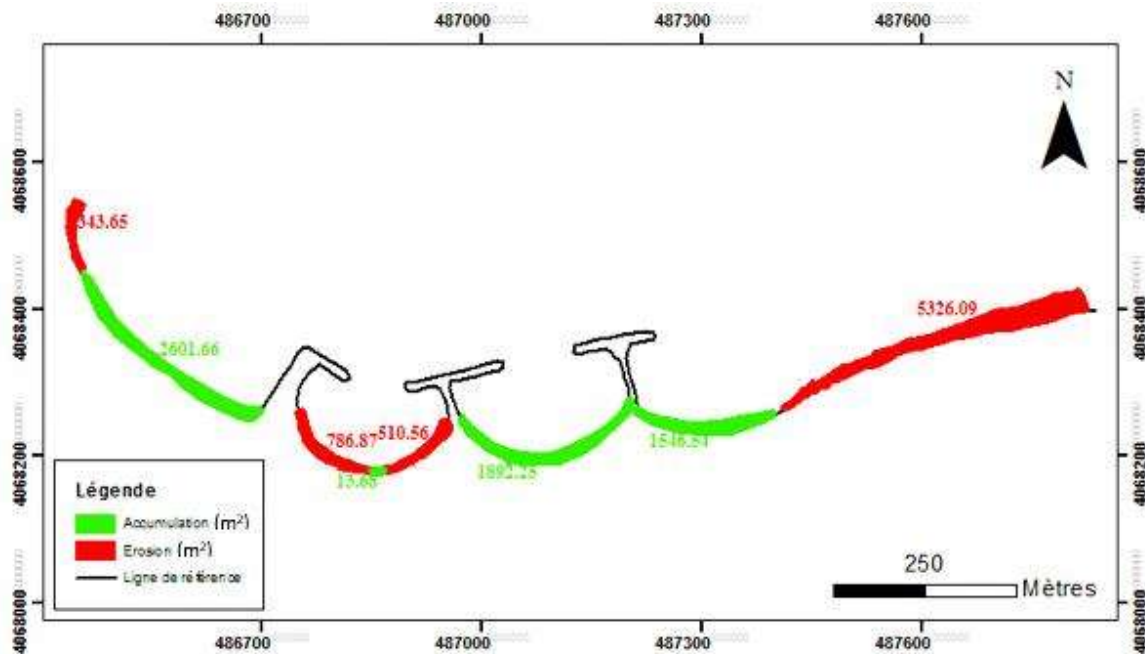


Figure VI.28: Carte de l'évolution des surfaces d'érosion et d'accrétion de la côte de Sidi Fredj entre 2002 et 2016.

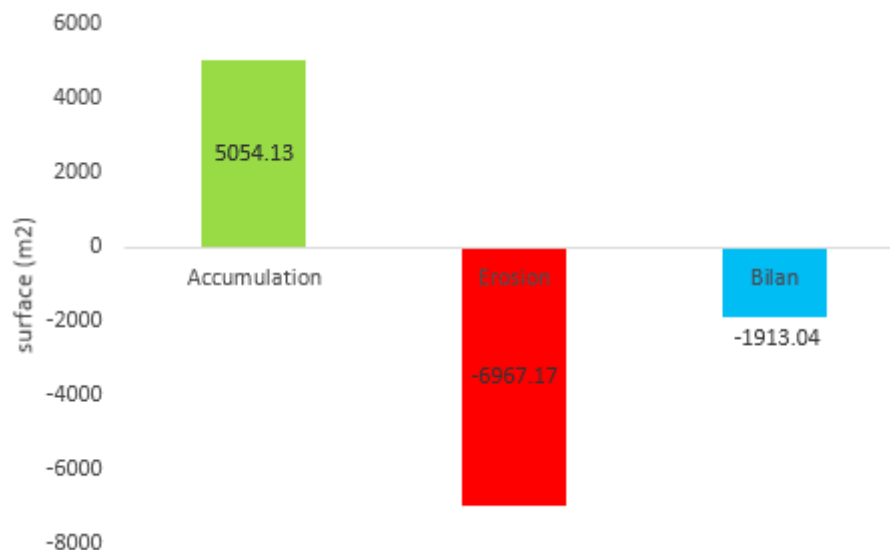


Figure VI.29 : Histogramme du bilan sédimentaire de la côte de Sidi Fredj entre 2002 et 2016.

A la fin, on a analysé les surfaces sur une période de 14ans (2002-2016), pour faire une estimation globale du bilan sédimentaire dans la zone de Sidi Fredj. L'analyse de l'histogramme montre, que l'érosion -6967.17 m^2 a pris l'avantage sur l'engraissement 5054.13 m^2 . En termes de bilan, la zone présente un bilan négatif avec une valeur de -1913.04 m^2 . Cela ne présente pas une grande perte de sédiments, par contre on peut considérer que notre zone d'étude présente un équilibre sédimentaire (il y a un déplacement des zones d'accumulation et d'érosion). L'analyse des histogrammes à travers les différentes périodes montre une itinérance de perte et de gains à travers toute la plage, c'est ce qu'il a maintien en équilibre. Cela est dû aux facteurs hydrodynamiques de la zone (houle et courant), ainsi que le dragage du port qui déstabilise la dynamique sédimentaire.

5. Etude d'impact de l'infrastructure portuaire sur la cote de sidi Fredj

Les ouvrages portuaires devraient avoir pour principe d'apporter le minimum de perturbations sur l'équilibre sédimentaire. Malheureusement, ce critère est parfois difficilement réalisable car de tels ouvrages en avançant assez fortement en mer coupent le transit sédimentaire, entraînant des perturbations qui peuvent être importantes. Dans les littoraux à fort transit, la construction de ce type d'ouvrages est souvent à l'origine d'aléas conséquents qui peuvent menacer les ouvrages eux-mêmes et leurs sites environnants (OULD El MOUSTAPHA, 2000).

Comme c'est le cas sur la côte de Sidi Fredj, la construction du port (1971) a perturbé l'hydrodynamique du site. Cela a modifié la direction de la houle dominante Nord-Ouest, ce qui a accentué le transit sédimentaire et par la suite l'érosion irréversible des plages se situant à l'Est

de la zone. Afin d'éviter l'ensablement de la passe d'entrée du port et diminuer l'érosion, le LEM a réalisé une série de trois épis (deux en forme de T avec des longueurs de 260m et 290m et le troisième épi en forme L de 220m de long) d'une équidistance de 150m. Ils se situent entre les plages érodées et la zone calme, pour permettre aux sédiments en transit de se déposer.

Ces épis ont permis d'assurer une protection locale, ils ont diminué le transit et par la suite l'ensablement du port. Une zone d'accumulation s'est créée entre le port et les épis mais la zone en aval des épis s'est retrouvée plus érodée, ce qui a modifié la bathymétrie de zone ainsi que l'évolution du trait de côte. Alors ces épis n'ont pas répondu à la raison pour laquelle ils ont été implantés, par contre ils ont accentué la situation surtout au niveau de la plage Moretti.

CONCLUSION GENERALE

Au travers l'exemple du port de Sidi Fredj, l'influence d'un ouvrage portuaire sur un littoral soumis à un fort transit sédimentaire est étudiée. L'objectif de cette mémoire est de proposer une modélisation numérique des vagues, des courants induits, du transport sédimentaire et de l'évolution de la morphologie des plages sableuses de Sidi Fredj.

Ces simulations numériques ont été engagées à l'aide du logiciel MIKE 21, les résultats de la modélisation ont pu nous donner le sens de la propagation de des houles avec leurs hauteurs significatives ainsi que la direction et les vitesses des courants induits par ces houles, qui sont généralement faibles d'une direction Nord-Ouest.

Ensuite, une étude granulométrique a été établie afin de connaître la répartition des sédiments dans cette zone. La synthèse des résultats obtenus à partir des différents paramètres granulométriques des sables de Sidi Fredj montrent que : Les sables de plage sont des sables très fins, très bien classés, caractérisés par une asymétrie vers les grossiers. Alors que les sables des fonds sont des sables très fins, très bien classés (sauf la partie en dessus du deuxième épi), ils montrent une légère asymétrie vers les grandes tailles. Cette distribution est le résultat de plusieurs facteurs tel que la dérive littorale qui joue un rôle important dans le transport longitudinal, le déferlement sur la côte qui entraîne les sables sur l'estran par jet de rive et le courant de retour qui les mobilise vers le fond.

Puis la modélisation du transit sédimentaire a été effectuée avec le modèle couplé MIKE21/3, Les résultats montrent que le transport sédimentaire est d'une direction Nord-Ouest. C'est ce qui contribue d'une façon directe à l'ensablement de la passe d'entrée du port.

Afin de connaître l'impact de la construction du port de Sidi Fredj sur l'évolution du trait de côte, l'évolution historique du site a été reconstituée en utilisant des images satellitaires. Cette reconstitution a permis d'apprécier la dynamique du trait de côte entre 2002 et 2016, on estime une érosion au niveau de la plage Moretti et une accumulation au niveau de la plage Est de Sidi Fredj.

A la fin, pour rétablir le transit littoral le long de la côte de Sidi Fredj et maintenir ainsi l'équilibre de la plage menacée par l'arrêt des sédiments (plage Moretti), on peut proposer un dispositif de « by-passing ». Le principe consiste à prélever les matériaux déposés à l'amont du port et le déposer à l'aval des épis. Le prélèvement se fait à l'aide d'une drague qui refoule à terre les sédiments, à l'aide d'une conduite et de stations de pompes intermédiaires.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AMGHAR, L., SAHRAOUI, E. (2005). *Etude géologique et géotechnique d'un projet de complexe hôtelier à Staoueli (Alger)*. Mémoire d'Ingénieur. Alger :U.S.T.H.B, p.p. 24-25

BELLAHSSENE, Y., MESSAOUDI, S. (2005). *Etude bathymétrique, sédimentologique et pollution par les métaux lourds de la baie d'El Djamila*. Mémoire d'Ingénieur. Alger : ISMAL, 89 p.

BERNI, C. (2011). *Processus de mobilisation et de transport de sédiments dans la zone de déferlement*. Thèse de doctorat. Océan, Atmosphère, Hydrologie. France : Université de Grenoble, p.p. 23-24

BERTIN, X. (2015). *Dynamique hydro-sédimentaire des cotes dominées par la houle et par la marée*. Mémoire d'Ingénieur. France : Université de La Rochelle, p.p. 31-32

BLANCHARD, V. (2007). *Mécanismes de transport des sédiments : Erosion et dépôt, appliqués au Littoral Nord-Pas de Calais*. Mémoire d'Ingénieur. France : Ecole des mines de Douai, p.p. 32-46

BONFILLE, R. (1992). *Cours d'Hydraulique Maritime*. Paris. Masson. 208 p.

BONTE, Y. (2013). *Effet du swash sur l'érosion d'un escarpement de haut de plage*. Thèse de doctorat. Terre Solide et Enveloppes Superficielles. France : Université de Caen / Basse Normandie, p.p. 9-19

BOUTIBA, Z., TALEB, M.Z., BOUDERBALA, M. et al. (1996). La pollution : menace sur le peuplement marin en Méditerranée. 3ème Colloque national Climat - Environnement «L'environnement côtier». n°25, p.p. 59-64

CHAABAN, F. (2011). *Apport potentiel des systèmes d'informations géographique (SIG) pour une meilleure gestion d'un littoral dans une optique de développement durable*. Thèse de doctorat. Science et technologie. France : Université de Lille, p.p. 68-78

CORDIER, E. (2007). *Dynamique hydrosédimentaire du récif frangeant de l'Hermitage/ La saline (La Réunion) : Processus physiques et flux sédimentaires*. Thèse de Doctorat. Océanographie physique-Sédimentologie. France : Université de la Réunion, 193 p.

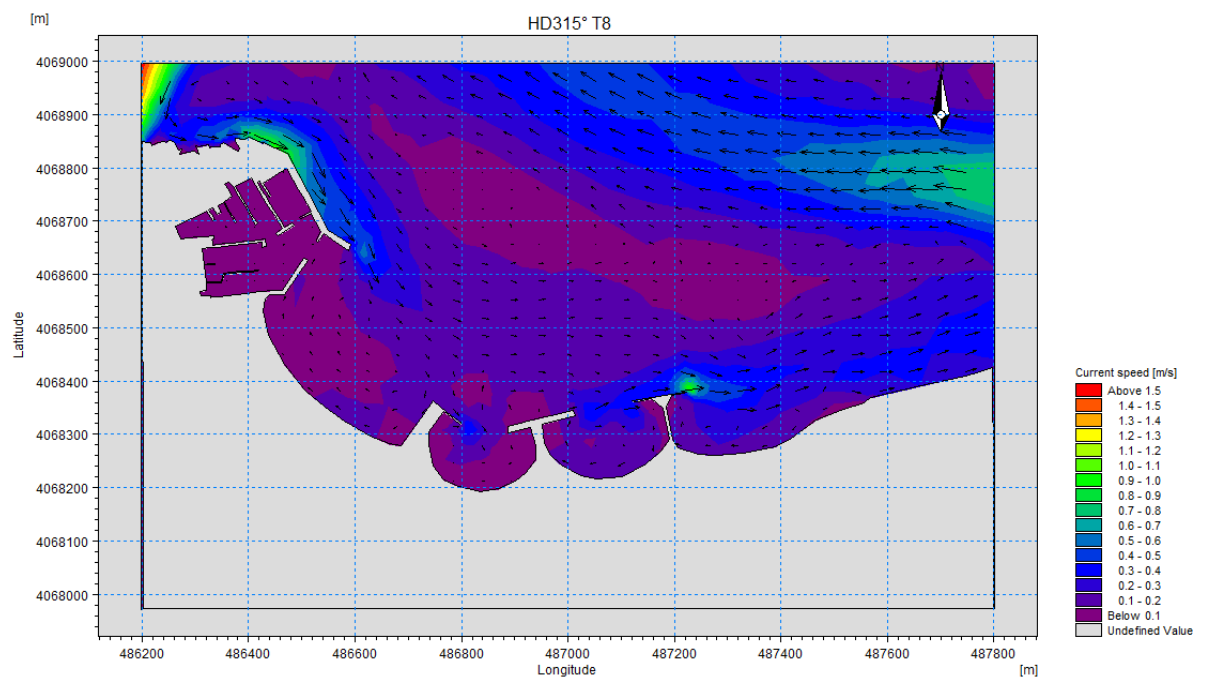
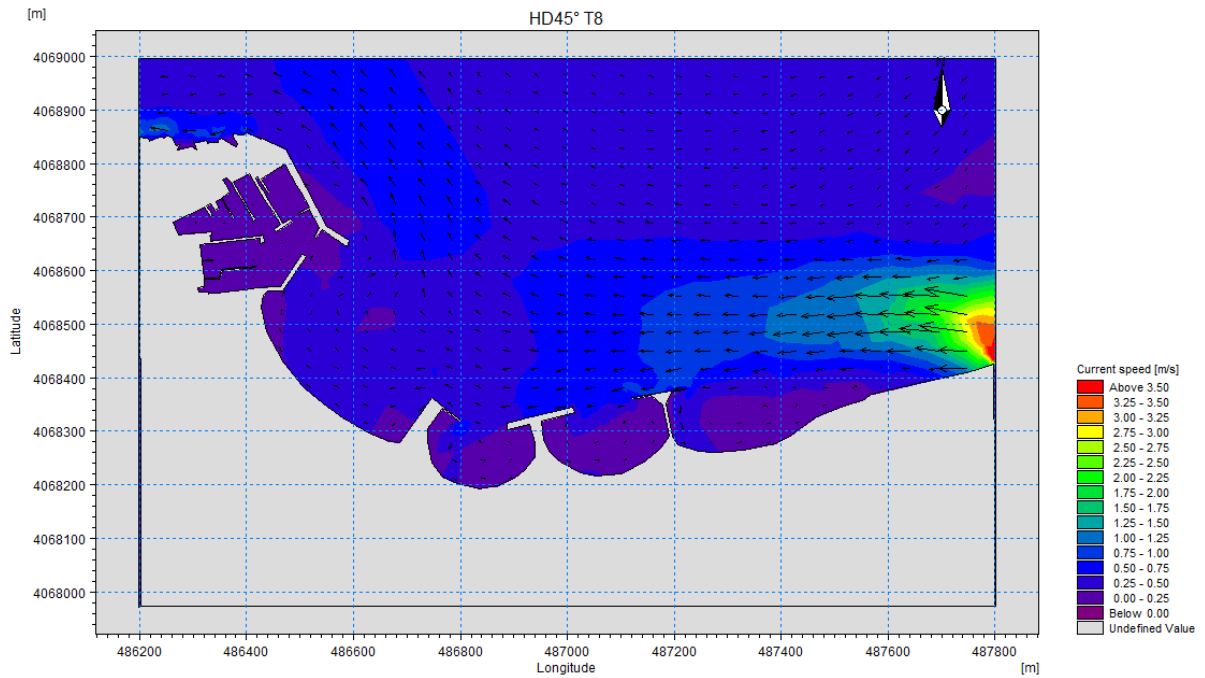
D.H.I. (2008). Etude de connaissance des phénomènes d'érosion sur le littoral VENDEEN. Rapport de D.H.I. France : D.H.I.

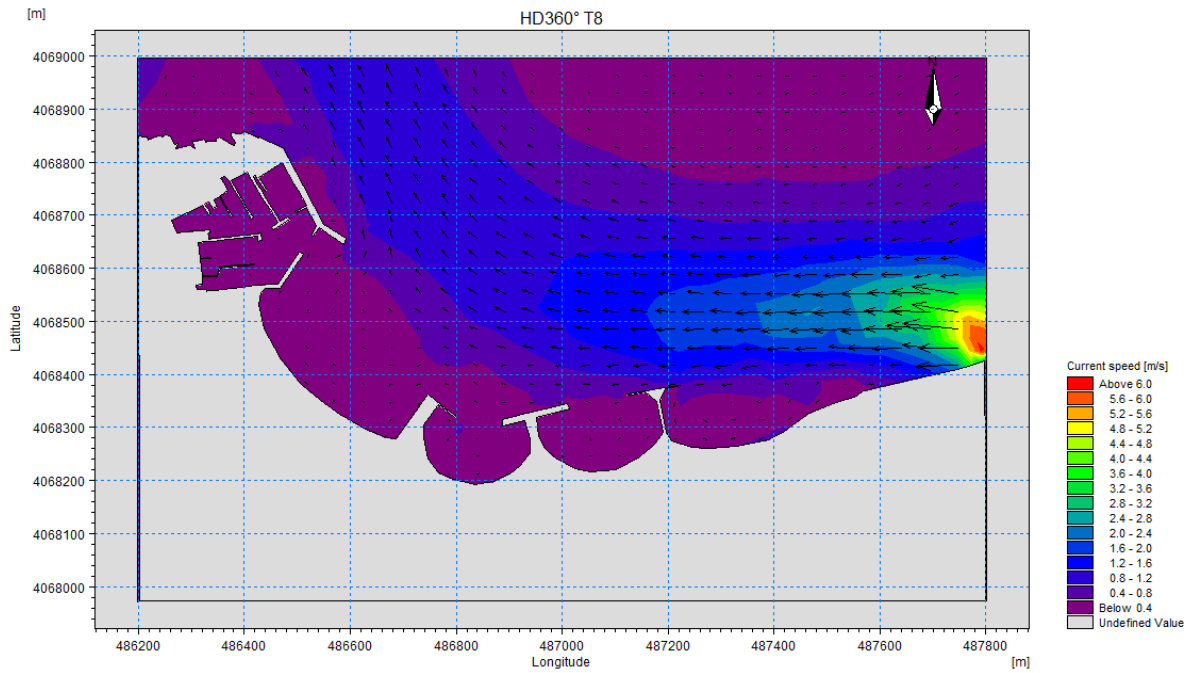
- DE VRIEND, H.J., STIVE, M.J.F. et ROELVINK, D.J.A. (1990).** Large-scale coastal evolution concept. 22nd International Conference on Coastal Engineering, 2 July 1990, Dép. American Society of Civil Engineers. New York: 74 p.
- FERRER, P. (2010).** *Morphodynamique à multi-échelles du trait de côte (prisme sableux) du golfe du Lion depuis le dernier optimum climatique.* Thèse de doctorat. Océanologie-Géologie. France : Université de Perpignan Via Domitia, 255 p.
- IBRAHIMA, B., NDEBANE, F. (2010).** *Dynamique du trait de côte sur les littoraux sableux de la Mauritanie à la Guinée-Bissau (Afrique de L'Ouest) : approches régionale et locale par photo-interprétation, traitement d'images et analyse de cartes anciennes.* Thèse de doctorat. Géographie. France : Université de Bretagne occidentale, p.p. 72-73
- IDRISSI, M., GOUAUD, F. et REY, V. (2015).** Présentation d'une approche numérique pour la modélisation de la dynamique sédimentaire : Cas du littoral de Mohammadia (Maroc). European Scientific Journal. n°36, p.p. 228-240
- LOMBARD, A. (2005).** *Les variations actuelles du niveau de la mer : Observations et causes.* Thèse de doctorat. Océanographie Spatiale. France : Université de Toulouse III, p.p.20-23
- LOSSON, B., CORBONNOIS, J. (2006).** Les modes de sédimentation détritique : nouvelle méthode de détermination appliquée à des remplissages endokarstiques. *GeologicaBelgica*. n°3-4, p.p. 257-265.
- MAZIÈRES, M.A. (2014).** *Evolution morphologique et processus sédimentaires actuels du plateau continental interne sud-aquitain : Etude comparée des zones de La Salie-Biscarrosse (sud des passes d'Arcachon) et de la zone de la tête du Canyon de Capbreton.* Thèse de doctorat. Sédimentologie Marine et Paléoclimats. France : Université de Bordeaux, p.p. 36-37
- MEZOUAR, K. (2009).** *Etude comparative entre les méthodes de protection des deux littoraux algérien et roumain.* Thèse de doctorat. Géotechnique et fondation. Roumanie : Université Technique de Construction de Bucarest, 404 p.
- MICHAUD, H. (2011).** *Impact des vagues sur les courants marins : Modélisation multi-échelle de la plage au plateau continental.* Thèse de doctorat. Sciences de la Terre et de l'Univers, Espace. France : Université de Montpellier II, p.p. 37-38

- 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. Alger : ISMAL, p.p. 43-50
- OULD ELMOUSTAPHA, A. (2000).** *Influence d'un ouvrage portuaire sur l'équilibre d'un littoral soumis à un fort transit sédimentaire : l'exemple du port de NOUAKCHOTT (MOURITANIE).*Thèse de doctorat. Terre solide et enveloppe superficielle. France : Université de Caen, p.p. 126-134
- REBHI, M., GOUCEM, T.L. (2011).** *Port de Sidi Fredj : quantités de sédiments à draguer.* Mémoire d'Ingénieur. Alger : ENSSMAL, p.p. 28-29
- SENECHAL, N. (2003).** *Etude de la propagation des vagues au-dessus d'une bathymétrie complexe en zone de surf.* Thèse de doctorat. Océanographie, paléo océanographie. France : Université de Bordeaux I, p.p. 278-279
- STEPANIAN, M.A. (2002).** *Evolution morphodynamique d'une plage macrotidale à barres : Omaha beach (Normandie).*Thèse de doctorat. Science de la terre et de l'univers, espace. France : Université de Caen / Basse Normandie, p.p. 26-29
- THAN, V.V. (2015).** *Modélisation d'érosion côtière : application à la partie ouest du tombolo de Giens.* Thèse de doctorat. Ingénierie côtière. France : Université d'Aix-Marseille, 349 p.
- WRIGHT, L.D., THOM, B.G. (1977).** Coastal depositional landforms: a morphodynamic approach. *Physical Geography*. n°1-3, p.p. 412-459
- ZEMENZER, S. (2004).** *Ensemblement du port par transport sédimentaire simulation et application du modèle de Gao et Collins (1994) au port de Sidi Fredj.* Mémoire d'Ingénieur. Alger : ISMAL, p.p. 18-19

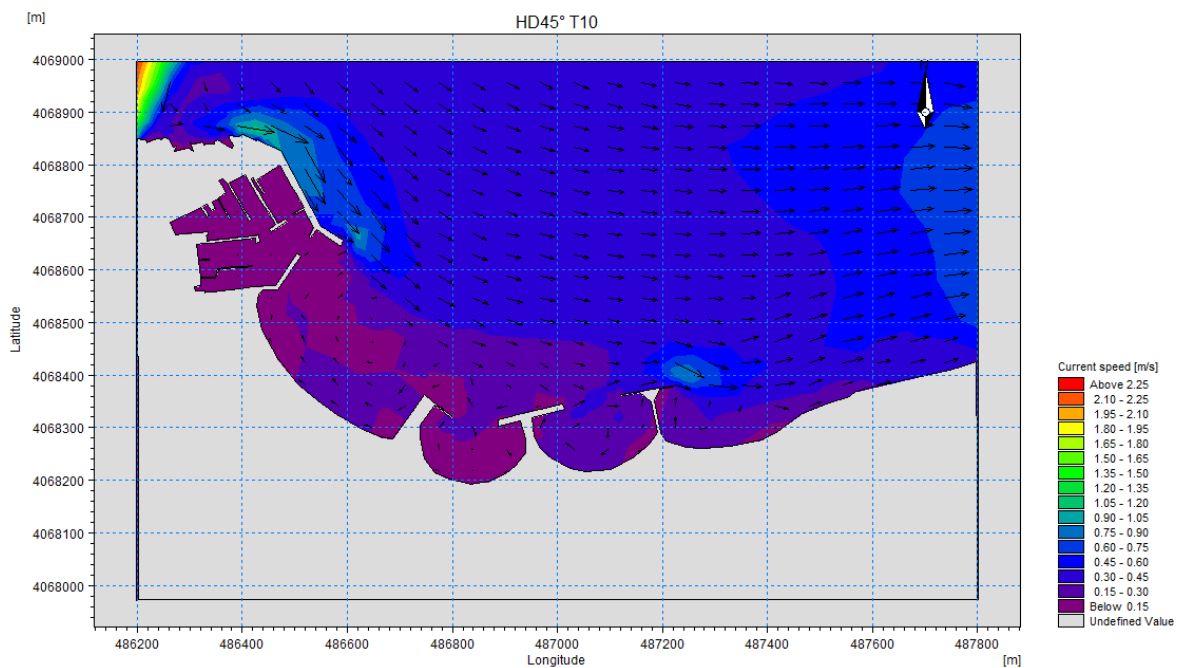
ANNEXES

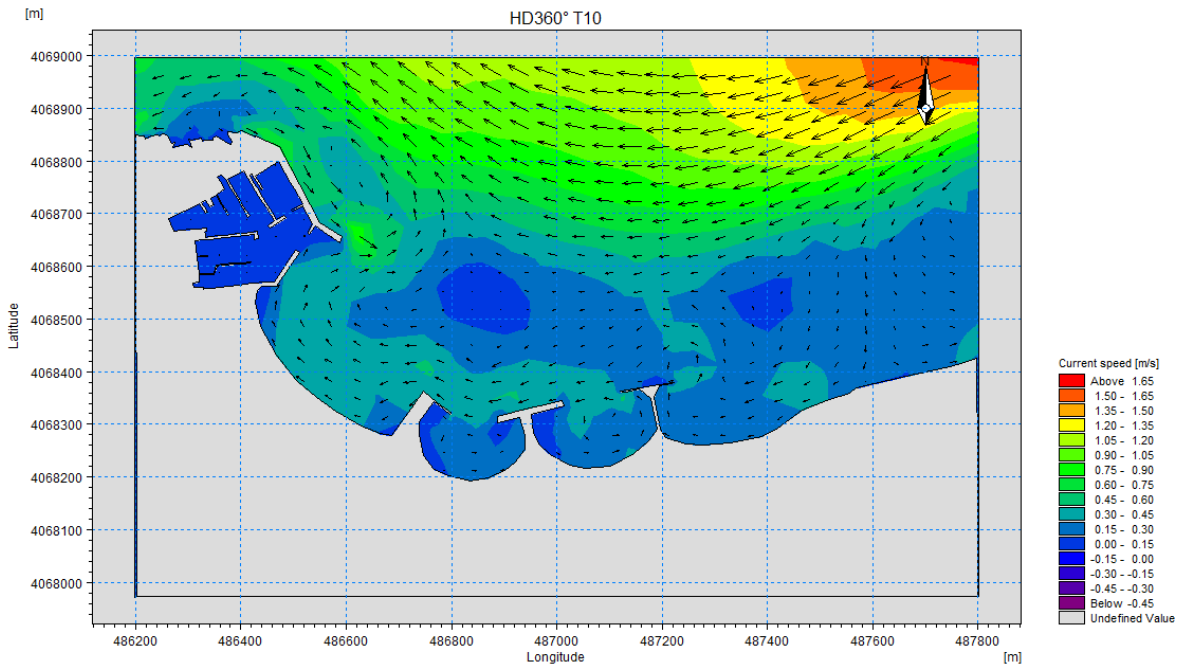
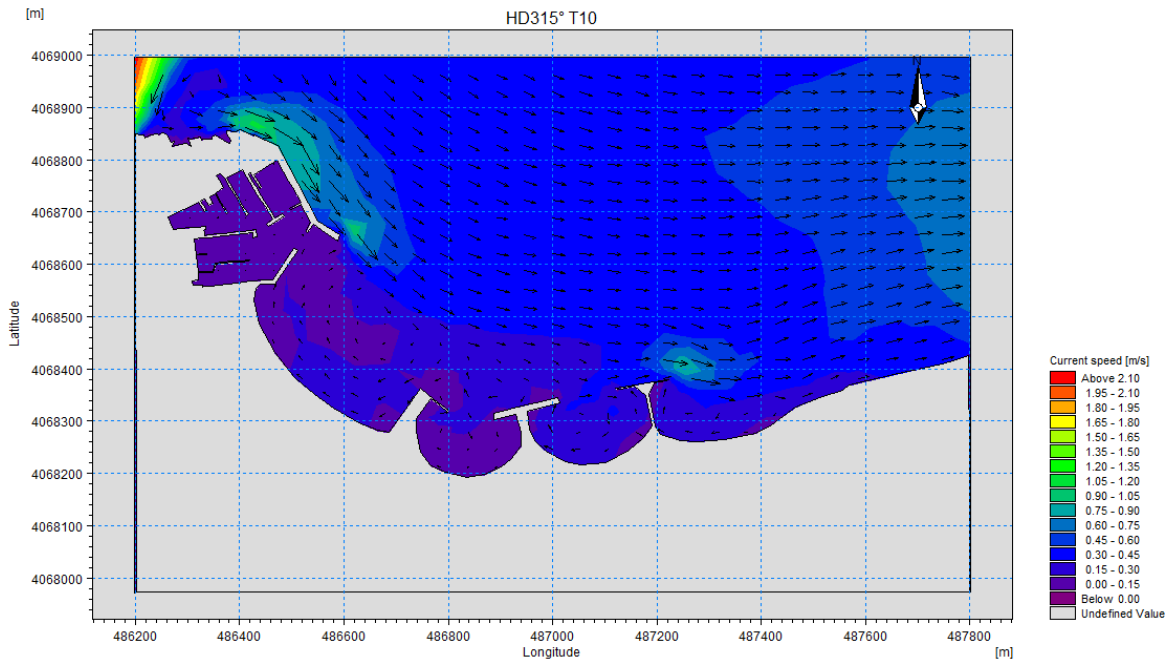
Les cartes de l'évolution de la vitesse et de la direction des courants engendrés par une houle d'une période de 8s pour les directions 45°, 315°, 360° successivement :



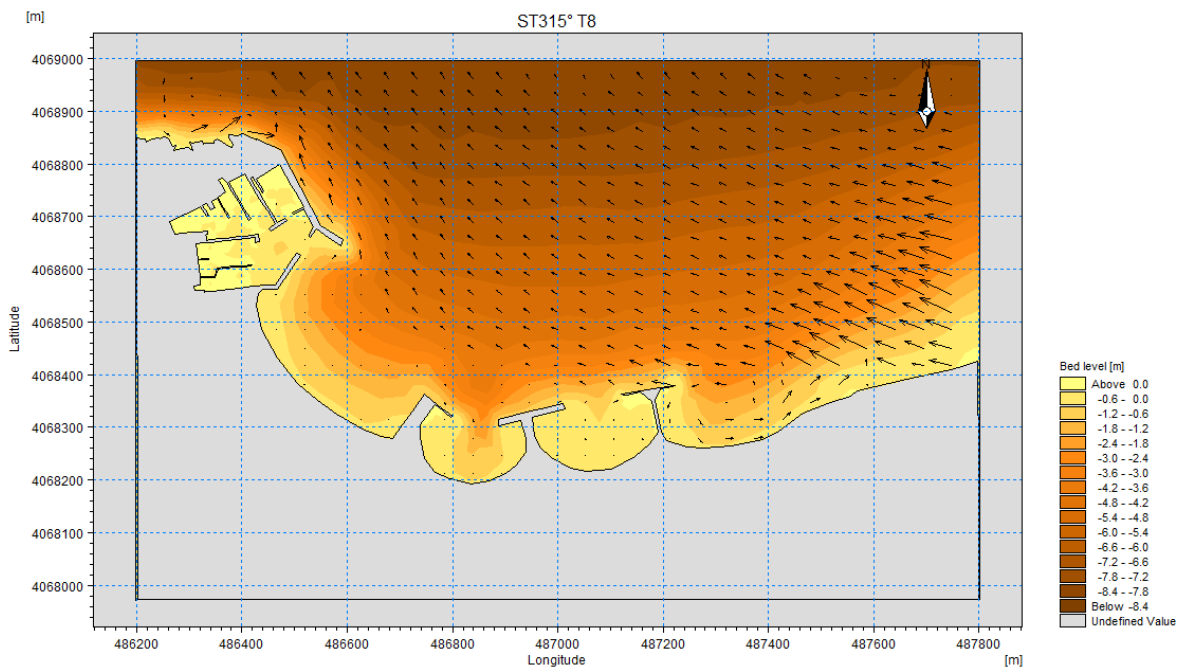
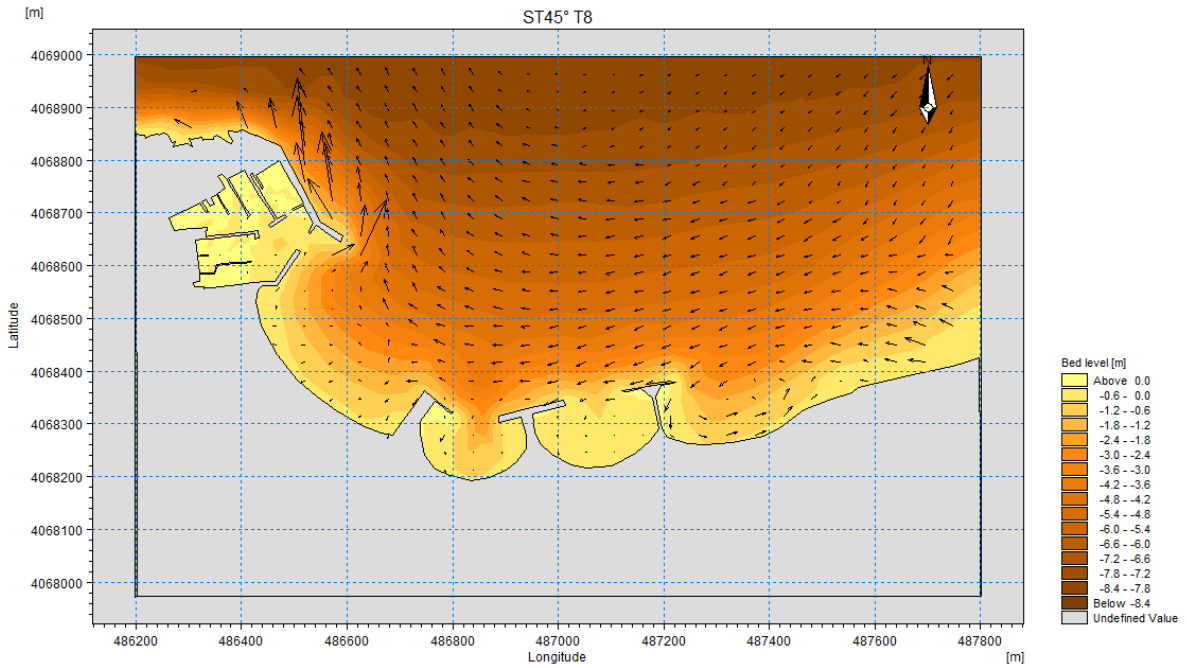


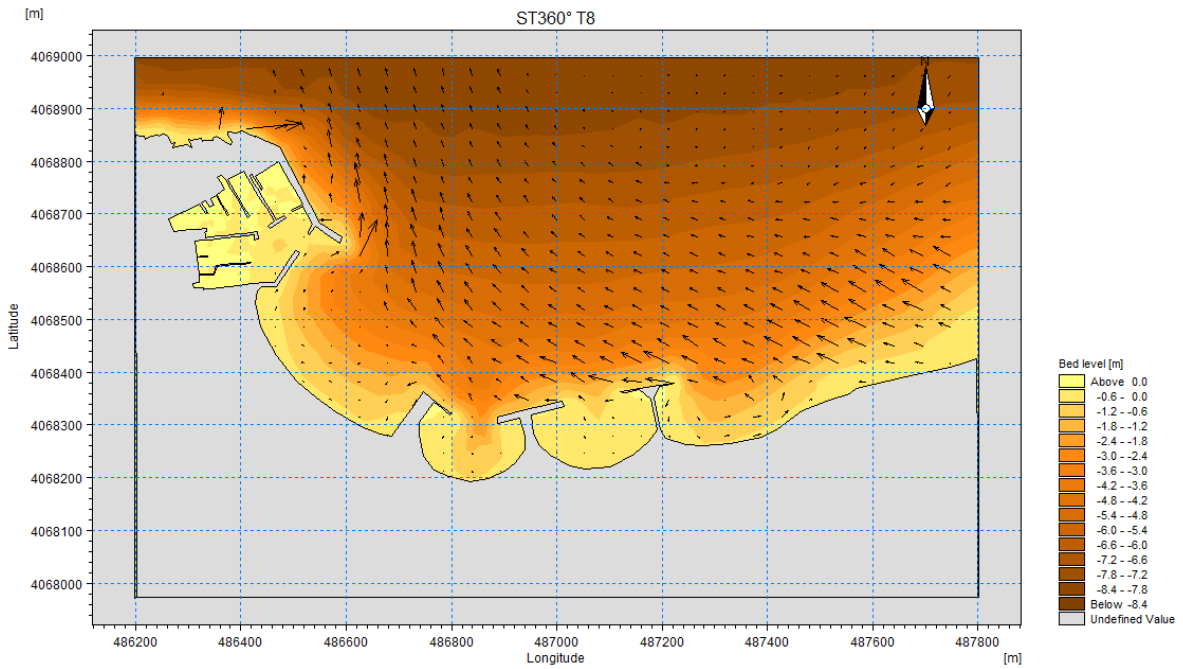
Les cartes de l'évolution de la vitesse et de la direction des courants engendrés par une houle d'une période de 10s pour les directions 45°, 315°, 360° successivement :



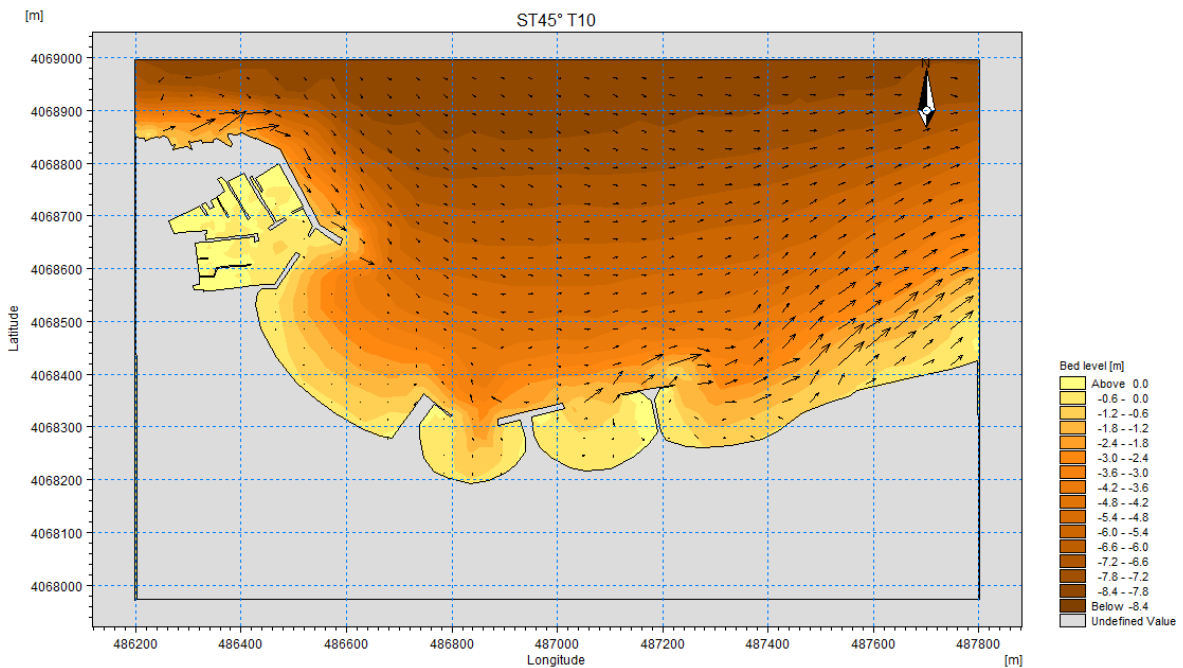


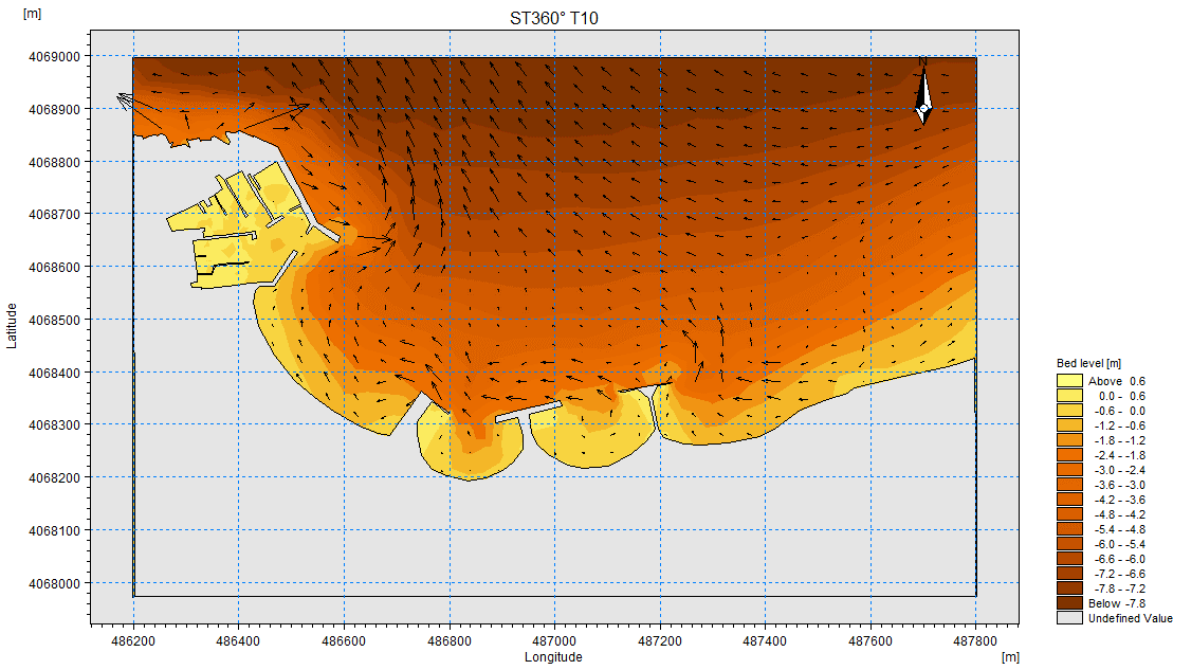
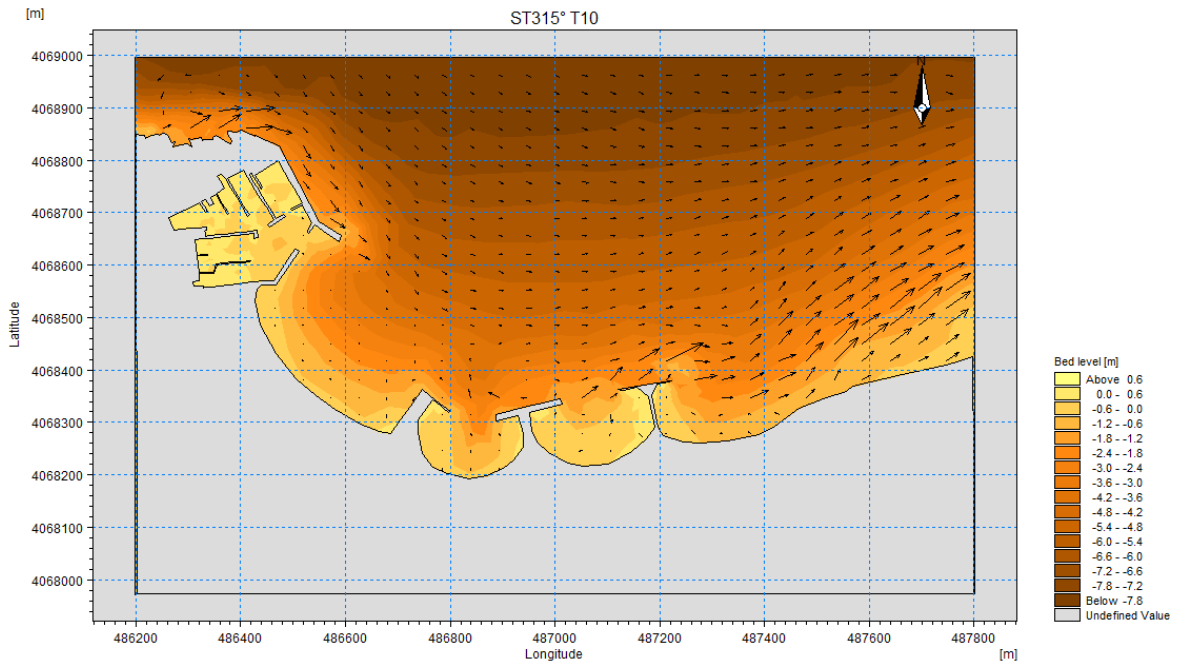
Les cartes du transport sédimentaire engendré par une houle d'une période de 8s pour les directions 45°, 315°, 360° successivement :





Les cartes du transport sédimentaire engendré par une houle d'une période de 10s pour les directions 45°, 315°, 360° successivement :





Les étapes de la génération des transects :

- La digitalisation des traits de côte à partir des imageries satellitaires en utilisant l'outil **ajouté un trajet** de Google Earth Pro, on a choisi sept lignes de rivage (2002, 2004, 2008, 2010, 2012, 2014, 2016).
- Une **PersonalGeodatabase** est établie en utilisant l'outil **ArcCatalog** dans ArcGIS pour chaque période.
- Les **shapefile** des lignes du rivage et la ligne de base sont créées dans chaque **Personal Geodatabase**.
- La ligne de base est définie avec certains attributs (nom, type, et propriétés géographiques).
- Chaque trait de côte doit avoir des attributs tels que date, longueur, ID, shape, et incertitude.
- La date des traits de côte historiques est ajoutée pour l'attribut date au format MM/JJ/AAAA ainsi que l'incertitude du trait de côte.
- Les autres attributs (longueur, ID, et shape) sont générés automatiquement dans ArcGIS, lorsqu'un **shapefile** a été créé.
- Les lignes du rivage pour chaque période spécifiée sont annexées à un **shapefile** unique.
- Une collection des lignes de rivage et la ligne de base sont créées dans ArcGIS pour DSAS.
- Lorsque les **Personnalgeodatabase** sont prêtes dans ArcGIS, ils sont engendrés de manière automatique par DSAS.
- Les transects orthogonaux sont générés à un espacement spécifié (10m) et une longueur précise (150m) le long de la côte.

Le DSAS mesure les distances entre les points d'intersection des transects et les traits de côte, calcule les taux d'évolution le long de chaque transect et restitue les résultats sous forme de tables attributaires.

Tableau : Configuration d'un fichier de simulation SW

Paramètre d'entrée	Par défaut	Choisi
« Basic Equations »	« Spectral formulation » = « Fully spectral formulation » « Time formulation » = « Instationary formulation »	« Spectral formulation » = « Directionally decoupled parametric formulation » « Time formulation » = « Quasi stationary formulation »
« Time parameters »	-	le pas de temps est de 9326 secondes
« Spectral Discretization »	« Frequency Discretization » « Discretization type » = « Equidistant », « Number of frequencies » = 25, « Minimum Frequency » = 0,055hz « Frequency interval » = 0,02hz « Directional Discretization » « Discretization type » = « 360 degree rose » « Number of directions » = 16	Par défaut
« Solution Technique »	« Geographical space discretization » = « Higher order » « Max. number of levels of transport » = 32 « Number of steps in source » = 1 « Min time step » = 0,01 sec « Max time step » = 30 sec	Par défaut
« Water Level Conditions »	« Specify water level variation »	Données des marées comme constantes dans le site d'étude.
« Current Conditions »	« No current »	Par défaut
« Wind Forcing »	« No wind »	« Wind, speed and direction » constant La vitesse = 5 m/s et la direction = 225°
« IceCoverage »	« No icecoverage »	Par défaut
« WaveBreaking »	« Model » = « Wave breaking » « Type of gamma » = « Specified gamma » « Format » = « Constant » « Constant value » = 0,8 « Alpha » = 1	Par défaut
« Bottom Friction »	« Model » = « Nikuradseroughness, kn » « Format » = « Constant » « Constant value » = 0,04 m	Par défaut

« Initial Conditions »	« Type » = « Spectra from empirical formulas » « Type de formulas » = « JONSWAP fetch growth » « Maximum fetch » = 100 000 m « Max peak Frequency » = 0,4Hz « Max Philips constant » = 081 « Shape Parameter » = 0,07 « Shape Parameter » = 0,09 « Peakness parameter » = 3,3	Par défaut
-------------------------------	--	------------

Tableau: Configuration d'un fichier de simulation HD

Paramètre d'entrée	Par défaut	Choisi
« Solution Technique »	« Time integration » = « Higher order » « Space discretization » = « Higher order » « Minimum time step » = 0,01 (s) « Maximum time step » = 60 (s)	Par défaut
« Time parameters »	-	le pas de temps est de 9326 secondes
« Flood and dry »	« Drying depth » = 0,005 (m) « Flood depth » = 0,05 (m) « Wetting depth » = 0,1 (m)	Par défaut
« Density »	« Barotropic »	Par défaut
« Eddy Viscosity »	« No Eddy »	Par défaut
« BedResistance »	« No bedresistance »	« Manning number » = 24 (type constant)
« Coriolis Forcing »	« No Coriolis force »	Par défaut
« Wind Forcing »	« No wind »	« Wind, speed and direction » constant La vitesse = 5 m/s et la direction = 225°
« IceCoverage »	« No includecoverage »	Par défaut
« Tidal Potential »	« No include tidal potential »	Par défaut
« Precipitation-Evaporation »	« No includeprecipitation-evaporation »	Par défaut
« Wave radiation »	Wave radiation from SW simulation	Par défaut
« Source »	« No sources »	Par défaut
« Initial Conditions »	« Surface elevation » = 0	Par défaut
« Decoupling »	« No decoupling »	Par défaut

Tableau : Configuration d'un fichier de simulation ST

Paramètre d'entrée	Par défaut	Choisi
« Model definition »	« Pure current »	« Wave and current » Table sédimentaire
« Time parameters »	-	le pas de temps est de 9326 secondes
« Sedimentproperties »	« Porosity»=0.4 « Grain diameter»=0.2mm «Relative density»=2.65	«Porosity»=0.4 «Grain diameter»=0.2mm «Grading coefficient»=1.1
« Forcings »	-	«Waves field from SW simulation»
« Morphology »	« Model definition» « Time parameter» «Banc erosion»= «no banc Erosion»	Par défaut
« Boundry condition »	-	«Sud»=land» «Nord», «Est», «Ouest» = «zerosediment flux gradient»

Résumé : Durant ces dernières décennies, la côte Est de Sidi Fredj caractérisée en majorité par des formations sableuses développée entre le port de Sidi Fredj et la plage de Moretti, a connu une érosion spectaculaire et un recul du trait de côte après la construction du port. Dans cette étude, on a étudié la morphodynamique de cette plage influencée principalement par les vagues et les courants.

Une modélisation numérique des forçages hydrodynamiques à l'origine du transport sédimentaire de la plage sous-marine de Sidi Fredj par le logiciel Mike21 est établie, les résultats obtenus sur le site montrent que le transport sédimentaire s'effectue essentiellement vers le large. Les sédiments sont d'abord mis en suspension par les houles au moment de leur déferlement et sont entraînés ensuite vers le large par les courants de retour. L'analyse diachronique de la position de la ligne du rivage de 2002 à 2016 à l'aide de l'outil DSAS et les images satellitaires a montré que la zone a connu une érosion au niveau de la plage Moretti et une accumulation au niveau de la plage Est de Sidi Fredj.

Mots clés : Ligne de rivage, Erosion, Morphodynamique, Modélisation.

Abstract: In recent decades, the east coast of Sidi Fredj characterized mainly by sand formations developed between the harbor of Sidi Fredj and the Moretti beach, experienced spectacular erosion and a retreat of coastline after the construction of the harbor. In this study, we studied the morphodynamics of this range influenced mainly by waves and currents. A numerical modeling of the hydrodynamic forcing at the origin of the sedimentary transport of the submarine beach of Sidi Fredj by the MIKE21 software is established, the results obtained on the site shows that sediment transport is essentially offshore.

The sediment are initially suspended by swells at the time of their flooding and are then driven offshore by the return currents. The diachronic analysis of the position of the shoreline from 2002 to 2016 using the DSAS tool and the satellite images showed that the zone experienced erosion at the Moretti beach and an accumulation at the level of East beach of Sidi Fredj.

Keywords: Shoreline, Erosion, Morphodynamics, Modeling

ملخص

في العقود الأخيرة شهد الساحل الشرقي لسيدي فرج الذي يتميز أساسا بالتشكيلات الرملية المطورة بين ميناء سيدي فرج و شاطئ موريتي، تاكلًا مذهلاً و تراجع للساحل بعد بناء الميناء. في هذه الدراسة، درسنا مورفوديناميكية الشاطئ التبتت آثار أساسا من الموجات والتيارات. تم وضع نموذج عددي للقوة للهيدروديناميكية في أصل النقل الرسوبي للشاطئ، المغمورة في سيدي فرج من قبل برنامج مايك 21، و تبين النتائج التي تم الحصول عليها ان نقل الرواسب يتم الى البحر، حيث يتم دفعها عن طريق تيارات العودة. و أظهر التحليل للشاطئ من 2002 الى 2016 باستخدام أداة دساس و صور الساتل ان المنطقة شهدت تاكل على شاطئ موريتي و تراكم على مسنوى الشاطئ الشرقي لسيدي فرج.

الكلمات المفتاحية: الشاطئ، تاكل، مورفوديناميكية، النمذجة