

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي

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 :

Influence des Ouvrages Portuaires et de Protection sur l'équilibre du
Littoral centre Algérois.

Présenté par :

BRAHMI MOHAMED ELAMIN

HAMADOUCHE MELIZA DJIDA

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

M. GUERFI M.	Professeur	ENSSMAL	Président
M. OTMANI H.	Maitre-Assistant B	ENSSMAL	Examineur
M. OULDHAMOU M.	Maitre de Conférences A	ENP	Examineur
M. MEZOUAR K.	Maître de Conférences A	ENSSMAL	Promoteur

Année universitaire : 2016 - 2017

Remerciement

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

Nous tenons aussi à remercier les membres du jury:

Nous tenons à remercier monsieur **GUERFI M.** qui nous fait l'honneur de présider le jury de cette soutenance.

Nous tenons à remercier monsieur **Ouldhamou M.** d'avoir pris le temps d'examiner ce travail.

Nous remercions également monsieur **Otmani H.** d'avoir accepté d'examiner ce modeste travail.

Nous tenons aussi à remercier toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin à enrichir nos modestes connaissances.

DEDICACES

Je dédie ce travail à mes chers parents qui tout au long de mon parcours scolaire ont été présents à côté de moi en toutes circonstances, pour leur sacrifices, leur soutien inconditionnel moral et matériel. A mes frères et sœurs qui m'ont toujours guidé et prodigué des conseils précieux et m'ont accompagné tout au long de mon cursus.

BRAHMI MOHAMED ELAMINE

Au moment de mettre sur point final à ce travail, je le dédie à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à son élaboration et, au-delà, à tout ce que j'ai entrepris.

Ceci concerne bien évidemment ma mère, mes sœurs, mes oncles et tantes mais aussi les collègues et amis que j'ai pu côtoyer, Zizou et Ayoub se reconnaitront.

Que tout ce monde me permette néanmoins d'avoir une pensée particulière pour celui sans lequel tout cela n'aurait pas été possible ... mon père.

HAMADOUCHE MELIZA DJIDA

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1: Profil schématique d'une côte sableuse et terminologie anglo-saxonne équivalente (Faye, 2010).....	8
Figure 1.2 : Grandeurs caractéristiques des vagues (Grasso, 2009).....	9
Figure 1.3: Principes de formation, de propagation et de transformation de la houle (Source : www.shom.fr).....	10
Figure 1.4 : Illustrations d'une mer de vent générée par des vents locaux (à gauche) et d'une houle générée par l'action des vents au large (à droite).....	10
Figure 1.5 : Visualisation des phénomènes de réfraction (à gauche) et de diffraction (à droite).....	10
Figure 1.6 : Augmentation de la cambrure de la houle avec la diminution de la profondeur....	11
Figure 1.7 : Les différents Types de déferlements.....	11
Figure 1.8 : Dérive littorale d'après Woodroffe.....	12
Figure 1.9 : Formation des courants de houle par déferlement des vagues sur le rivage (Source : www.ifremer.fr).....	13
Figure 1.10 : Schéma de principe du transport des sables et des graviers (Géosciences Marines, s.d.).....	13
Figure 2.1 : Présentation de la baie d'El Djamila.....	16
Figure 2.2 : Carte géologique de la Baie d'El Djamila; tirée de la carte géologique Alger-Chéraga, 1/50000 ^e	18
Figure 2.3 : Carte bathymétrique de la Baie d'El Djamila (positionnement des profils bathymétrique). (CTH, 2009).....	21
Figure 2.4 : Carte du bassin versant de la baie d'El Djamila.....	22
Figure 2.5 : Roses récapitulatives saisonnières des fréquences d'apparition du vent au large en fonction de leurs vitesses faites par le logiciel HYDROGNOM.....	24
Figure 2.6 : Répartition annuelle des vents en % (ONM, Dar-El-Beida, 1995-2015).....	26
Figure 2.7 : Rose des vagues au large de la côte Algérienne Hiver – été (HMI, 2011).....	27
Figure 2.8 : Carte présentant la partie ouest de la baie d'El Djamila, plages de Sidi Fredj, Riadh et Club des pins.....	29
Figure 2.9 : Dimensionnement du port de sidi Fredj « plan de masse » (Belabdi et Ounnas, 2011).....	30
Figure 2.10 : Dimensionnement des ouvrages de protection (1985) du littoral Est de Sidi-Fredj (Mezouar, 2009).....	32
Figure 2.11 : Représentation 3D des brises lames immergés réalisés par AutoCAD.....	32
Figure 2.12 : Carte de présentation des ouvrages de protection du type brise-lame dans la plage Club des pins.....	33

Figure 2.13 : Carte représentatif de la zone Sirène II.....	35
Figure 2.14 : Carte géologique de région centre d'Alger.....	36
Figure 2.15 : Représentation 3D de la zone d'étude réalisée par Autocad (Brahmi et Hamadouche).....	41
Figure 3.1 : Etapes de Modélisation Mike 21: « FM MIKE21/3 couplé » (Brahmi et Hamadouche).....	46
Figure 3.2 : barre d'outils du DSAS.....	47
Figure 4. 1 : Carte bathymétrique avec maillage.....	53
Figure 4.2 : Carte bathymétrique de la zone d'étude Club des pins année 2009.....	54
Figure 4.3 : Carte bathymétrique avec maillage.....	55
Figure 4.4 : Carte bathymétrique de la zone d'étude Club des pins année 2016.....	56
Figure 4.5 : Carte bathymétrique de la zone de Sidi Fredj année 2016.....	57
Figure 4.6 : Carte bathymétrique avec maillage.....	58
Figure 4.7 : Carte bathymétrique de Sirene II année 2009.....	59
Figure 4.8 : la modélisation numérique de la réfraction de la houle de direction $N45^{\circ}$ - $T_p=8s$ Hs= 2.56m pour la bathymétrie de 2009.....	61
Figure 4.9 : la modélisation numérique de la réfraction de la houle de direction $N45^{\circ}$ - $T_p=8s$ Hs= 2.56m pour la bathymétrie de 2016	62
Figure 4.10 : Modélisation numérique de la réfraction de la houle pour une direction $45^{\circ}N$ et $T=10s$	63
Figure 4.11 : Modélisation numérique de la réfraction de la houle pour une direction de $315^{\circ}N$, $T_p=10s$ et $H_s=4.53m$	64
Figure 4.12 : Modélisation des courants pour une direction de $45^{\circ}N$, $T_p=10s$ et $H_s=5.05m$...	65
Figure 4.13 : Modélisation des courants pour une direction de $45^{\circ}N$, $T_p=8s$ et $H_s=2.56m$	66
Figure 4.14 : Modélisation numérique des vitesses des courants pour $N45^{\circ}$	67
Figure 4.15 : la modélisation des courants pour une direction de $315^{\circ}N$, $T_p=10s$ et $H_s=4.53m$	68
Figure 4.16 : la modélisation du transport sédimentaire pour une direction de $45^{\circ}N$, $T_p=6s$ et $H_s=1.09m$	69
Figure 4.17 : Modélisation du transport sédimentaire pour une direction de $45^{\circ}N$, $T_p=8s$ et $H_s=2.56m$	70
Figure 4.18 : Modélisation du transport sédimentaire pour $N45^{\circ}$	71

Figure 4.19: la Modélisation de transport sédimentaire pour une direction de 270°N, $T_p=6s$ et $H_s=1.19m$	72
Figure 4.20 : Représentation de l'état de la zone de Sidi Fredj en fonction de NSM entre 2002 et 2017.....	73
Figure 4.21 : Représentation de l'état de la zone de Club des pins en fonction de NSM entre 2002 et 2017.....	75
Figure 4.22 : Représentation de la vitesse d'évolution (Accumulation ou érosion) en fonction de l'EPR de la zone du Sidi Fredj entre 2002 et 2017.....	76
Figure 4.23: Représentation de la vitesse d'évolution (Accumulation ou érosion) de la zone du Club des pins en fonction de l'EPR entre 2002 et 2017.....	77
Figure 4.24 : Représentation de la vitesse d'évolution (Accumulation ou érosion) de la zone de Sidi Fredj en fonction de LRR entre 2002 et 2017.....	78
Figure 4.25 : Représentation de la vitesse d'évolution (Accumulation ou érosion) de la zone de Club des pins en fonction de LRR entre 2002 et 2017.....	78
Figure 4.26 : représentation graphique des variations des paramètres d'évolution de trait de côte (LRR et EPR).....	79
Figure 4.27 : Représentation de l'état de la zone de Sirene II en fonction de NSM entre 2000 et 2017.....	80
Figure 4.28 : Représentation de la vitesse d'évolution (Accumulation ou érosion) de la zone de Sirène II en fonction de l'EPR entre 2002 et 2017.....	81
Figure 4.29: Représentation de la vitesse d'évolution (Accumulation ou érosion) de la zone de Sirène II en fonction de LRR entre 2002 et 2017.....	82
Figure 4.30: Représentation graphique des variations des paramètres d'évolution de trait de cote (LRR et EPR).....	82

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1 : Distances des isobathes et la pente des fonds par rapport à la cote.....	20
Tableau 2.2 : Caractéristiques du bassin versant de l'oued Beni Messous (Dheewa, 2011).....	22
Tableau 2.3 : Fréquence saisonnière des vents au large par direction en pourcentage et par des classes des hauteurs significatives (SHFM, 2016).....	24
Tableau 2.4 : Distribution fréquentielle du vent à la station météorologique de Dar El Beida selon 4 classes de vitesses et 16 directions (période 1er Janvier 1995 au 31 Décembre 2015, ONM).....	25
Tableau 2.5 : Amplitudes des houles en fonction des directions et leurs périodes de retour (SSMO, 1963-1970).....	27
Tableau 2.6 : Répartition des états de mer par période (SSMO, 1963-1970).....	28
Tableau 2.7 : Distances des isobathes à la côte et pentes des fonds (Carte marine du SHOM n°5638 à l'échelle : 1/30 000 ème,).....	36
Tableau 2.8 : Fréquences mensuelles de la houle du large par direction SSMO.....	39

LISTE DES ACRONYMES

A.N.R.H : Agence Nationale des Ressources Hydriques.
C.T.H : organisme national de Contrôle Technique de la construction Hydraulique.
D.S.A.S: Digital Shoreline Analysis System.
E.P.R: End Point Rate.
E.S.R.I: Environmental Systems Research Institute.
ENSSMAL : Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral.
G.E.B.C.O: General Bathymetric Chart of the Oceans.
G.P.S : Global Positioning System.
H.s: Hauteur significative.
HD: Hydrodynamisme.
Km : Kilomètre
L.E.M : Laboratoire des Études Maritimes.
m : Mètre
m/an : Mètre par an
m/s : Mètre par seconde
m³ : Mètre cube
N : Nord
N.S.M: Net Shoreline Movement.
NW : Nord-Ouest
O.N.M : Office National de Météorologie.
S.H.O.M : Service Hydrographique et Océanographique de la Marine.
S.I.G : Système d'Information Géographique.
S.P.O.T : Système Probatoire d'Observation de la Terre.
S.S.M.O: Summary of Synoptic Meteorological Observation.
SE : Sud-Est
SW: spectral wave
T : Période
U.T.M: Universal Time Mercator.
W.G.S: World Geoid System.
Ws : Vitesse de chute des particules.

SOMMAIRE

Remerciement.....	i
Dédicaces.....	ii
Liste des figures.....	iii
Liste des tableaux.....	vi
Liste des acronymes.....	vii
Introduction générale.....	2

Chapitre I :

Approche théorique de l'espace côtier

1.1 Approche Systémique du littoral.....	6
1.2 Morpho-dynamique littoral.....	7
1.3 Les agents morfo-dynamiques.....	8
1.3.1 Principaux processus physiques mis en jeu dans la morfo-dynamique littorale	9
1.4 Transport littoral.....	13
1.5 Erosion.....	14

Chapitre II :

Présentation des zones d'études

2.1 Situation géographique de la Baie d'El Djamila.....	16
2.2 Cadre géologique de la baie d'El Djamila.....	17
2.2.1 Le massif d'Alger.....	17
2.2.2 Le Sahel.....	17
2.3 Cadre géomorphologique locale.....	18
2.3.1 Les plages.....	19
2.3.2 Les platiers rocheux	19
2.3.3 Les barres et les fosses de lévigation	19
2.4 Topographie de la baie d'El Djamila.....	20
2.5 Cadre hydrologique.....	21
2.6 Cadre climatique.....	23
2.6.1 Le vent.....	23
2.7 Cadre océanographique	26
2.7.1 Mer du vent et houle	26
2.7.2 Les courants.....	28
2.7.3 La marée	28
2.8 Les facteurs d'érosion.....	29
2.8.1 Régime de la houle.....	29
2.9 Zone de Sidi Fredj	30

2.9.1	Ensablement de la passe d'entrée du port de Sidi Fredj.....	30
2.10	Club des pins.....	32
2.10.1	Cadre climatique.....	34
2.11	Présentation de la plage Sirène II:.....	34
2.11.1	SITUATION GEOGRAPHIQUE DU SITE D'ETUDE.....	34
2.11.2	Cadre géologique de la plage Sirène II	35
2.11.3	Cadre géomorphologique.....	36
2.11.4	Cadre Hydrologique.....	37
2.11.5	Cadre Climatique.....	37
2.11.6	Cadre océanographique.....	38
2.11.7	Facteur d'érosion	40

Chapitre III :

Acquisition et traitement des données disponibles

3	Acquisition et traitement des données disponibles.....	43
3.1	Les progiciels utilisés pour étudier l'évolution du littoral.....	43
3.1.1	Aperçu du progiciel MIKE21.....	43
3.1.2	Google Earth Pro.....	46
3.1.3	Aperçu du logiciel ArcGis 10.2.....	46
3.1.4	Aperçu de l'extension DSAS.....	47
3.2	Méthodes utilisées pour l'étude de l'évolution du littoral	49
3.3	Méthodes de mesure et d'analyse de la bathymétrie.....	49
3.4	Méthode de modèle mathématique.....	49
3.5	Les méthodes de suivi du trait de côte à l'aide des systèmes d'information géographiques (ArcGIS).....	50

Chapitre IV :

Résultats et discussions

4.1	Etude bathymétrique	52
4.1.1	Etapes exploitation des données	52
4.1.2	Résultats d'études bathymétriques.....	53
4.2	Modélisation numérique MIKE21	60
4.2.1	La modélisation de la réfraction de la houle avec le module SW.....	60
4.2.2	La modélisation des champs de courants générés par la houle au moyen du module HD.....	64
4.2.3	La modélisation du transport sédimentaire avec le modèle ST.....	69
4.3	Résultats de l'étude de l'évolution du trait de côte	73
4.3.1	Résultats de l'étude de l'évolution du trait de côte dans la zone partie ouest de la baie d'El Djamila.....	73
4.3.2	Résultats de l'étude de l'évolution du trait de côte dans la zone Sirène II.....	79
	Conclusion générale.....	86

Références bibliographiques.....	89
Annexes.....	92

INTRODUCTION GENERALE

I. 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 où les équilibres écologiques sont sans cesse fragilisés par les aléas naturels mais également par l'Homme. (MEZOUAR, 2009).

Les systèmes côtiers sont des entités en équilibre dynamique en regard des facteurs hydrodynamiques, sédimentaires et géomorphologiques (Carter, 1988). Toutefois, cet équilibre est fragile, comme en témoigne l'érosion côtière sévère qui affecte les littoraux des différentes régions côtières du monde (Bird, 1985 ; Komar, 1998 ; Paskoff, 2001 ; Stone et Orford, 2004). Les sociétés humaines ont depuis longtemps lutté contre l'érosion et la violence des tempêtes dévastatrices. En effet, on trouve des indices de protection côtière en Égypte dès III siècle avant notre ère.

De nos jours on utilise un ensemble de technique de protection contre l'érosion, comme par exemple les ouvrages en béton, les infrastructures de protection du littoral sont des structures parallèles au rivage servant à prévenir le recul des côtes, la submersion des terres ainsi que la perte de terrain engendrée par la submersion ou l'action des vagues (Kraus et McDougal, 1996). Ces structures sont installées le long de côtes en érosion ou encore sujettes à la submersion, là où ces phénomènes naturels ne peuvent être tolérés. On trouve également des structures installées de façon perpendiculaire à la cote, comme les épis. En regard de facteurs naturels et anthropiques, soit l'érosion, la hausse du niveau marin relatif et la pression démographique croissante, le recours aux infrastructures de protection du littoral s'intensifiera à moyen et long terme (Nordstrom, 2000)

Or, ces ouvrages de protection du littoral sont parfois considérés comme un facteur aggravant le déséquilibre des systèmes côtiers (Bernatchez et Dubois, 2004). Les impacts les plus largement reconnus en zone intertidale sont la modification des conditions hydrodynamiques et du transport sédimentaire (Kraus, 1988 ; Carter, 1988). Certains environnements sont donc jugés inadéquats pour la mise en place de structures rigides, alors que d'autres sont jugés acceptables (Kraus et Pilkey, 1988). La connaissance des milieux porteurs et l'évolution des environnements anthropisés revêt donc une importance bien tangible.

En Algérie, la baie d'El Djamila fait partie des littoraux artificialisées car elle connaît une forte concentration d'ouvrages de protection et d'ouvrage portuaire. Notre étude s'est portée sur l'influence que peuvent avoir ces aménagements sur l'équilibre littoral de la partie Ouest de la baie.

La seconde zone d'étude est celle de la plage Sirène II qui se situe à l'Est d'Alger, cette zone est particulièrement intéressante à étudier car elle se trouve confinée entre un épi et une brise lame en T.

L'objectif de notre étude, intitulée «influence des ouvrages de protection et des ouvrages portuaires sur l'équilibre littoral centre Algérien » vise à déterminer le degré d'impact de ces ouvrages sur l'évolution du littoral, et ce, en se base sur l'évolution historique du trait de côte de nos zones d'étude par le biais des SIG ainsi que par l'étude des conditions de transport sédimentaire avant et après la mise en place des ouvrages de protection en utilisant la modélisation numérique.

De manière à traiter notre sujet ce mémoire s'organise en quatre parties :

-) La première partie, consacrée à l'approche théorique de l'espace côtier.
-) La deuxième partie, consacrée à la présentation de nos zones d'étude.
-) La troisième partie expose les méthodes et les outils utilisés pour réaliser ce travail.
-) La quatrième partie présente les résultats issus de l'étude ainsi que leur discussion.

CHAPITRE I:

Approche théorique de l'espace côtier

II. CHAPITRE I : APPROCHE THEORIQUE DE L'ESPACE COTIER

Introduction :

Si le bord de la mer a une signification d'abord topologique, si la côte et le rivage sont synonymes, l'une vue de la mer, l'autre de la terre, le littoral est le seul mot qui conçoive le contact entre la terre et la mer comme une zone, cette notion reste tout de même difficile à appréhender. Pour sa compréhension, il existe autant de définitions que de disciplines, depuis celles que donnent les dictionnaires de langue française jusqu'aux définitions des géographes. Ces définitions, évolutives, ont le mérite de mieux faire connaître cet espace, et de mieux comprendre les enjeux qu'il concentre. En voici quelques-unes :

En géographie, le littoral est la zone qui sert d'interface entre la mer et le continent alors qu'en sédimentologie, certains auteurs limitent le sens de l'expression "sédiments littoraux" en ne l'appliquant qu'aux sédiments les plus caractéristiques de l'estran. Ce même terme est défini par les géomorphologues comme étant la zone littorale comprise entre les plus hautes et les plus basses mers, c'est-à-dire l'estran. D'après (Yves-F.Thomas, 1972), on peut admettre que : (le domaine des formes littorales n'est pas seulement la ligne idéale qui sépare sur les atlas et les cartes à petite échelle, la terre ferme de la mer..). Cette ligne devient, sur les cartes marines et les cartes topographiques à grande échelle une zone plus ou moins large suivant l'amplitude de la marée qui peut embrasser, dans les cas extrêmes, jusqu'à 15 km de large.

Ces nombreuses définitions ont été données au mot littoral, malgré certaines différences, elles ont pour point commun d'affirmer que le littoral est un domaine qui se trouve sous la dépendance, à la fois, de la dynamique naturelle et de l'action de l'Homme (Bousquet, 1990).

Cette partie de ce mémoire expose un récapitulatif des concepts utilisés pour décrire le milieu sableux côtier ainsi que les différentes agressions auxquelles il est soumis qu'elles soient d'ordre anthropique ou naturel et pour finir nous expliqueront à travers les impacts de ces influences la réponse de ce milieu face à cette situation.

1.1 Approche Systémique du littoral :

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

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

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

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

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

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

1.2 Morpho-dynamique littoral :

Les plages sableuses représentent généralement un profil transversal plus ou moins concave. Leur pente varie en fonction du calibre du sédiment qui les constituent et des caractéristiques des vagues qui s'y déferlent. Elle est forte lorsque les sédiments sont grossiers (Paskoff, 1985).

Cela s'explique par une infiltration de l'eau importante dans les plages à granulométrie grossière, rendant ainsi la nappe de retrait moins efficace que celle observée dans des estrans de sable fin.

L'équilibre est établi lorsque le profil est suffisamment raide, pour que l'effet freiné du jet de rive et celui accentué de la nappe de retrait par la pente, s'annulent.

La pente d'une plage, peut aussi être expliquée par l'exposition de la plage ainsi que la houle incidente présente ; les plages abritées, frappées par des vagues courtes et peu cambrées, sont plus pentues que celle exposées au large et atteintes par des houles longues, les premières tendent à réfléchir les vagues, tandis que les secondes favorisent la dissipation de leur énergie.

Dans le détail, on distingue :

Vers l'amont, l'arrière-plage (Back shore) partie de la plage qui est sujette à l'action des vagues uniquement durant les tempêtes. En absence de tempête le sable peut être remobilisé par les facteurs éoliens.

Vers la mer, la plage subaérienne (l'estran, espace intertidale ou fore shore) soumise à l'action des vagues en dehors des tempêtes. Subdivisée en trois parties :

-) Haut de plage : sous forme de bourrelets, qui sont dus à l'accumulation des matériaux par les mers les plus hautes ;
-) Moyenne plage : marquée par une ligne de réflexion à partir de laquelle la pente diminue brusquement.
-) Bas de plage : submergé à chaque marée. Sa partie avale montre parfois une alternance de bancs surbaissés et de gouttières ou bâches.

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

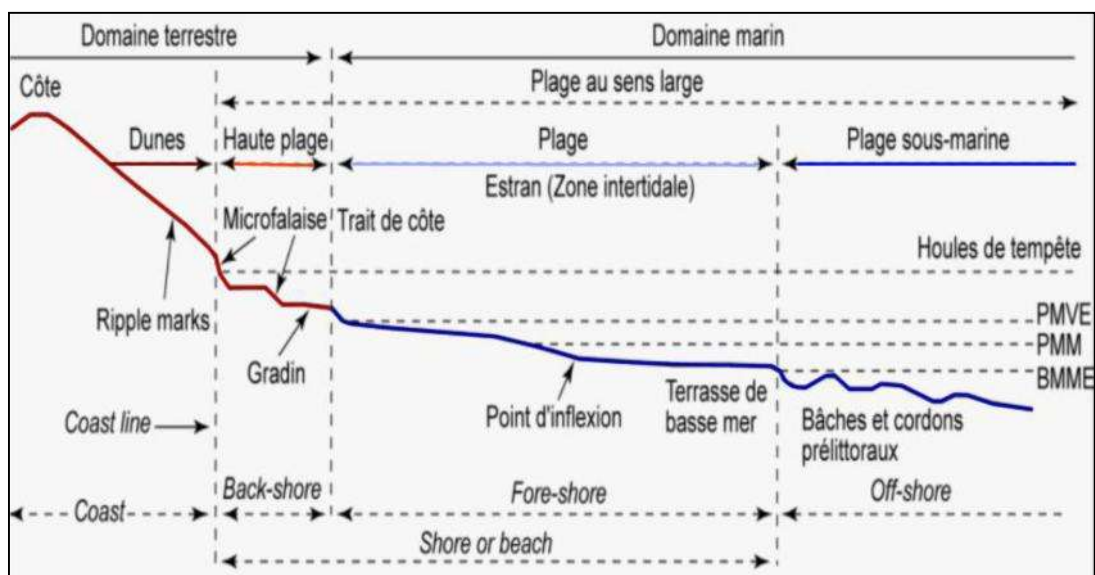


Figure 1.1 : Profil schématique d'une côte sableuse et terminologie anglo-saxonne équivalente (Faye, 2010)

1.3 Les agents morpho-dynamiques :

L'évolution du littoral et des fonds marins (avancée ou recul du rivage, érosion ou sédimentation des fonds) et les mouvements des sédiments, dépend de l'action de divers facteurs morpho-dynamiques d'origine météorologique ou marine (houles, courants, vents, mais également températures et précipitations) sur les matériaux de la côte et des fonds.

En outre, la pression sur les secteurs côtiers est fortement liée au développement touristique, industriel et commercial des zones littorales mais également du fait des changements climatiques planétaires tels que l'augmentation du niveau de la mer.

1.3.1 Principaux processus physiques mis en jeu dans la morpho-dynamique littorale :

Cette partie reprend l'essentiel des actions des éléments naturels pouvant agir séparément ou ensemble sur les phénomènes d'érosion côtière.

1.3.1.1 Les vagues :

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

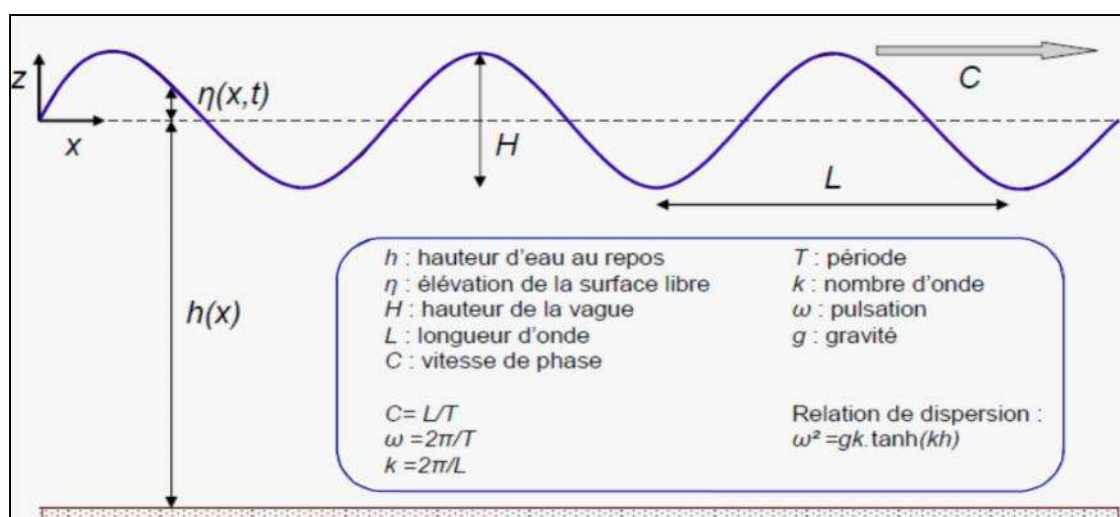


Figure 1.2 : Grandeurs caractéristiques des vagues (Grasso, 2009).

1.3.1.2 Les houles :

L'agitation (houle, mers de vent, clapots) et les courants induits sont les principaux agents responsables du transport des sables le long des rivages.

Les vagues sont principalement formées sous l'action du vent. Les conditions des houles à la côte dépendent alors de plusieurs facteurs :

- Des caractéristiques du champ de vent (vitesse, direction et durée),
- De l'extension (météorologique et géographique) du champ de vent,
- De la profondeur des fonds marins.

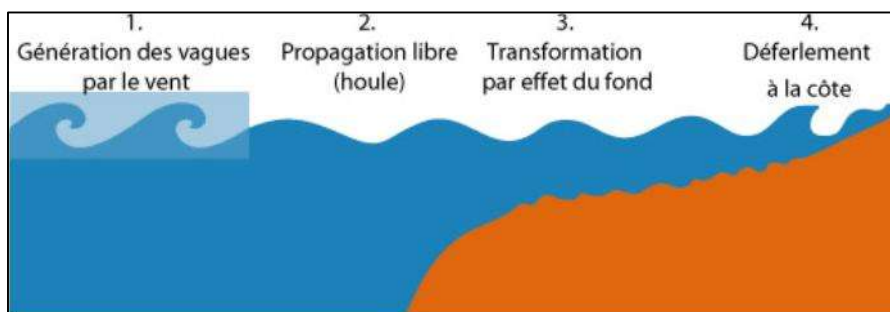


Figure 1.3 : Principes de formation, de propagation et de transformation de la houle

On distingue "mer du vent" (clapot irrégulier), formée par le vent local, de la houle, formée par un champ de vent éloigné de la zone d'observation. L'expérience montre que ces deux types de vagues peuvent se chevaucher.



Figure 1.4 : Illustrations d'une mer de vent générée par des vents locaux (à gauche) et d'une houle générée par l'action des vents au large (à droite)

Lors de sa propagation du large vers la côte, l'action du fond sur la houle va se faire ressentir. Les vagues subissent alors des déformations liées à la topographie sous-marine (réfraction, dissipation) et à la présence d'ouvrages côtiers (réflexion, diffraction).

Réfraction : les vagues s'orientent parallèlement Diffraction : les vagues se déforment et tendent au rivage sous l'influence de la bathymétrie à contourner l'obstacle

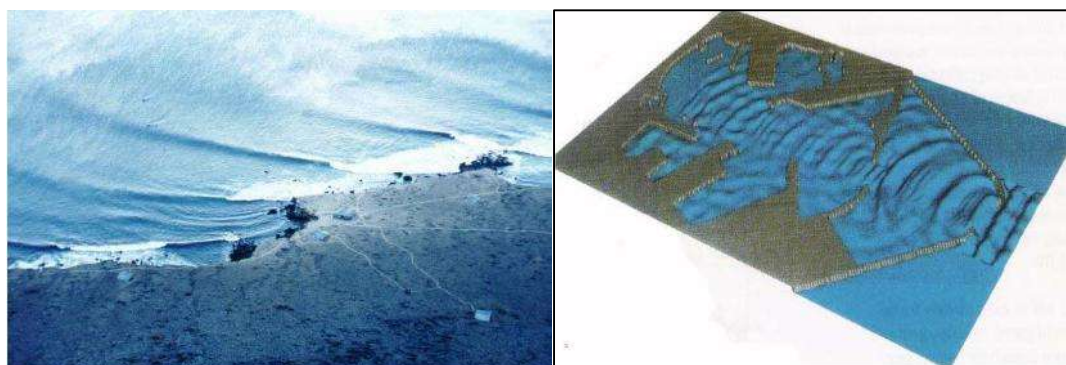


Figure 1.5 : Visualisation des phénomènes de réfraction (à gauche) et de diffraction (à droite) (source SHOM)

Enfin, à l'approche du rivage, la profondeur diminue fortement et le profil de la houle se modifie. En effet, lorsque la distance au fond diminue, la cambrure des vagues augmente. Pour finir la cambrure des vagues devient trop importante et, hormis sur des plages très pentues (ou sur des falaises), les vagues finissent par déferler à l'approche des côtes.

La forme que prend alors le déferlement dépend principalement de la pente des fonds, sur un fond en pente régulière on distingue 3 grands types de déferlement :

- Le déferlement glissant,
- Le déferlement plongeant,
- Le déferlement frontal ou gonflant

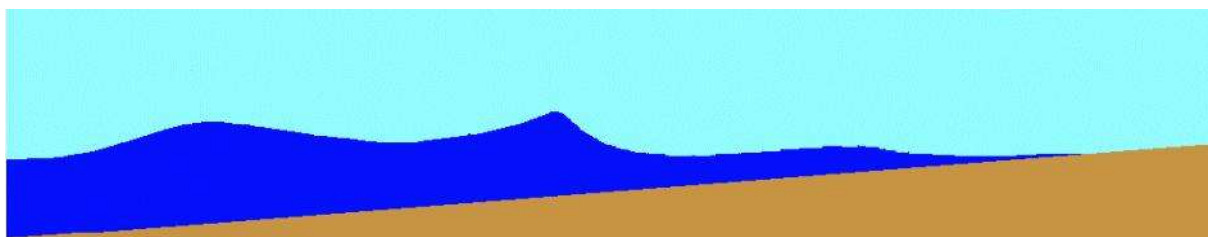


Figure 1.6 : Augmentation de la cambrure de la houle avec la diminution de la profondeur

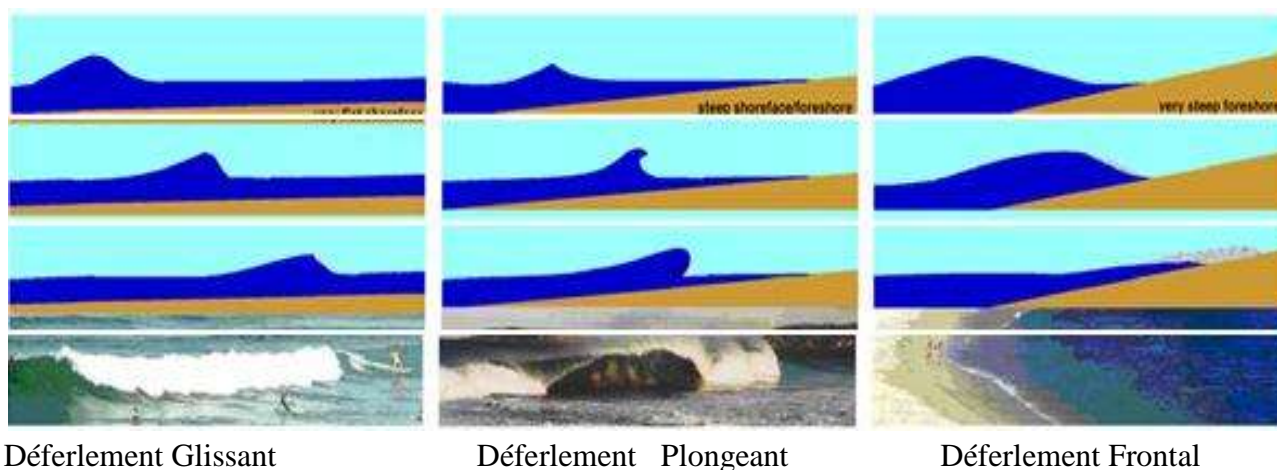


Figure 1.7 : Différentes types de déferlements

1.3.1.3 Les courants :

Les courants marins proches de la côte

A proximité du littoral, sur une distance de quelques centaines de mètres, les courants marins qui influent directement sur la morphologie locale sont nombreux et d'origine variée. Leur comportement dépend étroitement de la topographie sous-marine, de la houle et de la marée et tout particulièrement du vent. Les principaux courants sont :

) Les courants de retour :

Ils sont la réplique de l'afflux de l'eau vers le rivage et ramènent cette eau à la mer après déferlement, on distingue deux grands types :

- le courant d'entraînement ; c'est un courant de compensation des eaux de déferlement qui n'intéresse que le fond puisqu'il agit au ras du sol, en faisant rouler les matériaux du fond marin.
- le courant d'arrachement ou de déchirure : il est le plus souvent perpendiculaire et parfois oblique au trait de côte et résulte du mouvement de retour au large des eaux de déferlement. son champ d'action déterminé par un fond sous-marin en couloir qui concerne les eaux, peut atteindre une longueur de quelques centaines de mètres et une largeur de 15 à 30 cm.
- Ce courant intéresse toute la masse d'eau, il peut faire rouler les sédiments et donner naissance à des colonnes de turbidité. Son action géomorphologique efficace est responsable de la topographie sillonnée de l'avant-côte

) La dérive littorale :

C'est un courant généré par la houle qui aborde le littoral avec une certaine obliquité (souvent inférieure à 10°) obligeant le jet de rive et la nappe de retrait de se faire obliquement c'est-à-dire dans le sens de la propagation. Le résultat est un déplacement parallèle au trait de côte des eaux littorales et, par là, un transport latéral des sédiments par rapport au rivage. La taille des grains transportés est fonction des conditions météorologiques dominantes et en particulier de la compétence du vent dont dépend en grande partie l'action géomorphologique de la dérive littorale.

Ce courant par son déplacement latéral, peut contribuer à l'appauvrissement d'une côte et à l'enrichissement d'une autre. Ceci fait que la plupart du temps le phénomène d'érosion touche surtout les côtes escarpées. Le processus d'accumulation intéresse les côtes basses et meubles et concerne les secteurs éloignés les uns des autres.

La dérive littorale peut se faire dans une seule direction prédominante ou bien dans deux directions opposées qui peuvent varier selon les saisons, en rapport avec le changement de direction des vents dominants. (Bourgou & Miossec, 2010)

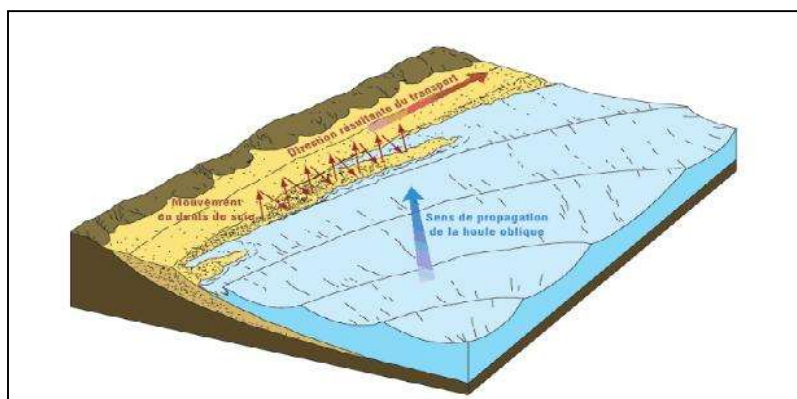


Figure 1.8 : Dérive littorale d'après Woodroffe

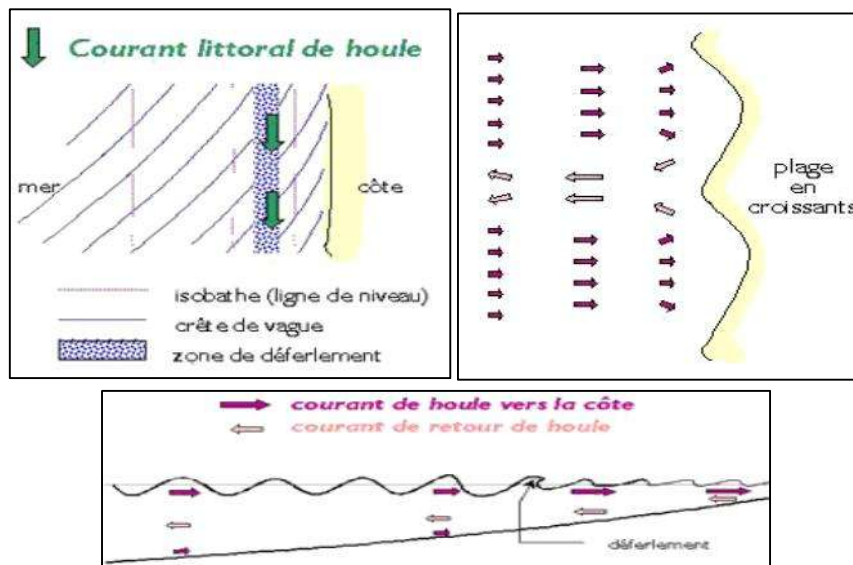


Figure 1.9 : Formation des courants de houle par déferlement des vagues sur le rivage
(Source : www.ifremer.fr)

1.4 Transport littoral :

Les sédiments reposant sur les fonds marins sont transportés lorsqu'ils sont soumis à de fortes sollicitations, ou des efforts de cisaillement, provoqués par les mouvements des masses d'eau. Ces mouvements peuvent être produits par les courants de marée ou par les vitesses orbitales des vagues ou une combinaison des deux, ce dernier cas étant la situation où le transport est le plus important.

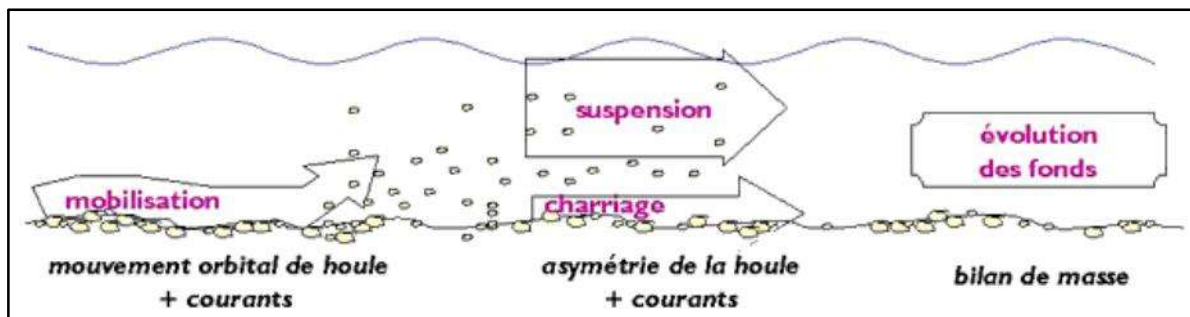


Figure 1.10 : Schéma de principe du transport des sables et des graviers (Géosciences Marines, s.d.)

Le transport sédimentaire littoral est donc déterminé par :

- La hauteur, la période et la direction des vagues.
- Le déferlement : type, zone d'action.
- Les courants : vitesses et directions.
- L'épaisseur de la colonne d'eau
- Les propriétés sédimentaires

Les évolutions sédimentaires dans la zone de transition (zone de surf), ainsi que les échanges entre la dune et la plage contrôlent l'équilibre précaire du littoral, basé sur des échanges de sable entre cordon dunaire, haut de plage et zone de surf.

Par ailleurs, il faut noter que le transport éolien participe à la dynamique des côtes sableuses. Il peut être évalué à partir de la vitesse du vent, de la largeur du haut de plage et des caractéristiques du sable, mais il est segmenté par la présence d'obstacle, tel que les bâches, qui interceptent le sable.

1.5 Erosion :

Si par définition, la plage est un rivage d'accumulation, on devrait assister à une avancée progressive vers le large du trait de côte lié à un budget sédimentaire excédentaire. Or, le diagnostic et le suivi de l'état des plages, après des observations répétées et sur de longues périodes, montrent qu'aujourd'hui une bonne majorité des plages dans le monde passe par une situation difficile, voire de régression (Bird, 1985)

Cette érosion côtière résulte de la conjonction de facteurs d'origine naturelle et humaine.

Les causes naturelles de la dégradation des plages s'expliquent essentiellement par un déficit croissant en sédiment d'origine naturelle, cette pénurie est le résultat de plusieurs facteurs :

-) L'épuisement du stock sédimentaire côtier
-) Les phénomènes tectoniques
-) L'élévation du niveau de la mer
-) Les transports sédimentaires par les courants, les houles et les vents

Cependant ces causes naturelles ne suffisent pas à expliquer cet état, les causes d'origine anthropiques sont multiples et aggravent de plus en plus la pauvreté en sédiments, des pratiques irrationnelles et une occupation de plus en plus intensive expliquent cette situation. Parmi elles, on peut citer les structures côtières interférant le transport littoral, celles-ci sont la cause la plus commune de l'érosion côtière. Les structures, qui peuvent causer ce type d'érosion, sont :

- Certains aménagements côtiers ou offshores.
- Réduction des apports fluviaux.
- Les extractions abusives de sables

CHAPITRE II:
Présentation des zones
d'études

III. CHAPITRE II : PRESENTATION DES ZONES D'ETUDES

Présentation de la baie d'El Djamila

2.1 Situation géographique de la Baie d'El Djamila :

La baie d'El Djamila est une baie qui se situe à environ une vingtaine de kilomètres à l'ouest de la wilaya d'Alger, elle représente le quart oriental de la baie de Bou-Ismaïl.

C'est une baie relativement fermée et limitée à l'est par Ras Acrata et à l'ouest par la presqu'île de Sidi Fredj. Elle est exposée aux houles de secteur Ouest à Nord.

Ses coordonnées sont les suivantes :

-) Port de Sidi Fredj 36°45'51.12"N et 2°50'48.86"E
-) Ras Acrata 36°48'15.02"N et 2°53'43.09"E

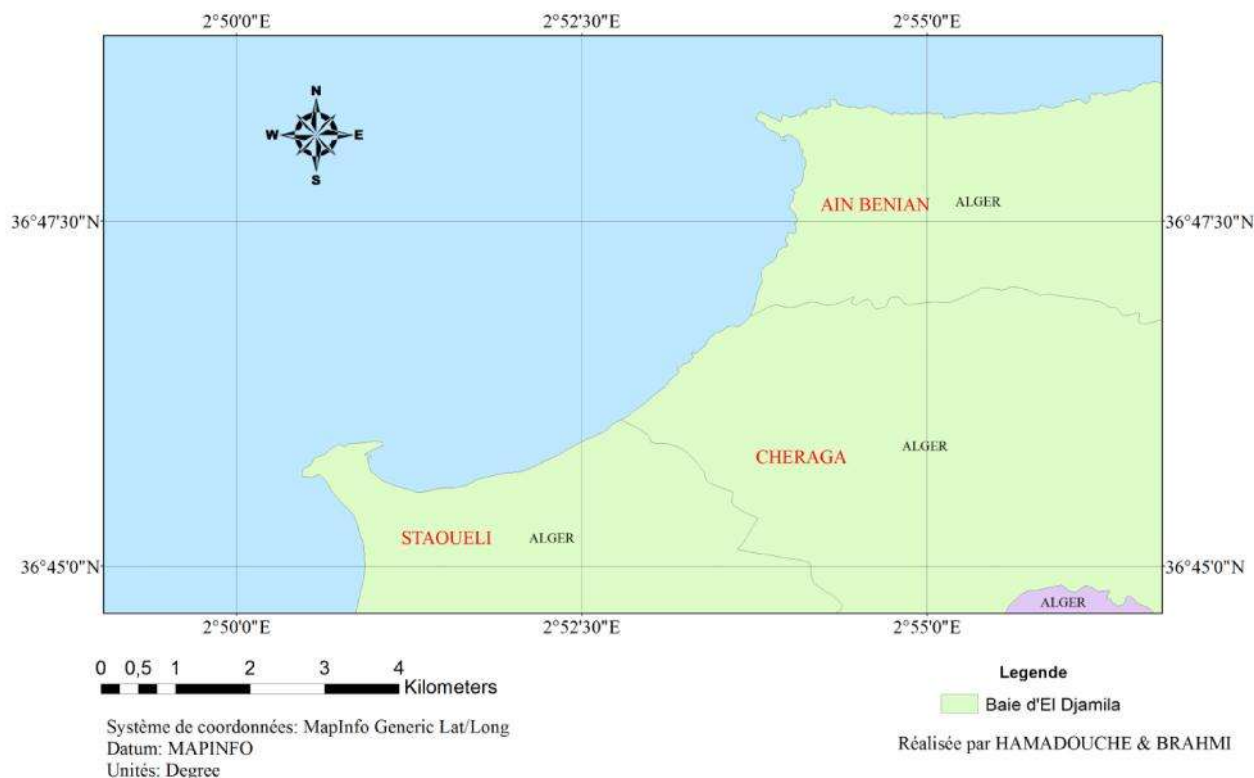


Figure 2.1 : Présentation de la baie d'El Djamila

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

Du fait de sa délimitation par deux caps. La Baie d'El Djamila constitue une cellule hydro-sédimentaire fermée, elle n'effectue aucun échange sédimentaire, sa seule source d'alimentation en sédiment est l'Oued Beni Messous (LEM 2009).

Le littoral de la baie d'El Djamilia, et en particulier la région centre de cette zone, subit depuis plusieurs années une érosion intense à tel point que des dégâts ont été observés lors des dernières tempêtes. Certaines habitations se retrouvent même en contact direct avec la mer. (Expertise pour l'étude de protection de rivage du site de club des pins par des solutions douces, 2009).

2.2 Cadre géologique de la baie d'El Djamilia :

La baie d'El Djamilia a comme limites géologiques le massif littoral du Chenoua à l'Est et le massif d'Alger à l'Ouest, ces deux massifs faisant partie du domaine Kabyle interne.

Entre ces deux massifs se situent le Sahel au Nord et la plaine de Mitidja au Sud.

2.2.1 Le massif d'Alger :

C'est un élément du socle. Il est constitué par un complexe cristallophyllien de Gneiss, Schistes et micaschistes qui réapparaissent à Sidi Fredj comme témoin de la nature du substratum marin dans la zone côtière.

Cet édifice constitue un pli de fond allongé Est-Ouest avec une structure écaillée, conséquence d'un charriage vers le Nord, supposé d'âge Alpin (Belkacemi, 2015)

2.2.2 Le Sahel :

C'est un bourrelet à structure anticlinale orienté Est-Ouest séparant, parallèlement à la côte, la plaine de la Mitidja de la mer. Il constitue une limite continue depuis l'Oued Nador à l'Ouest jusqu'à l'Est d'Alger. La cluse du Mazafran interrompt sa continuité.

Le Sahel est formé par des terrains d'âge Mio-Plio-Quaternaire, de marnes bleues recouvertes, localement par des couches gréseuses ou sableuses. Cet anticlinal est dissymétrique, avec un flanc sud raide et mieux conservé et un flanc Nord complétement rongé par les érosions successives, liées en grande partie aux manifestations eustatiques pendant le pléistocène.

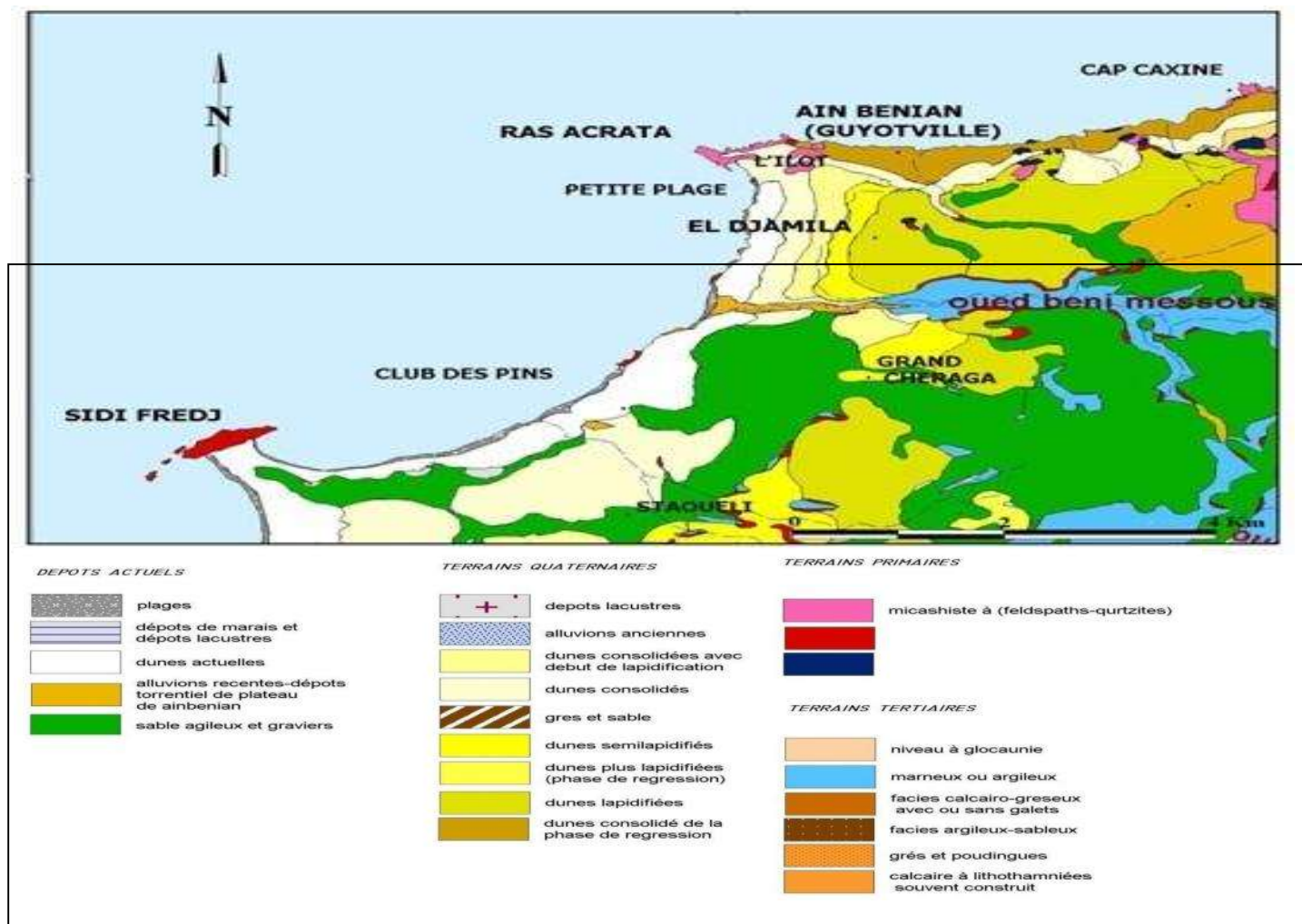


Figure 2.2 : Carte géologique de la Baie d'El Djamilia ; tirée de la carte géologique Alger-Chéraga, 1/50000e in BELKACEMI Soumia 2015

2.3 Cadre géomorphologique locale :

La géologie et la géomorphologie de la zone étudiée classe le site comme très vulnérable, sans aucune protection et face aux violentes tempêtes ; la plage de Club des Pins pourrait subir des érosions et des submersions très importantes du à son exposition à l'action frontale des vagues, causant des pertes dans le profil et menaçant ainsi les agglomérations et l'hôtel de Sheraton.

Le littoral compris entre Sidi Fredj et Ras Acrata se caractérise par une importante accumulation actuelle et subactuelle.

La côte Ouest de la Baie comprise entre l'embouchure de l'Oued Béni Messous et la pointe de Sidi Fredj est bordée par un cordon de sable dunaire limité par des plages plus ou moins importantes (Staouéli et Club des Pins).

2.3.1 Les plages :

A la suite du cordon dunaire, et vers la mer, s'étale principalement une zone de plage sableuse. Cette plage, qui s'adosse contre la jetée Sud du port de Sidi Fredj, décrit un large arc de cercle dont la concavité s'atténue progressivement vers l'Est.

La plage présente un développement maximal du côté de Sidi Fredj (100 à 200 m de large), entre Club des Pins et Moretti, et se réduit considérablement jusqu'à disparaître complètement au droit du centre touristique de Moretti.

Les sédiments de plages sont surtout des sables fins à moyens, contenant parfois des débris de coquilles. La taille des particules diminue en allant d'Est en Ouest.

Entre l'Hôtel El Riadh et la jetée Sud du port de Sidi Fredj, la plage est formée de sédiments très fins contenant de nombreux minéraux lourds, (LECLAIRE, 1972). Entre le chicot rocheux de Club des Pins et Moretti, les plages sont tapissées d'un sable moyen, qui par endroit s'associe à des débris de coquilles marines surtout aux alentours des affleurant rocheux de Club des Pins et Moretti

De GIOVANNI en 1972 avait noté la présence de deux formes mineures de plages : les sinuosités de plage et les croissants de plages. Ces formes mineures se rencontrent surtout sur la plage de club des Pins et les plages Est de Moretti, zones fortement battues par les houles.

2.3.2 Les platiers rocheux :

Dans la baie d'El Djamilia plusieurs platiers rocheux affleurent au niveau de l'estran et se poursuivent sous l'eau jusqu'à des profondeurs de -4 à -5m sur la plage de Moretti et de Club des Pins.

Actuellement certains affleurements sont recouverts par d'ensablement de la zone adjacente à la jetée sud du port. (Expertise pour l'étude de protection de rivage du site de club des pins par des solutions douces, 2009)

Ces affleurements apparaissent à 500m à l'Est de l'embouchure de l'oued Béni Messous (BERTOUNI, 1983) in (AINI, 2012)

2.3.3 Les barres et les fosses de lévigation :

Les barres et les fosses de lévigation sont le résultat des mouvements sédimentaires à proximité du fond. Dans la zone de déferlement de la houle, des barres naissent et se déplacent en fonction de la force et la direction des houles.

Dans la Baie d'El Djamilia, ces barres parallèles au trait de côte, se rencontrent devant la plage de Staouéli et de Club des Pins à une distance de 150 m à 200 m à partir de la ligne du niveau moyen des mers.

La morphologie de ces formes est très variable. Le sommet des barres peut atteindre des côtes de 2 et 3 m de profondeur alors que les fonds de fosses de lévigation sont de 4 et 5 m de profondeur. (Belkacemi, 2015)

2.4 Topographie de la baie d'El Djamila :

La configuration des fonds marins impactent sur la propagation des houles, les caractéristiques de ces dernières, à l'approche du littoral, interviennent dans les mouvements sédimentaires transversaux et longitudinaux.

Sur une grande partie du littoral de la baie d'El Djamila, les fonds marins sont relativement réguliers. Les distances des isobathes -10, -20 et -50m à la côte obtenues de la carte marine de Tipaza à Ras Matifou n° 1207, sont données dans le tableau avec les pentes des fonds correspondants

Tableau 2.1 : Distances des isobathes et la pente des fonds par rapport à la cote

Profondeurs	-10m	-20m	-50m
Distance à la côte	600m	2 000m	3 600m
Pente moyenne des fonds	De 0 à -10m 1.66%	De 0 à -20m 1.00%	De 0 à -50M 1.40%

Face à la zone d'étude les lignes bathymétriques s'éloignent du rivage, traduisant un adoucissement de la pente des fonds marins, l'isobathe -100m est à environ 7km du rivage.

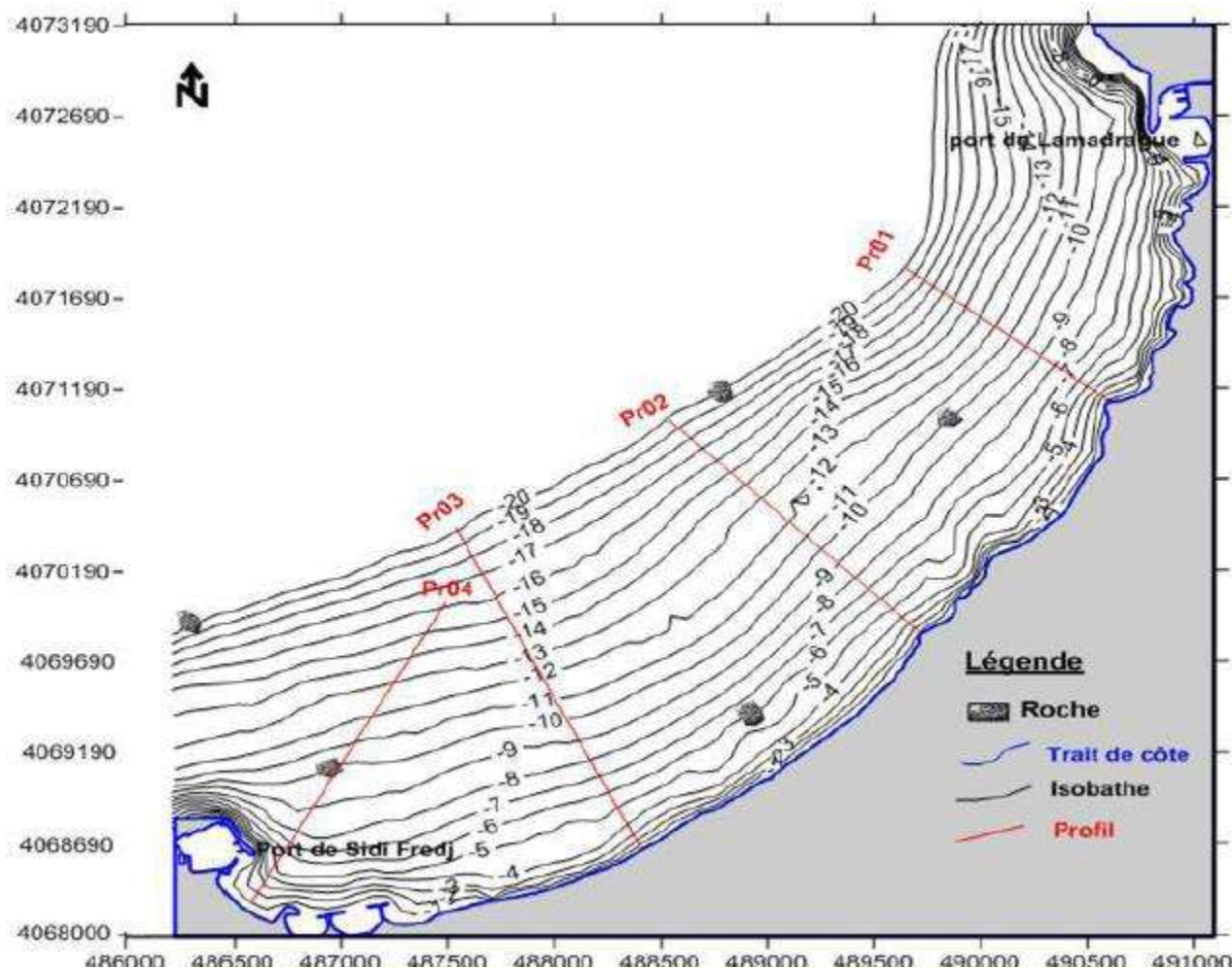


Figure 2.3 : Carte bathymétrique de la Baie d’El Djamilia (positionnement des profils bathymétrique). (CTH, 2009)

L’analyse de cette carte bathymétrique révèle un fond marin assez régulier qui se traduit par des isobathes parallèles à la côte. Ces isobathes se serrent au fur et à mesure que l’on avance vers l’Est des épis réalisés au niveau de la plage de Moretti, entre 0 et – 4m. Au-delà des -4 m de profondeur, ces isobathes s’élargissent au fur et à mesure que l’on avance vers le large.

2.5 Cadre hydrologique :

La baie d’El Djamilia est alimentée par l’oued Béni Messous et oued Boukara, ils prennent source dans le massif de Bouzareah. Cependant c’est l’Oued Beni Messous qui a les effets les plus ressentis sur la zone.

Oued Beni Messous :

Situé à 15Km entre El Djamilia et Club des Pins, à 18 Km à l’ouest d’Alger, il traverse la commune de Cheraga au Nord, Bouzareah au niveau d’une agglomération appelé « la Tribu »

au Nord-est, Ain Benian à l'Ouest et débouche au niveau d'une plage appelée « El Bahdja » d'une distance de 11.5Km, il regroupe l'oued Defla et l'oued Bainem.

L'Oued de Beni Messous reçoit un grand nombre d'effluents provenant d'un bassin versant d'une superficie d'environ 33Km², son embouchure est à environ 2Km à l'Ouest du port d'El Djamila, il est rarement à sec, lors de fortes précipitations il a une capacité de ravinement peu importante. Son débit est faible, estimé à 7.7 millions m³/an (0.245 m³/s)

Les apports terrigènes sont essentiellement issus de l'Oued de Beni Messous. Néanmoins les exploitations d'agrégats au niveau de cet oued déstabilisent la baie en termes de régime d'alimentation en sédiment. (Alliouane, 2006) + (celui de nadir + mémoire en ligne).

Tableau 2.2 : Caractéristiques du bassin versant de l'oued Beni Messous in Mohamed Nadir

Surface Bassin Versant (Km ²)	Longueur (Km)	Pente (%)	Altitude			Perméabilité	
			Min	Max	Perméable	Semi-perméable	Imperméable
33	11.50	3	00	360	7 Km ² 21.2%	11Km ² 33.3%	15Km ² 45.5%

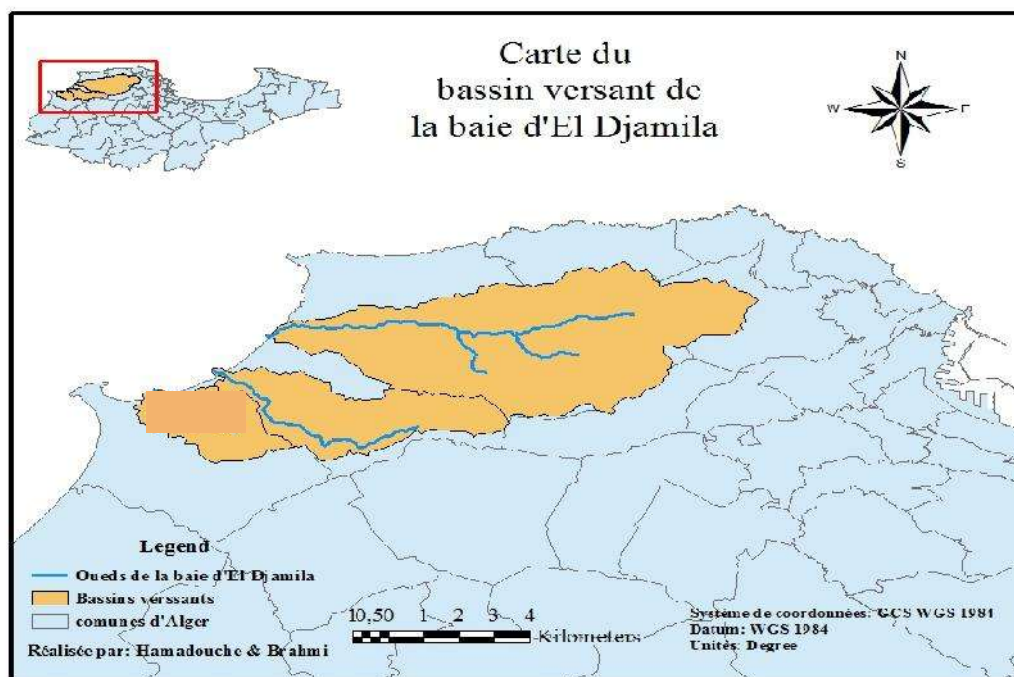


Figure 2.4 : Carte du bassin versant de la baie d'El Djamila

2.6 Cadre climatique :

Les données météorologiques et climatiques présentent une grande importance pour les travaux maritimes. Certains mouvements de la mer, notamment les houles, dépendent exclusivement des vents, car ils sont générateurs de vagues et de courants superficiels, leurs impacts augmentent avec leur vitesse. (Moulin et al. 1978).

Aussi pour une étude du site, le régime des vents doit être une donnée locale que l'on définit par sa fréquence, son intensité et sa direction à partir de l'exploitation des données d'observation étalées sur une assez grande période (Larid. 1992).

2.6.1 Le vent :

Le vent est un paramètre anémométrique très important pour une étude hydrodynamique et la morpho dynamique de la zone côtière.

Par leurs fréquences, leurs forces, et en cas d'absence d'obstacles topographiques, les vents ont des actions morphogéniques importantes sur les littoraux.

Venant du large et lorsqu'ils sont parallèles au rivage, en fonction de leurs directions, ils peuvent renforcer ou ralentir la dérive littorale. Lorsqu'ils sont perpendiculaires à une plage, ils accroissent la cambrure des vagues, ce qui accentue l'agressivité de ces dernières et accélèrent le démaigrissement de la plage.

Concernant le vent de terre, et lorsqu'il est face aux vagues, ils diminuent leur hauteur, réduisent leur cambrure et ralentissent leur avancée, causant l'engraissement de la plage.

L'analyse de ce facteur météorologique régissant la baie d'El Djamila est effectuée à partir de deux sources :

- Données du Service Hydrographique des Forces Navales (SHFN) : Cette source de données indique les conditions de vent au large :
- Données de la station de Dar El Beida : Cette base de données, constitue une donnée locale.

Situation géographique de la station : Alger Dar-El-Beida
Altitude : 25 m – Latitude : 36°41 N – Longitude : 03°13 E

CHAPITRE II : PRESENTATION DES ZONES D'ETUDES

- Données de houle au large fournies par le SHFN :

Tableau 2.3 : Fréquence saisonnière des vents au large par direction en pourcentage et par des classes des hauteurs significatives (SHFM, 2016).

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

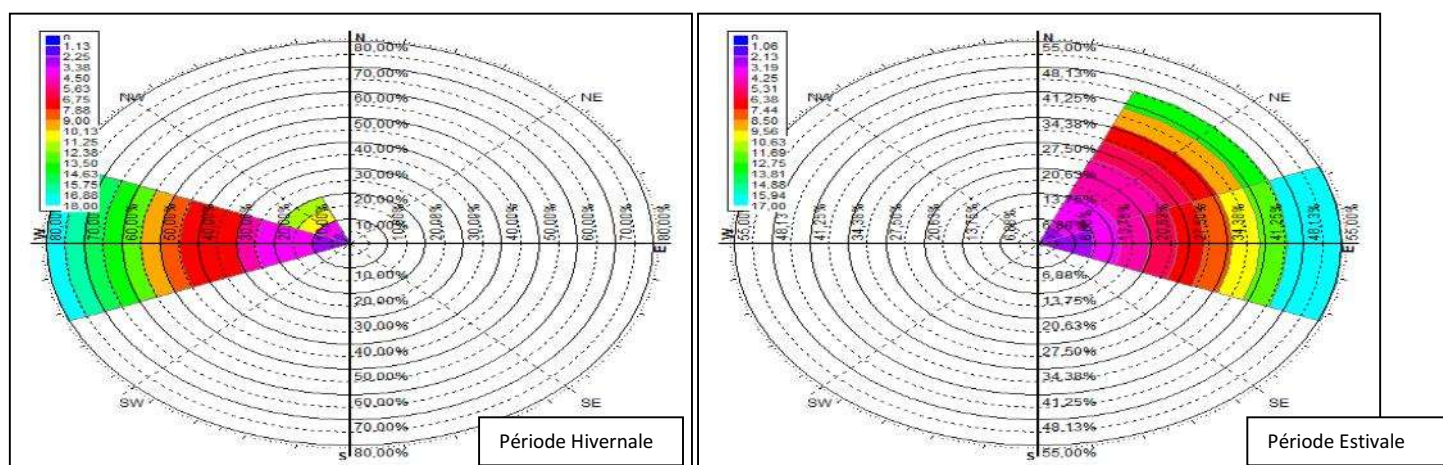


Figure 2.5 : Roses récapitulatives saisonnières des fréquences d'apparition du vent au large en fonction de leurs vitesses faites par le logiciel HYDROGNOM in Mohamed Nadir 2016

D'après les résultats d'observations effectuées par l'US Naval Weather service command (S.S.M.O) année 1963-1970 au large des côtes algériennes, on note l'existence de deux périodes distinctes :

- Une période hivernale : Vents dominants de direction Ouest et Nord-Ouest.
- Une période estivale : Vents fréquents de secteur Nord et Nord-Est. (Abdi, 2003).

CHAPITRE II : PRESENTATION DES ZONES D'ETUDES

- Données de station de Dar-El-Beida :

Tableau 2.4 : Distribution fréquentielle du vent à la station météorologique de Dar El Beida selon 4 classes de vitesses et 16 directions (période 1er Janvier 1995 au 31 Décembre 2015, ONM).

Mois	Annuel				
Direction	01-mai	05-oct.	oct.-15	>=15	Total %
N	3%	2%	0%	0%	5%
NNE	3%	2%	0%	0%	4%
NE	3%	3%	0%	0%	7%
ENE	2%	2%	0%	0%	5%
E	2%	1%	0%	0%	1%
ESE	0%	0%	0%	0%	1%
SE	0%	0%	0%	0%	1%
SSE	1%	0%	0%	0%	1%
S	1%	1%	0%	0%	2%
SSW	2%	0%	0%	0%	2%
SW	4%	1%	0%	0%	5%
WSW	5%	2%	0%	0%	7%
WSW	4%	4%	0%	0%	8%
WNW	1%	1%	0%	0%	2%
Mois	Annuel				
	01-05	05-10	10-15	>=15	Total %
NW	1%	1%	0%	0%	2%
NNW	2%	2%	0%	0%	4%
Calme					43%
Total(%)	33%	22%	2%	0%	57%

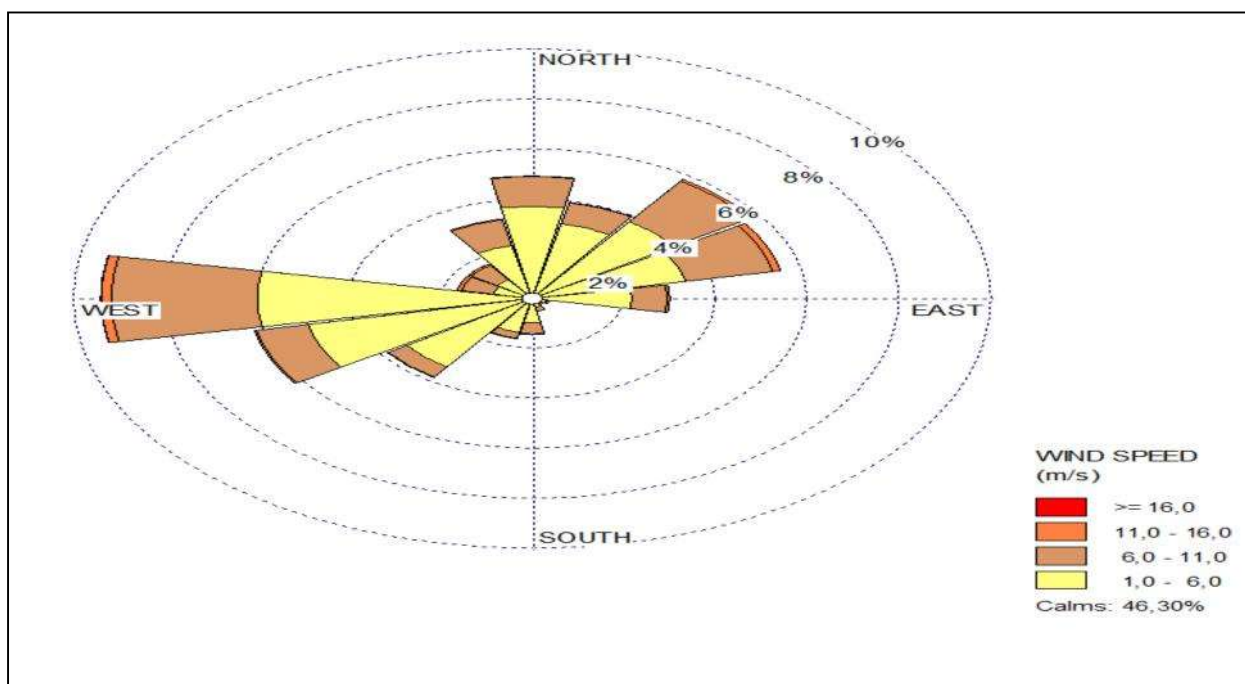


Figure 2.6 : Répartition annuelle des vents en % (ONM, Dar-El-Beida, 1995-2015).

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

2.7 Cadre océanographique :

2.7.1 Mer du vent et houle :

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

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

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

Dans la Baie d'El Djamila, font apparaître deux régimes :

- J) **En hiver** : Les houles d'Ouest dominant avec la majorité des amplitudes sont entre 1 et 3 m pouvant atteindre les 5m, elles engendrent des courants de retour qui entraînent les sédiments vers le large.
- J) **En été** : Les houles les plus dominantes sont issues du secteur Nord-est avec des amplitudes moins faibles, et on remarque aussi que les houles du secteur Ouest sont assez importantes, ces dernières engendrent une dérive littorale.

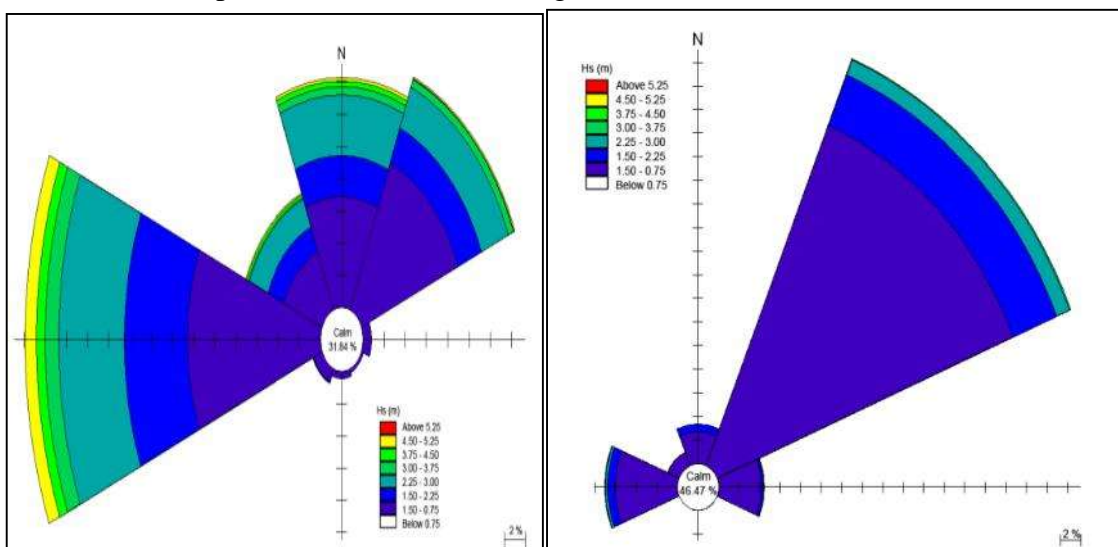


Figure 2.7 : Rose des vagues au large de la côte Algérienne Hiver – été (HMI, 2011).

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

Tableau 2.5 : Amplitudes des houles en fonction des directions et leurs périodes de retour (SSMO, 1963-1970).

Dir	Période de retour (m)					
	Biennale	Quinquennale	Décennale	Vingtennale	Cinquantennale	Centennale
N	4.90	5.57	6.38	7.02	7.87	8.50
NE	4.93	5.67	6.23	6.79	7.53	8.08
E	4.12	4.70	5.14	5.59	6.17	6.62
O	7.36	8.43	9.22	10.02	11.08	11.88
NO	4.16	4.87	5.40	5.94	6.65	7.18

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

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

Tableau 2.6 : Répartition des états de mer par période (SSMO, 1963-1970).

Etat de la mer	Période des vagues					
	<à 6s	6-7s	8-9s	10-11s	11-12s	13s
Calme	5.2	0.1	-	-	-	-
0	10.8	1.9	0.4	-	-	-
1	24.6	31.1	2.7	0.5	0.2	-
2	2.6	5.4	3.1	0.9	0.2	-
3	0.4	1.1	1.00	0.6	0.2	-
4	0.1	0.5	0.3	0.3	0.3	-
Total (%)	53.7	22.1	7.5	2.3	0.9	-

A partir du tableau 2.6, on peut constater que les houles qui ont une période inférieure ou égale à 7s sont majoritaires avec un pourcentage de 75%, par rapport aux houles entre 10-12s qui représentent seulement 3%.

2.7.2 Les courants :

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

) Le courant Algérien :

C'est un courant général (qui domine au large de la région d'étude), d'origine Atlantique, il se déplace d'Ouest en Est le long des côtes algériennes sous l'effet de la Force de Coriolis. Ce courant général entre 1° et 2° Est devient instable pour former des Tourbillons anticycloniques accompagnés de phénomènes d'upwelling (La remontée d'eau) (Milot et al, 1990).

2.7.3 La marée :

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

2.8 Les facteurs d'érosion :

2.8.1 Régime de la houle :

Les roses de houle en provenance du large de la Baie d'El Djamila indiquent qu'il existe deux régimes de houles distinctifs : les houles provenant de l'Ouest et les houles provenant du Nord-est.

La baie étant orientée vers le Nord-Ouest, il existe très peu de houle arrivant de manière frontale. La majorité des houles arrive donc avec un angle d'incidence qui provoque une dérive littorale vers le Nord-Est ou vers le Sud-Ouest.

Cependant, l'influence de ces courants ne se fait ressentir qu'à partir du milieu de la baie. D'un côté comme de l'autre, du fait de la présence des deux caps (Sid Fredj et ras acrata) qui créent une zone d'ombre.

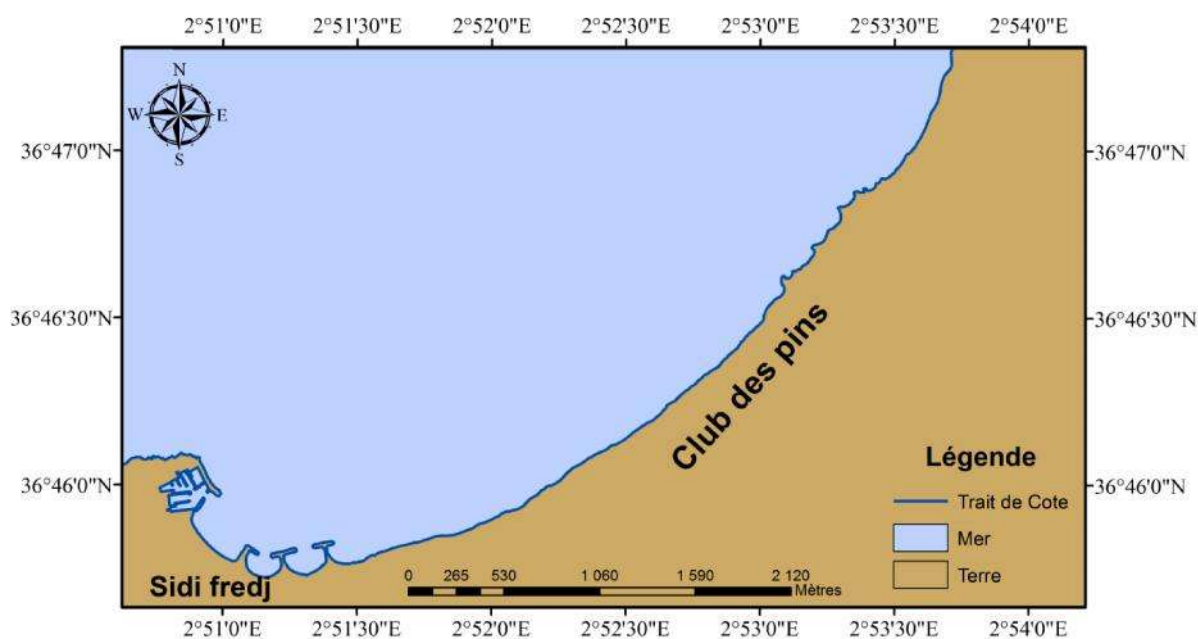


Figure 2.8 : Carte présentant la partie ouest de la baie d'El Djamila, plages de Sidi Fredj, Riadh et Club des pins (Brahmi et Hamadouche)

Aménagement 01 : Port de Sidi Fredj et ouvrages de protection du littoral Est de Sidi-Fredj "Plage Riadh"

2.9 Zone de Sidi Fredj :

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

Les coordonnées géographiques de la région de Sidi Fredj sont :

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

2.9.1 Ensablement de la passe d'entrée du port de Sidi Fredj

Le port de Sidi Fredj est subdivisé en cinq (5) bassins aménagés pour permettre l'accostage des petits bateaux ou embarcations.

- Bassin 1 : c'est le bassin le plus éloigné de l'entrée du port, et c'est lui qui accueille le déversement d'eaux usées par l'égout principal.
- Bassin 2 : délimité par l'épi de la tour mauresque et l'épi de la station d'essence.
- Bassin 3 : c'est le bassin de l'hivernage, délimité par la grande jetée.
- Bassin 4 : délimité par l'apportement trois (3) à l'intérieur et la jetée sud à l'extérieur.
- Bassin 5 : situé à la sortie du port et communique avec le large

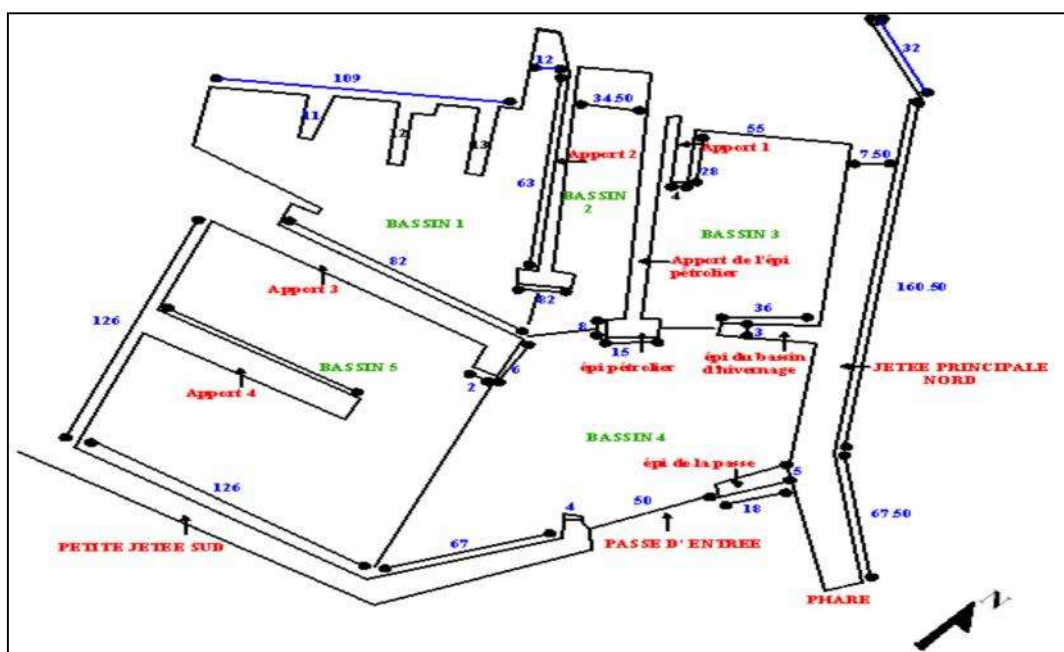


Figure 2.9 : Dimensionnement du port de Sidi Fredj « plan de masse »
(Belabdi et Ounnas, 2011).

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

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

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

Mais la cote de Sidi-Fredj ne bénéficiera des premiers aménagements qu'en 1985, qui consistent en l'implantation de trois épis (deux en forme de T et un en forme de L) d'une équidistance d'environ 150m, avec un rechargement de la plage sableuse par les sables dragues dans le port de plaisance. Le laboratoire d'étude maritime (LEM) a installé pour assurer une défense pour une attaque à double action (érosion et dérive littorale) :

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

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

Mais ces ouvrages ont déclenché un recul important sur la plage de Moretti où on a constaté des pertes en surface et en volumes très importantes.

Ces ouvrages n'ont pas répondu aux résultats escomptés et l'érosion du trait de côte au milieu des alvéoles persiste toujours. L'épi crée une accumulation de sable du côté exposé au courant et une érosion du côté protégé. Lorsque l'accumulation devient trop importante, le sable peut cependant passer par-dessus l'épi, subir l'érosion, s'accumuler sur l'épi suivant etc....un champ d'épis ne va donc pas empêcher la plage de se déplacer mais va retarder fortement ce déplacement

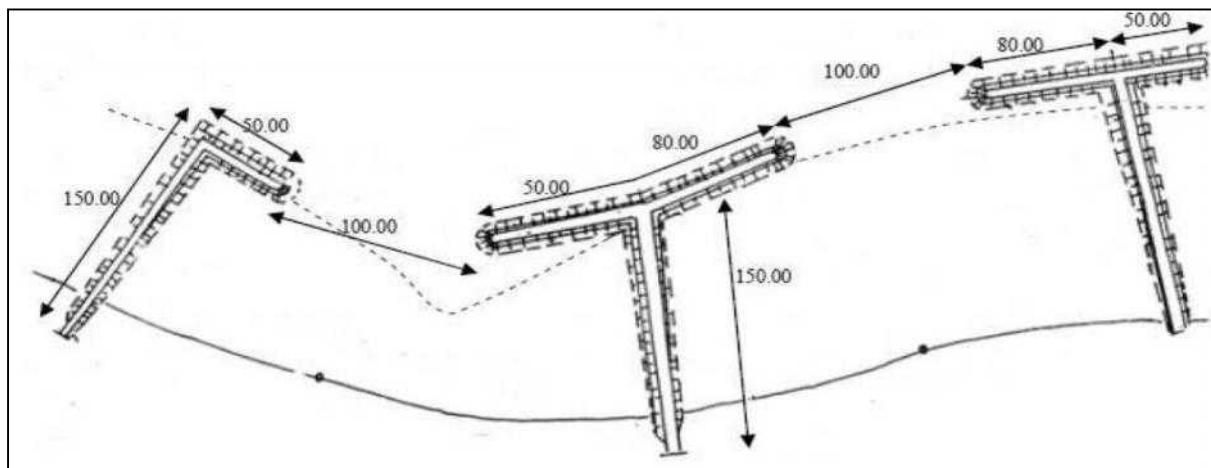


Figure 2.10 : Dimensionnement des ouvrages de protection (1985) du littoral Est de Sidi-Fredj (Mezouar, 2009).

Aménagement 02 : Protection du rivage de Club des pins

2.10 Club des pins :

La zone d'étude Club des Pins s'inscrit dans la baie d'El Djamila à l'Est d'Alger, orientée globalement Sud-ouest Nord-est.

Le site d'étude est localisé au niveau de la résidence d'état El Sahel " Club des Pins" qui est une station balnéaire située à 25km à l'Ouest d'Alger dans la commune de Staoueli.

Ses coordonnées géographiques :

-) 36° 46' Nord de l'équateur
-) 02° 52' à 02° 53' Est de Greenwich

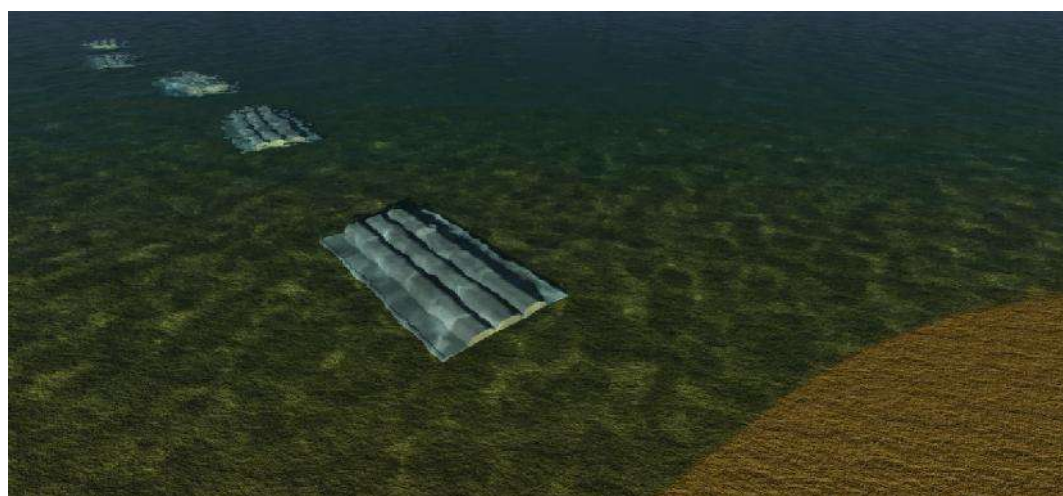


Figure 2.11 : Représentation 3D des brises lames immergés réalisés par AutoCAD (Brahmi et Hamadouche)

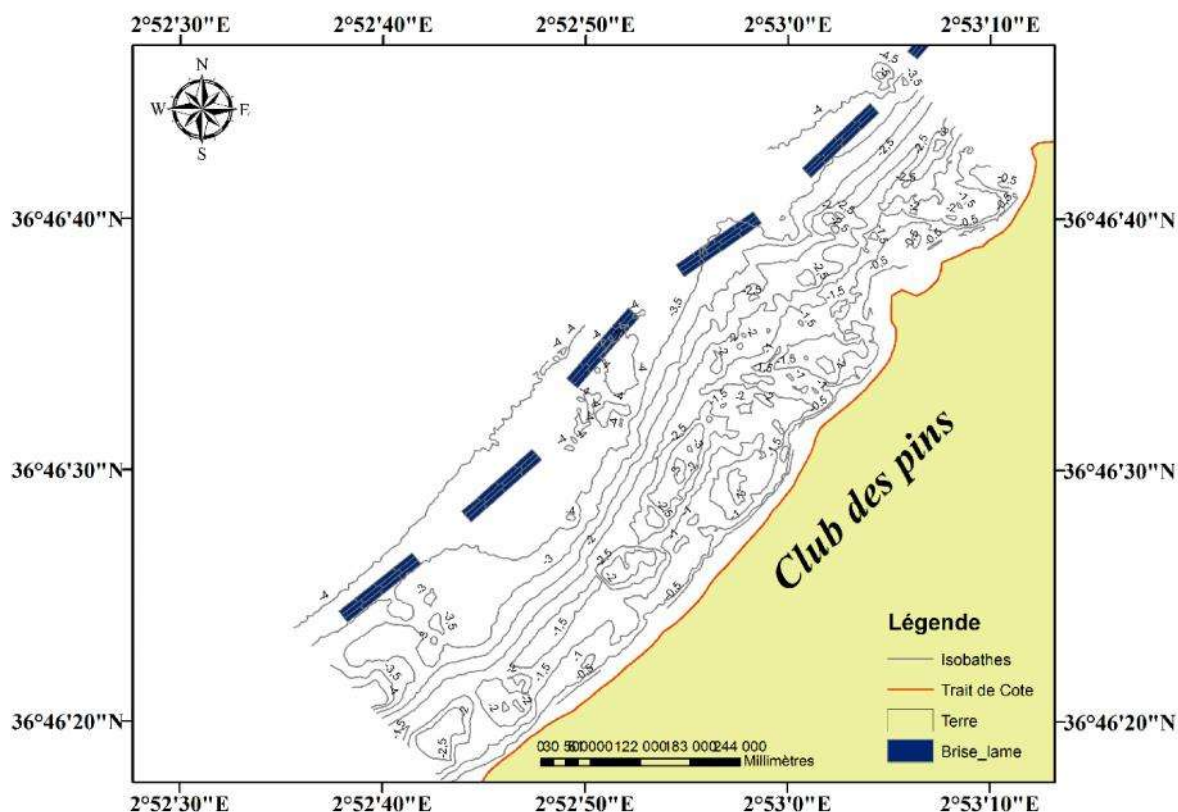


Figure 2.12 : Carte de présentation des ouvrages de protection du type brise-lame dans la plage Club des pins (LEM 2009)

La superposition de la carte bathymétrique et de la carte géomorphologique des fonds issues des données du sonar latéral, réalisées par le LEM durant la campagne de juillet 2009, montre que :

La disposition des lignes bathymétriques indique qu'il y a présence de fond régulier du large jusqu'à l'isobathe -4m, et un fond relativement cachoté, ou moins régulier, entre l'isobathe -4m et la côte notamment dû à la présence des platiers rocheux.

Même si la plage est en "mode estival", elle montre un profil de plage adapté à des houles moyennes. Visible sur les profils P02, P03, P04 et P05, une barre déferlement entre 200 et 300m de la côte à une profondeur de -3m. Cela indique qu'elle est configurée pour recevoir des houles de hauteur significatives allant jusqu'à HS= 2m50 (LEM).

Cette zone est aussi caractérisée par la présence de platier rocheux qui affleurent au niveau de l'estran jusqu'à des profondeurs d'environ (-4m a -5m)

Cadre climatique :

L'étude de la carte climatique fait ressortir les régimes hydrodynamiques qui influent sur l'évolution des fonds marins de notre zone d'étude.

L'irrégularité du régime et l'alternance des deux saisons nettement contrastées constituent les éléments fondamentaux du climat des pays du sahel

La proximité de la mer confère à ces régions un climat remarquablement tempéré, dû à l'effet modérateur de la mer. Les données climatiques (précipitation et température) restent à peu près voisines et uniformes sur le Sahel et dans la plaine de la Mitidja (Légères variations dues à la disposition géographique de chaque ensemble). (Expertise pour l'étude de protection de rivage du site de club des pins par des solutions douces, 2009)

La géologie et la géomorphologie de la zone étudiée classent le site comme très vulnérable, sans aucune protection et face aux violentes tempêtes ; la plage de Club des Pins pourrait subir des érosions et des submersions très importantes dues à son exposition à l'action frontale des vagues, causant des pertes dans le profil et menaçant ainsi les agglomérations et l'hôtel de Sheraton.

Présentation de la plage Sirène II :

1 SITUATION GEOGRAPHIQUE DU SITE D'ETUDE

Le site d'étude se situe dans la partie centrale de la Baie d'Alger dans la commune de Mohammedia Daïra de Dar El Beida à environ 10 km à l'Est d'Alger, au niveau des latitudes 36° 44' 37" à 36° 44, 45".

La commune de Mohammedia présente une superficie de 800 hectares ; elle est limitée au Nord par la mer méditerranée, la route nationale n° 05 au Sud, le camp militaire du Sirène II à l'Est et à l'Ouest par Oued Mazela

La zone d'étude, plage du Sirène II, présente un linéaire côtier de 900 mètres environ.

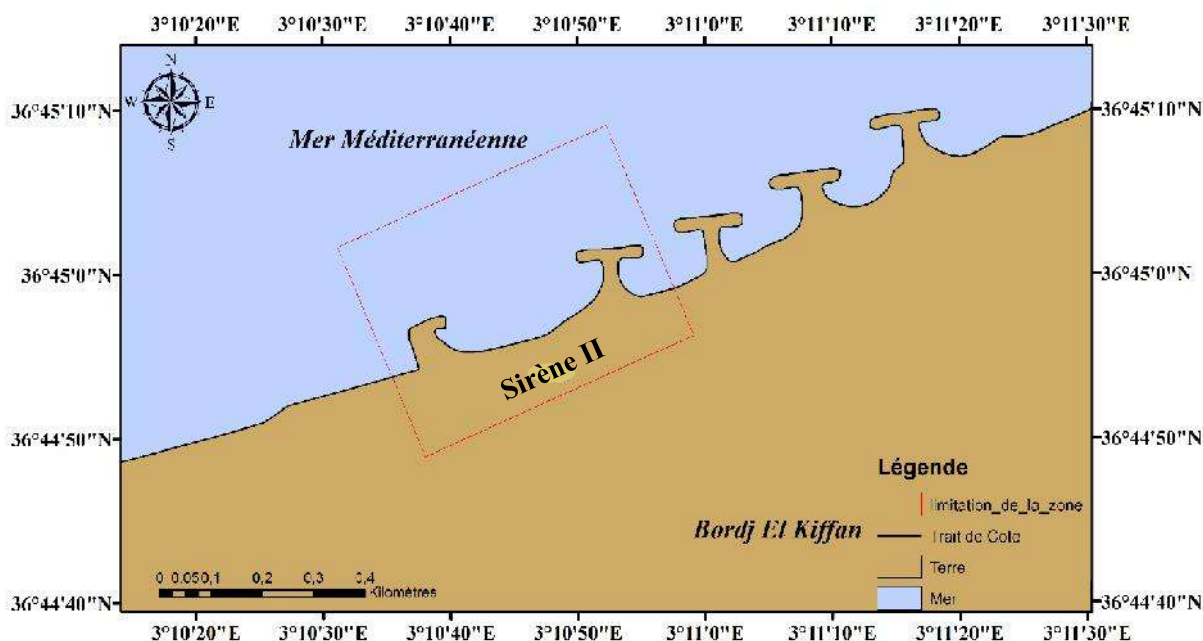


Figure 2.13 : Carte représentatif de la zone Sirène II (Brahmi et Hamadouche)

2 Cadre géologique de la plage Sirène II :

Du point de vue géologique, la zone d'étude fait partie du Sahel Sud d'Alger. L'essentiel des déformations et des plissements d'âge Néogène a donné naissance aux anticlinaux du massif d'Alger, du Cap Matifou, du Sahel ainsi que la formation du synclinal de la Mitidja.

Les dépôts continentaux Holocènes recouvrent une partie de la plaine et du littoral, il s'agit de dépôts de sables dunaires et d'alluvions dans les lits des Oueds actuels.

Ces dépôts sont constitués :

- D'argiles jaunes avec des passages de graviers intercalés de vase. Ils couvrent les fonds rouges plus ou moins argileux,
- De sables argileux qui proviennent de la désagrégation mécanique des formations environnantes et ne subsistent plus qu'à l'état de lambeaux plus ou moins arrondis,
- D'alluvions caillouteux d'El MOHAMMADIA qui occupent la superficie au 2/3 dans sa partie Nord et sa partie centrale ; ils sont composés de cailloutis, de sable et de limons quant aux dépôts marins, trois types de faciès sableux sont observés dans la couche superficielle de la baie d'Alger :
 - Un faciès sableux qui se limite à la bordure littorale,
 - Un faciès carbonaté qui se réduit aux bordures rocheuses littorales et aux hauts fonds rocheux de la baie,

- Un faciès pilitique occupant la partie centrale et la partie septentrionale de la baie.

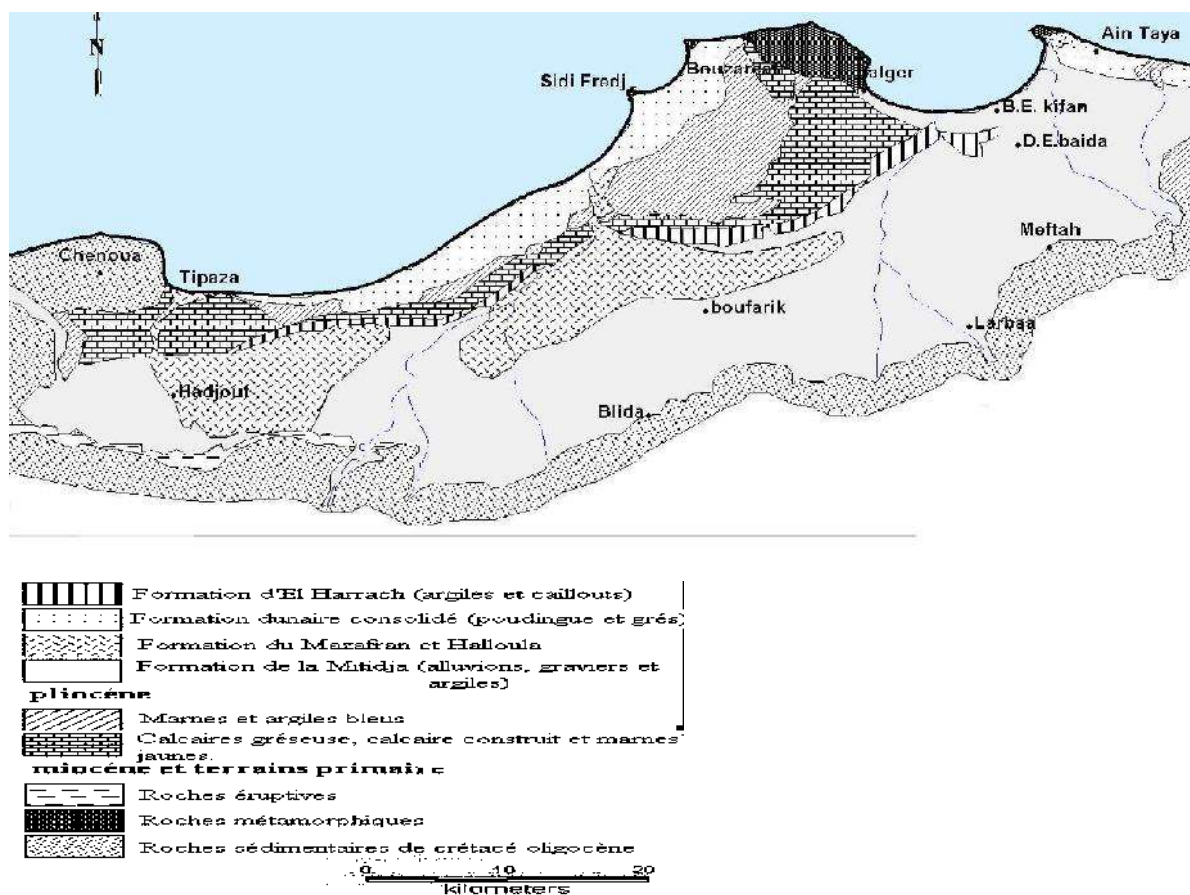


Figure 2.14 : Carte géologique de région centre d'Alger

3 Cadre géomorphologique :

Au niveau de la baie d'Alger face à la zone d'étude les lignes bathymétriques s'éloignent du rivage, traduisant un adoucissement de la pente des fonds marins. L'isobathe —100 ni est à 10 km du rivage

Tableau 2.7 : Distances des isobathes à la côte et pentes des fonds (Carte marine du SHOM n°5638 à l'échelle : 1/30 000 ème,)

Profondeur	-5m	-10m	-20m	-50
Distance à la côte	300m	840m	1650m	4500m
Pente moyenne des fonds	De 0 à -5mm 1.66%	De 0à -10m 1.20%	De 0 à -20m 1.20m	De 0 à -50m environ 1%

Les résultats de la campagne de sondage bathymétrique réalisée en 2009 par le LEM révèlent une géomorphologie sous-marine régulière, sans accidents topographiques majeurs. Les isobathes sont régulières et parallèles à la côte et la pente moyenne des fonds est de douce.

4 Cadre Hydrologique :

La zone d'études est encadrée par deux Oueds, Oueds El-Harrache et Oued Hamiz, ces Oueds appartiennent au réseau hydrographique de la baie d'Alger, qui se caractérise par un régime temporaire et irrégulier.

En été, les lits des Oueds se réduisent ou sont quasiment à sec, par contre ils connaissent des crues très violentes pendant la saison hivernale.

La baie d'Alger est donc alimentée par l'Oued El-Harrach et l'Oued El Hamiz, cours d'eau qui prennent leur source dans l'Atlas Blidéen drainant la plaine de la Mitidja.

Le bassin versant de l'Oued El-Harrach couvre une superficie de 1270 km² et s'étale du Nord au Sud sur 51 km et de l'Est en Ouest sur 31 km. Il englobe trois grands domaines physiques différents : l'Atlas Blidéen, la plaine de la Mitidja et le Sahel. Le régime hydrographique de l'Oued El-Harrach se caractérise par un long étiage de 6 mois et des crues d'hiver et de printemps soudaines et rapides. L'Oued El-Harrach est formé par la confluence de deux Oueds principaux, l'Oued Akka et l'Oued Mekka sur une longueur de 67Km, il est alimenté également par six affluents (Oued Djemaâ, Oued Baba Ali, Oued Terrou, Oued Kerma, Oued Smar et Oued Ouche). (LEM 2009)

5 Cadre Climatique :

L'irrégularité du régime et l'alternance de deux saisons nettement contrastées constituent les éléments fondamentaux du climat des pays du Sahel. La proximité de la mer confère à ces régions un climat remarquablement tempéré, dû à l'effet modérateur de la mer.

La région d'Alger appartient au domaine méditerranéen sub-humide.

Le climat est de type méditerranéen, caractérisé par un été sec et chaud et un hiver humide et froid.

5.1 Les vents :

L'analyse du régime des vents est effectuée à partir des données de la station de Dar El Beida de 1975 à 1984.

DONNEES DE LA STATION DE DAR EL BEIDA (PERIODE 1975 A 1984)

Les enregistrements de la station de DAR EL BEIDA sur la période 1975 à 1984 présentent les résultats suivants :

- Les vents de direction N360° (fréquence 12%) présentent une répartition constante durant toute l'année,
- Les vents de NE de direction N45° (fréquence 10%) sont dominants en période estivale s'étalant de mai à septembre,
- Les vents de SW de direction N225° (fréquence 14.5%) et d'W de direction N270° (fréquence 11.5%) sont dominants en période hivernale qui s'étale d'octobre à avril. (LEM.2009)

6 Cadre océanographique :

6.1 La marée :

Les variations du niveau de la mer résultent de la combinaison de l'effet de plusieurs phénomènes

-La marée astronomique due aux effets de l'attraction de la lune et du soleil sur les particules liquides.

- Les perturbations d'origine météorologique liées aux variations de la pression atmosphérique ou à l'action du vent.

- La marée astronomique est de type semi-diurne avec inégalité diurne ; son amplitude est faible et reste inférieure à 40 cm sur la façade algérienne.

Elle présente d'importants écarts suivant l'époque lunaire et est le plus souvent masquée par la surélévation ou l'abaissement du niveau de l'eau engendré par des variations de conditions climatologiques.

En moyenne, la marée de pleine lune est de 25 à 30 cm (marée de vives eaux) et celle de la nouvelle lune de 5 à 15 cm (marée de mortes eaux).

D'autres phénomènes peuvent se superposer à cet effet astronomique tel que la pression atmosphérique.

Les effets ponctuels liés à un coup de vent persistant (gonflement du plan d'eau au niveau du rivage) ou à un passage dépressionnaire peuvent engendrer des fluctuations bien supérieures à la marée astronomique ; pour l'Algérie, ils peuvent provoquer des dénivellations qui peuvent atteindre 1 m et masquer l'effet des marées.

6.2 Les houles au large :

Les données de houles disponibles sont celles issues des données du SSMO sur la période 1963 à 1970,

6.2.1 Les observations du SSMO :

Les données de la houle au large sont reprises d'un document intitulé "SUMMARY OF SYNOPTIC METEOROLOGICAL OBSERVATIONS" (S.S.M.O Tome 2, zone Algiers). Ces données s'étalent sur une période de 8 ans de 1963 à 1970.

Une analyse statistique de ces données de base permet de définir les secteurs de la houle prédominants et leurs amplitudes respectives. Des roses de houles au large de la baie d'Alger sont établies trimestriellement et annuellement

Fréquences mensuelles de la houle :

Les fréquences mensuelles de la houle au large par direction sont données dans le tableau ci-après.

Tableau 2.8 : Fréquences mensuelles de la houle du large par direction SSMO

Mois	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Janvier	8.1	12.9	18.2	5.0	6.5	13.2	28.8	7.3
Février	8.8	10.3	12.6	4.0	6.1	16.9	35.6	5.8
Mars	11.3	12.6	15.8	3.6	4.5	12.3	30.5	9.2
Avril	11.7	15.4	16.0	2.0	4.4	13.7	26.7	10.2
Mai	8.2	26.3	31.9	3.0	3.3	7.2	13.9	6.2
Juin	9.2	29.1	29.8	1.8	1.4	8.2	16.4	4.2
Juillet	5.6	32.5	35.1	1.4	1.0	5.9	16.3	2.0
Août	8.8	27.7	37.3	1.9	1.1	5.0	13.4	4.9
Septembre	6.7	26.4	40.5	2.2	2.3	4.6	14.8	2.5
Octobre	7.8	14.1	20.3	3.2	4.2	14.8	28.8	6.8
Novembre	5.5	5.8	10.0	5.1	8.0	15.9	40.4	9.4
Décembre	10.2	6.2	9.4	4.6	7.5	15.0	37.1	10.0
Moyenne	8.5	18.3	23.1	3.2	4.2	11.1	25.2	6.5

Les houles d'Ouest, d'Est et de Nord-Est sont les plus fréquemment observées.

Les fréquences d'observations sur l'année des houles d'Est et d'Ouest sont sensiblement identiques avec toutefois une légère prédominance du secteur Est. Les houles de tempête

proviennent essentiellement du secteur Ouest. Les fréquences d'apparition sont plus faibles pour le secteur Nord et Nord-Ouest. Le secteur Nord a une répartition assez régulière durant l'année.

Pour conclure, en hiver les houles prédominantes sont de secteur Ouest-Nord-Ouest avec une période moyenne de 8 à 9 secondes ; des périodes supérieures à 10 s (pouvant atteindre 13 s) sont relevées lors de grandes tempêtes.

L'amplitude moyenne correspondante la plus fréquente est de 2 à 3 m ; des houles peuvent atteindre des amplitudes maxima de 4 à 6 m. La longueur d'onde des houles d'hiver les plus fréquentes est de 150 à 170 m avec une célérité de 14 m/s, Par "gros temps" les valeurs sont plus élevées : longueur d'onde de 200 m et célérité de 17 m/s. Dans ces conditions, la profondeur de déferlement peut-être estimée entre 5 et 8 m.

6.2.2 Les houles à la côte

L'étude de la réfraction de la houle a pour objet l'exploitation et le transfert des caractéristiques de la houle au large pour définir les caractéristiques de la houle à la côte. Les données de la houle à la côte serviront de données d'entrée aux premières estimations de la capacité de transport par la houle et / ou pour le dimensionnement des ouvrages maritimes.

7 Facteur d'érosion :

7.1 Urbanisation :

Pendant très longtemps, pour assurer la protection du littoral, des ouvrages de haut de plage, constitués par une digue longitudinale plus ou moins réfléchissante ont été réalisés. La réaction du littoral vis-à-vis de ces aménagements a montré qu'un tel système de défense, n'apporte non seulement pas d'améliorations, mais peut souvent porter préjudice à la stabilité de la plage si l'ouvrage est très réfléchissant. Ce schéma concorde parfaitement avec les constatations effectuées sur le terrain au niveau de la zone d'étude ; en effet, l'urbanisation anarchique a fait que les constructions trop proches du rivage constituent par elles-mêmes des obstacles réfléchissants pour les houles d'incidence frontale entraînant ainsi la disparition des plages et la dégradation permanente des habitations par déchaussement des fondations.

7.2 Extraction abusive d'agrégats :

L'exploitation abusive des agrégats (sable et gravier) au niveau des Oueds et des plages, réduit considérablement le volume des apports solides aboutissant en mer. En effet, d'énormes quantités de sable sont prélevées chaque jour, comme c'est le cas à l'embouchure de l'Oued El-Harrach, au niveau des sablières littorales, ainsi que les nombreuses carrières de gravier (ballastières) en amont de cet Oued.

7.3 Construction de barrages en amont :

D'autre part, la présence d'un barrage en amont de l'Oued Hamiz, a fait que ce dernier reste inactif d'où le déficit en apports terrigènes. Ce déficit en apports, additionné au transfert des sédiments dans le sens du profil, se solde par une diminution importante des largeurs des plages par érosion.

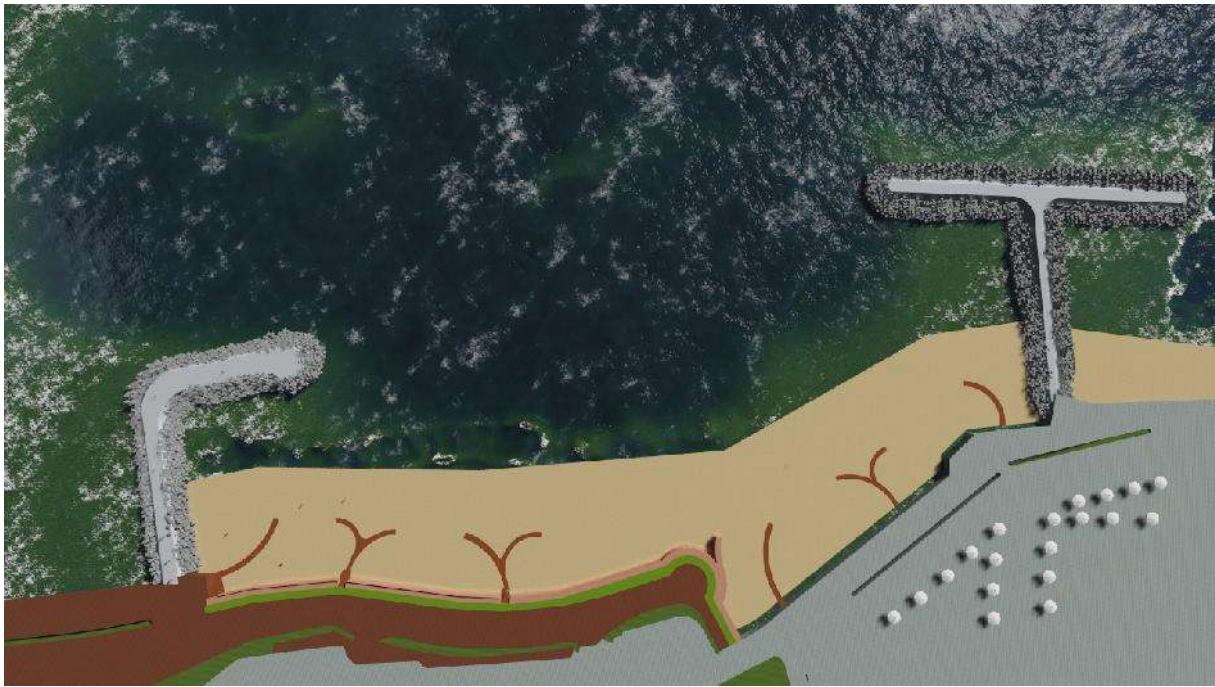


Figure 2.15 : Représentation 3D de la zone d'étude réalisée par Autocad (Brahmi et Hamadouche)

CHAPITRE III :

Acquisition et Traitement des
Données disponibles

IV. CHAPITRE III : ACQUISITION ET TRAITEMENT DES DONNEES

Pour l'estimation de l'évolution du littoral, il est nécessaire d'avoir des données anciennes, c'est-à-dire, avant la mise en place d'ouvrages et des données récentes après installation d'ouvrages, afin de comparer et d'évaluer ces variations.

Dans le cadre de notre mémoire, et afin de comprendre les processus de la dynamique et la morphologie du littoral suite aux différents ouvrages portuaires et de protection mis en place, des données anciennes, concernant le régime hydrodynamique et la géomorphologie caractérisant chacune de nos zones, ont été récoltées au sein de: la bibliothèque de l'ENSSMAL et la bibliothèque du Laboratoire des Etudes Maritimes.

Les données d'entrée nécessaires à la modélisation numérique sont classées en trois groupes différents : le groupe de données de bathymétrie, le groupe de données océanographiques (vagues, vents, niveaux marins, marées, courants) et les données de sédiments.

Pour mener à bien cette étude comparative entre un état vierge d'une zone sans ouvrage avec un état d'une côte en présence d'ouvrages, nous avons utilisé un certain nombre de méthodes telles que : la méthode de mesure et d'analyse diachronique du trait de côte et de la bathymétrie grâce au SIG et la méthode de la modélisation numérique. Cela a nécessité l'installation et l'utilisation de progiciel comme : MIKE21, ArcGIS et son extension DSAS.

Dans ce chapitre nous allons expliquer les méthodes sur lesquelles nous nous sommes basés pour réaliser ce travail et présenter les outils précédemment cités en illustrant en annexe les étapes de leur exploitation pour la réalisation de notre travail.

3.1 Les progiciels utilisés pour étudier l'évolution du littoral :

3.1.1 Aperçu du progiciel MIKE21 :

3.1.1.1 Description des modèles de MIKE :

MIKE est un système logiciel développé par le Danish Hydraulics Institute (DHI) et reposant sur un maillage structuré (grille rectangulaire ou curviligne) ou, pour certains modules, sur un maillage non structuré.

Actuellement, le cadre MIKE Zéro donne accès aux systèmes de modélisation DHI suivants (DHI, 2007) :

-) MIKE21 : un système de modélisation 2D pour les estuaires, les zones côtières maritimes (DHI, 2007) ;
-) MIKE21/3 Modèles intégrés (DHI, 2007) ;
-) LITPACK - un système de modélisation des processus littoraux et de la cinétique du littoral (DHI, 2007)

Le modèle MIKE est bidimensionnel horizontal, dans notre projet nous utilisons trois principaux modules pour l'hydrodynamique (HD), le transport de sable (ST), et le spectre de la houle (SW) (Than, 2015).

Pour la réalisation de notre travail nous avons utilisé le Modèle FM MIKE21/3 Couplé.

3.1.1.2 Modèle FM MIKE21/3 Couplé

Le modèle FM MIKE21/3 Couplé comprend différents modules, nous pouvons sélectionner pour être inclus dans la simulation : hydrodynamique, transport du sable, spectre de vague, etc. ... Le modèle comprend également un couplage dynamique entre le module de transport du sable et le module hydrodynamique et le module spectral de vague. (DHI, 2014h)

Le pas de temps global discret est utilisé pour déterminer la fréquence de sortie qui peut être obtenue à partir des différents modules et synchroniser le couplage entre les différents modules. Le pas de temps local pour le module d'onde spectrale (SW) et le module de transport de sable (ST) peut être défini comme un multiple du pas de temps global et d'un facteur de pas de temps. (DHI, 2014h)

Les interactions entièrement dynamiques suivantes entre le module hydrodynamique et le module spectral de vague sont possibles (DHI, 2014h) :

-) Dans le module hydrodynamique, il est possible d'inclure le champ de contrainte et de rayonnement à partir de la simulation de spectre de vague (DHI, 2014h).
-) Dans le module spectral de vague, il est possible d'inclure la variation du niveau d'eau à partir de la simulation hydrodynamique (DHI, 2014h).
-) Dans le module spectral de vague, il est possible d'inclure la variation de courant à partir de la simulation hydrodynamique (DHI, 2014h).

Voici un aperçu des différents modules que nous avons utilisé :

3.1.1.3 Modèle de vague de MIKE :

Le système logiciel MIKE21 se compose de différents modules de houle. Nous choisissons le module SW pour modéliser la propagation de la houle dans le secteur d'étude.

Le modèle spectral de vague MIKE21 SW est similaire au SWAN

Le module SW est l'un des outils de modélisation numérique pour l'étude de modèle spectral vent-vague. C'est un modèle de propagation des vagues de phase moyenne basé sur une grille à maillage flexible (Than, 2015)

Il est particulièrement applicable pour l'analyse des vagues simultanées à la fois à l'échelle régionale et locale. Le maillage flexible permet une résolution spatiale grossière pour la zone au large et une haute résolution en eau peu profonde et sur le littoral. Le modèle SW simule la croissance des vagues par l'action du vent, l'interaction non-linéaire vague-vague, la dissipation due au moutonnement, la dissipation due au frottement de fond, la dissipation due au

déferlement de la vague, la réfraction de la houle par les variations de profondeur, l'interaction vague courante l'effet de profondeur d'eau variant dans le temps (Than, 2015)

3.1.1.4 Modèle hydrodynamique de MIKE :

Le modèle hydrodynamique MIKE21 HD résolve les équations bidimensionnelles classiques de Saint-Venant par la méthode en volume fini sur une grille à maillage flexible et par la méthode des différences finies sur une grille à maillage rectangulaire.

Il traite le frottement sur le fond, l'effet des événements météorologiques (vent et pression atmosphérique), la force de Coriolis, etc. ... Il nous permet de simuler les courants côtiers dus à l'action de la houle dans la zone de déferlement. (Than, 2015)

3.1.1.5 Modèle de transport de sable MIKE21 ST :

Le calcul du transport de sable se fait selon deux périodes, l'une avant l'implantation des ouvrages et la seconde après l'implantation de ces derniers.

Dans MIKE21, nous pouvons calculer ces cas en utilisant les données d'entrée tels que les vagues, les vents, et les caractéristiques des sédiments des fonds. Les transports sédimentaires sont calculés dans 2 conditions telles que courant pur et combinaison des houles et des courants. Deux méthodes de simulation sont disponibles dans les conditions combinées de la houle et du courant (DHI, 2014i) : la méthode STP (« **Sediment Transport Program** ») de DHI et la méthode Bijker. Elles utilisent l'équation du transport sédimentaire qui est calculée comme suit (DHI, 2014) :

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

Où q_{tb} , q_b , et q_s sont le transport total des sédiments, le transport par charriage, et le transport par suspension, respectivement.

La méthode STP traite les différences de phase de l'écoulement oscillatoire, la tension du cisaillement sur le fond et la concentration sédimentaire en suspension dans sa formulation pour le calcul du transport sédimentaire (DHI, 2014m). Deux méthodes de simulation sont disponibles : modèle 2DH et modèle STPQ3D.

Le modèle 2DH est une approche de plan bidimensionnel horizontal (2DH). Les transports sédimentaires sont calculés dans le sens du courant moyen, avec une composante transversale résultante de la pente des fonds (DHI, 2014).

L'utilisation gratuite des images présentées par le logiciel n'est autorisée que par des captures d'écran ou une utilisation en ligne.

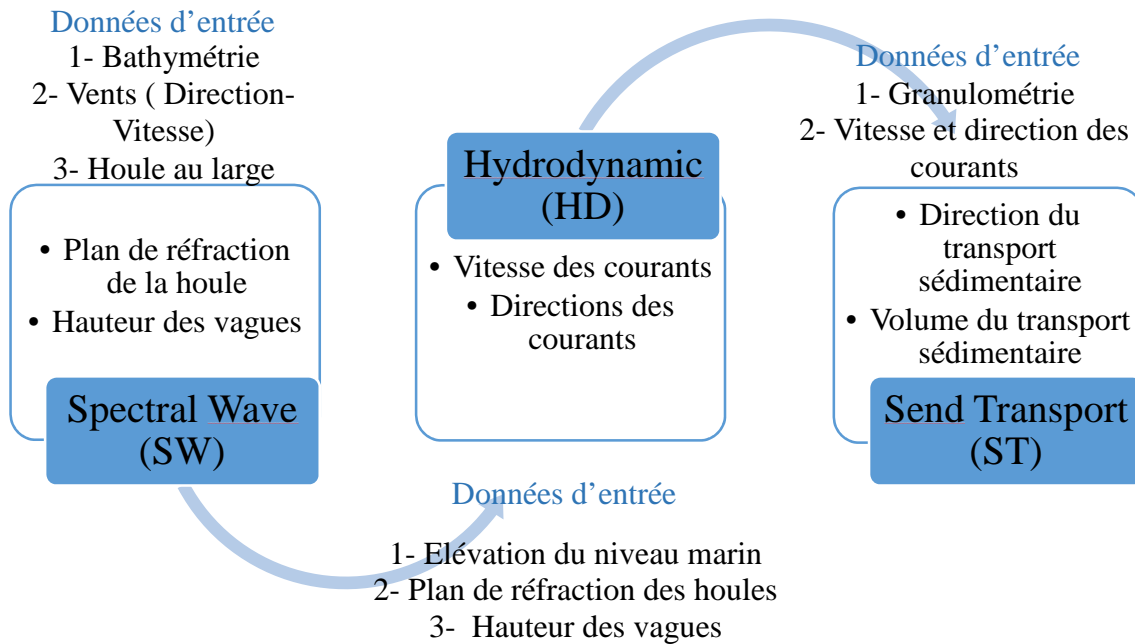


Figure 3.1 : Etapes de Modélisation Mike 21: « FM MIKE21/3 couplé » (Brahmi et Hamadouche)

3.1.2 Google Earth Pro :

Google Earth Pro est un logiciel qui permet de voyager dans le monde via un globe virtuel et d'afficher des images satellites, des plans, des reliefs et des bâtiments 3D. C'est un logiciel qui contient des images de grande résolution de l'ordre de 30m à 60cm (SPOT, QUICKBIRD, IKONOS,...). Ces images sont issues d'entreprises de commercialisation d'images et sont archivées sur le serveur de Google Earth Pro qui est accessible par connexion à l'internet. Elles sont mises à jour au fur et à mesure.

Google Earth Pro permet d'imprimer des images en haute résolution, alors qu'il faut se contenter de la résolution de l'écran avec la version basique. Mais aussi bien d'autres fonctions. Il joute aux étonnantes fonctionnalités de Google Earth des outils encore plus puissants. Il est également possible de procéder à un géocodage d'adresses par lot, d'importer automatiquement des images SIG et d'avoir « accès à des données démographiques, à des données cadastrales et à des données de circulation ». Les outils de mesure sont plus évolués, tout comme celui permettant de créer des cartes. Il est également question de Movie Maker qui permet de « créer une vidéo qui suit le mouvement de la caméra ».

3.1.3 Aperçu du logiciel ArcGis 10.2 :

ArcGis est l'un des logiciels SIG les plus utilisés. Ce logiciel offre de nombreuses potentialités pour la manipulation, la gestion, l'analyse et l'édition des données spatiales.

Différentes couches d'informations spatiales peuvent être manipulées offrant la possibilité d'analyser une ou plusieurs couches sous le contrôle des autres. Le seul lien entre ces différentes

couches est le lien spatial, c'est-à-dire, l'appartenance au même espace géographique et ayant le même système de coordonnées (Kamel, 2006)

Le logiciel ArcGIS 10.2 comprend trois applications principales : ArcCatalog, ArcMap, et ArcToolbox.

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

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

ArcToolbox : est une boîte à outils permettant d'effectuer des conversions et des transferts de format et aussi de projection (Kamel, 2006).

3.1.4 Aperçu de l'extension DSAS :

Le système d'analyse Shoreline Digital (DSAS) est une application logicielle disponible gratuitement qui fonctionne avec le (ESRI) Système d'information géographique (ArcGIS) logiciel Environmental Systems Research Institute. Le DSAS calcule les statistiques de taux de changements pour une série chronologique des données vectorielles du littoral. (Himmelstoss, Zichichi, Erugl, & Ayhan, 2009).

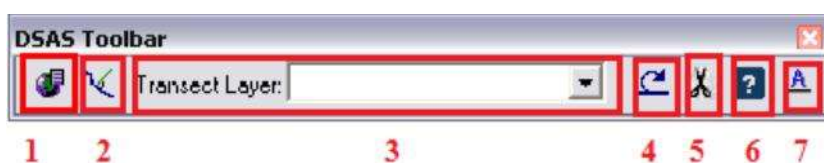


Figure 3.2 : barre d'outils du DSAS

1- **Définir / Modifier les paramètres** : spécifier les noms de fichiers pour les entrées de référence et de rivage et d'autres paramètres, tels que l'espacement des profils.

2- **Transects Cast** : génère une nouvelle (ou écrase un existant) classe d'entités des profils en fonction des paramètres par défaut spécifiés par l'utilisateur.

3- **Le menu déroulant** : répertorie tous les fichiers de transects reconnus ajoutés au projet ArcMap actif.

4- **Calculer les statistiques** : lance une boîte de dialogue peuplée avec une liste sélectionnable des statistiques de changements de taux à calculer.

5- **Clip transepts à SCE** : lance une boîte de dialogue offrant aux utilisateurs la possibilité de générer une copie du fichier de profil spécifié qui est accroché à l'enveloppe de changement de rivage (SCE) ou la distance maximale entre tous les rivages.

6- **Lance la fonction d'aide DSAS**.

7- **A propos de DSAS** : fournit des informations sur le logiciel, y compris le numéro de version (Himmelstoss, Zichichi, Erugl, & Ayhan, 2009).

Les variations de la ligne de côte :

Dans notre cas le traitement numérique de l'évolution du trait de côte a été abordé en passant par deux volets et selon 2 périodes, l'une avant l'implantation des ouvrages et la seconde après l'implantation des ouvrages :

Le premier volet est le volet cartographique, en géo-référençant un ensemble d'imageries satellites de nos zones d'étude extraites à partir de Google earth Pro puis par la digitalisation des différents traits de côte à partir de ces dernières, et la création d'une zone tampon pour pouvoir tracer une ligne de base qui est entièrement parallèle aux changements moyens des différents rivages. Ces opérations ont été faites par un logiciel SIG « ArcGis 10.2 ».

Cette ligne de base représente le point de départ pour tous les transepts lancés par l'application DSAS.

Le second volet est le volet graphique et statistique, la mise en place d'une série de profils perpendiculaires sur la base à la ligne de référence et les différents traits de côte. Ces segments cernent la globalité de la zone d'étude avec une longueur et un espacement définis lors de la configuration de l'outil DSAS, ensuite cette extension va permettre d'avoir une analyse détaillée sur la variation de la ligne de rivage à partir d'un support statistique contenant les indicateurs suivants : NSM, EPR, LPR qui s'affichent automatiquement après le lancement du calcul.

Les indicateurs, concept :

Mouvement net des rivages (NSM) :

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

Le taux de point final (EPR) :

Il est calculé en divisant la distance de déplacement du littoral par le temps écoulé entre la rive la plus ancienne et la rive la plus récente. Les principaux avantages de l'EPR sont la facilité de calcul et l'exigence minimale de seulement deux dates du littoral, L'inconvénient majeur est que dans les cas où plus de données sont disponibles, les informations supplémentaires sont ignorées. Les changements dans le signe (par exemple, l'accrétion à l'érosion), l'ampleur ou les tendances cycliques peuvent être manquées (Crowell et autres, 1997, Dolan et autres, 1991).

Le Linear Regression Rate-of-change (LRR):

Il correspond à la valeur de la pente d'une droite de régression linéaire positionnée dans le nuage de points formés par les mesures de distance entre tous les points d'intersection de chaque

transept et des traits de côte comparés. Il traduit également le taux d'évolution annuelle de la ligne de référence le long de chaque transept, il est intéressant si l'on analyse la cinématique littorale pour plus de deux dates, car la méthode de calcul tient compte de la tendance évolutive du trait de côte sur toute la période considérée (Faye, Giraudet, Françoise, & Alain, 2012).

3.2 Méthodes utilisées pour l'étude de l'évolution du littoral

Parmi les techniques mises en œuvre pour étudier la variation que subit le littoral, on distingue les méthodes de terrain privilégiant l'observation directe et les méthodes fondées sur l'observation indirecte.

Il existe différentes approches dans la recherche de l'évolution du littoral dans le monde. Les méthodes suivantes sont celles qui ont été utilisées dans le cadre de ce travail :

3.3 Méthodes de mesure et d'analyse de la bathymétrie

Pour l'évaluation quantitative et qualitative des caractéristiques de la dynamique côtière, on fait la comparaison des mesures de bathymétrie de la zone d'étude avant et après implantation d'ouvrage.

Le niveau de précision de cette méthode dépend entièrement des données de mesure, la précision des données mesurées est fonction des méthodes de mesure et aux appareils de mesure.

Dans le cadre de ce travail, nous avons récolté des cartes bathymétriques du LEM et l'ENSSMAL. Ces cartes ont été traitées géo-référencées et digitalisées par MIKE21 pour l'extraction des profondeurs, suite à cela un maillage a été créé avec l'outil « MeshGenerator » pour définir une grille sur laquelle l'interpolation pour la création de la bathymétrie a été faite. Les étapes d'utilisation de ce modèle sont jointes en annexe 1

3.4 Méthode de modèle mathématique

Le modèle mathématique est utilisé pour simuler et déterminer les règles relatives à l'évolution telles que le transport des sédiments, le processus d'évolution du rivage, l'évolution de niveau d'eau, de marée et les houles de la zone extracôtière et de la zone côtière.

Les outils de recherche d'érosion, d'accrétion, et de déplacement du rivage par le modèle mathématique de l'évolution morphologique en 2D, et en 3D dans la zone du littoral permettent une simulation plus détaillée des phénomènes.

Dans le domaine de l'évolution du littoral, les modèles sont généralement classés en quatre catégories : le modèle de vague, le modèle de surcote, le modèle de transport des sédiments, et le modèle de l'évolution du trait de côte.

Pour réaliser la simulation avec le logiciel MIKE21, on a exploité les cartes bathymétriques précédemment créées dans le Modèle FM MIKE21/3 Couplé sur lequel on a intégré des données d'entrée pour l'obtention de des épures de réfraction de la houle grâce au module SW, épure de l'hydrodynamisme grâce au module HD et épure de transport sédimentaire avec le module ST.

Pour faire fonctionner ce modèle on a mobilisé des données de houles obtenus de SSMO et ce pour toutes nos zones d'étude, combinées aux données de bathymétrie, élévation de la marée 0.34m et des conditions de vent 4.3m/s de secteur 202.5°, elles ont permis de simuler la réfraction de la houle.

Les données relatives au vent et à la marée, ils ont été obtenus de la bibliographie.

Pour la simulation du transport sédimentaire, on a introduit dans le module une table sédimentaire contenant des paramètres de sortie du module HD, qui sont : Vitesse et direction du courant et la surface d'élévation, pour ce qui est des données concernant la taille des grains on a introduit diamètre moyen des grains D50. Ce paramètre a été obtenu de la bibliographie et des documents accompagnant les levés bathymétriques obtenus du LEM.

Les étapes d'utilisation de ce modèle sont jointes en annexe 2.

3.5 Les méthodes de suivi du trait de côte à l'aide des systèmes d'information géographiques (ArcGIS)

Les méthodes d'acquisition du trait de côte ont nécessité l'utilisation des systèmes de cartographie numérique et de mesure des variations de la position historique du trait de côte. Ils requièrent une digitalisation et le géo-référencement des entités projetées dans un système de coordonnées géographiques et superposées les unes sur les autres.

Les déplacements et les variations sont évalués suivant des transepts établis à intervalles réguliers et qui sont générés automatiquement par l'outil *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS), cette extension permet l'obtention de statistiques d'évolution du trait de côte qui peuvent être représentés graphiquement pour une meilleure appréciation.

Les étapes d'utilisation de cet outil sont jointes en annexe 3.

CHAPITRE IV :

Résultats et discussions

V. CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

Pour l'évaluation des impacts des ouvrages de protection et des ouvrages portuaires sur l'équilibre littoral de nos zones d'étude, nous avons mobilisé un certain nombre de données et d'outil pour faire ressortir des paramètres parlant tel quel : les variations dans les réfractions des houles, dans l'hydrodynamique résultant dans la zone et le transport sédimentaire issu de la modélisation, et ce dans des conditions de propagation différentes c'est-à-dire avant et après ouvrages, nous avons aussi fait ressortir des paramètres liés à la variation spatio-temporelle du trait de côte

4.1 Etude bathymétrique :

La bathymétrie est la mesure des profondeurs et du relief sous la surface de l'eau pour déterminer la topographie d'un fond marin.

L'étude bathymétrique est indispensable pour notre travail, et la précision de la modélisation des processus hydro-sédimentaires dépend de cette dernière.

La bathymétrie de la zone d'étude a été obtenue par interpolation sur Mike 21 d'une série de valeurs recueillis auprès des organismes telle que le LEM pour la zone de club des pins et Sirène II et l'ENSSMAL pour Sidi Fredj.

4.1.1 Etapes exploitation des données :

Afin d'exploiter les données recueillis sous Mike 21, des étapes ont été faites pour la digitalisation et l'interpolation de la bathymétrie (voir annexe

4.1.2 Résultats d'études bathymétriques :

Résultat d'étude bathymétrique pour la zone de club des pins avant installation d'ouvrages année 2009 :

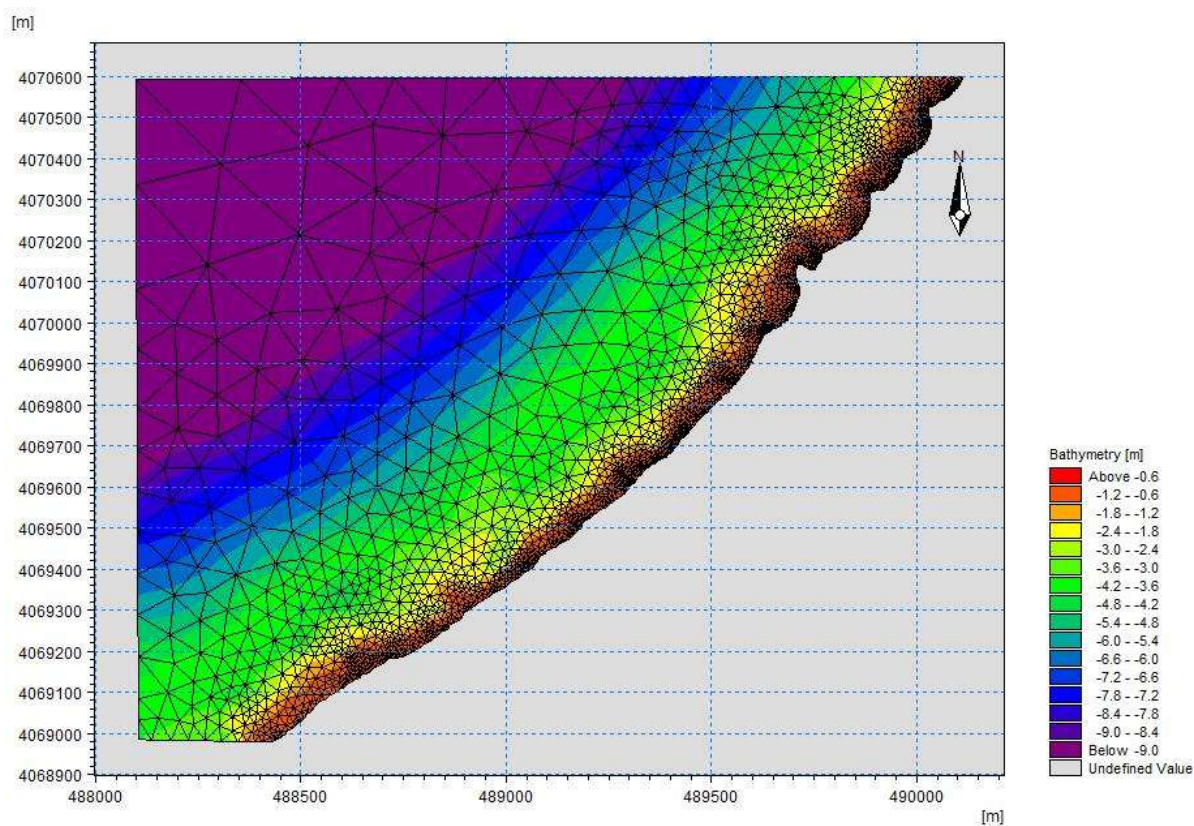


Figure 4. 1 : Carte bathymétrique avec maillage

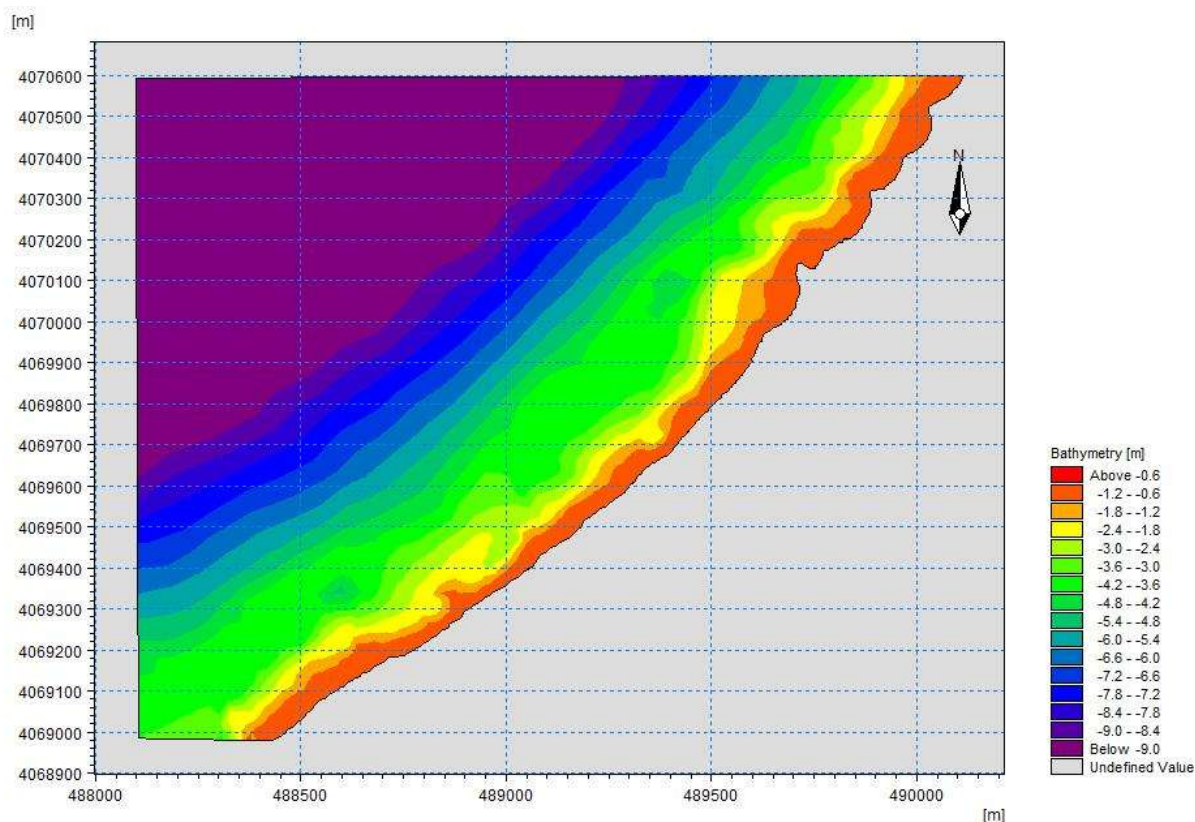


Figure 4.2 : Carte bathymétrique de la zone d'étude Club des pins année 2009.

L'analyse de la carte bathymétrique témoigne la présence de trois zones

Une zone de bathymétrie régulière avec des profondeurs très faibles allant de 0m à -2.5m avec une distance de 5m par rapport à la cote.

Au-delà, une autre zone est observée qui se manifeste avec une profondeur constante de (-4m) qui s'étend sur une distance importante, avec la présence des fosses d'une profondeur de (-5m) sur les extrémités de la zone.

Derrière cette profondeur de (-4m) Une autre zone est observée avec des isobathes très serrées et parallèle à la cote qui présente une pente douce et des profondeurs comprise entre (-4m à -9m).

résultat d'étude bathymétrique pour la zone de club des pins après installation d'ouvrages année 2016 :

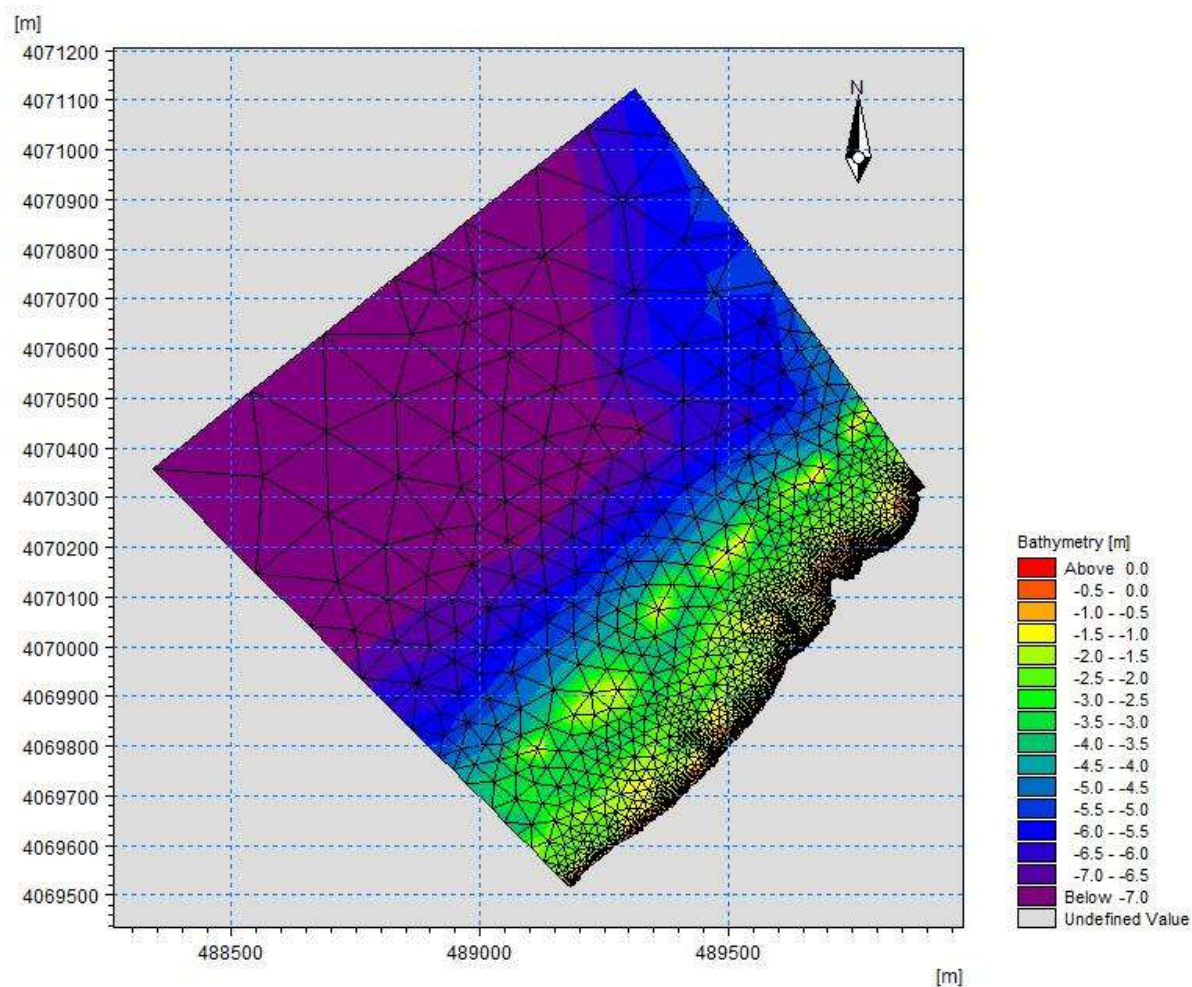


Figure 4.3 : Carte bathymétrique avec maillage.

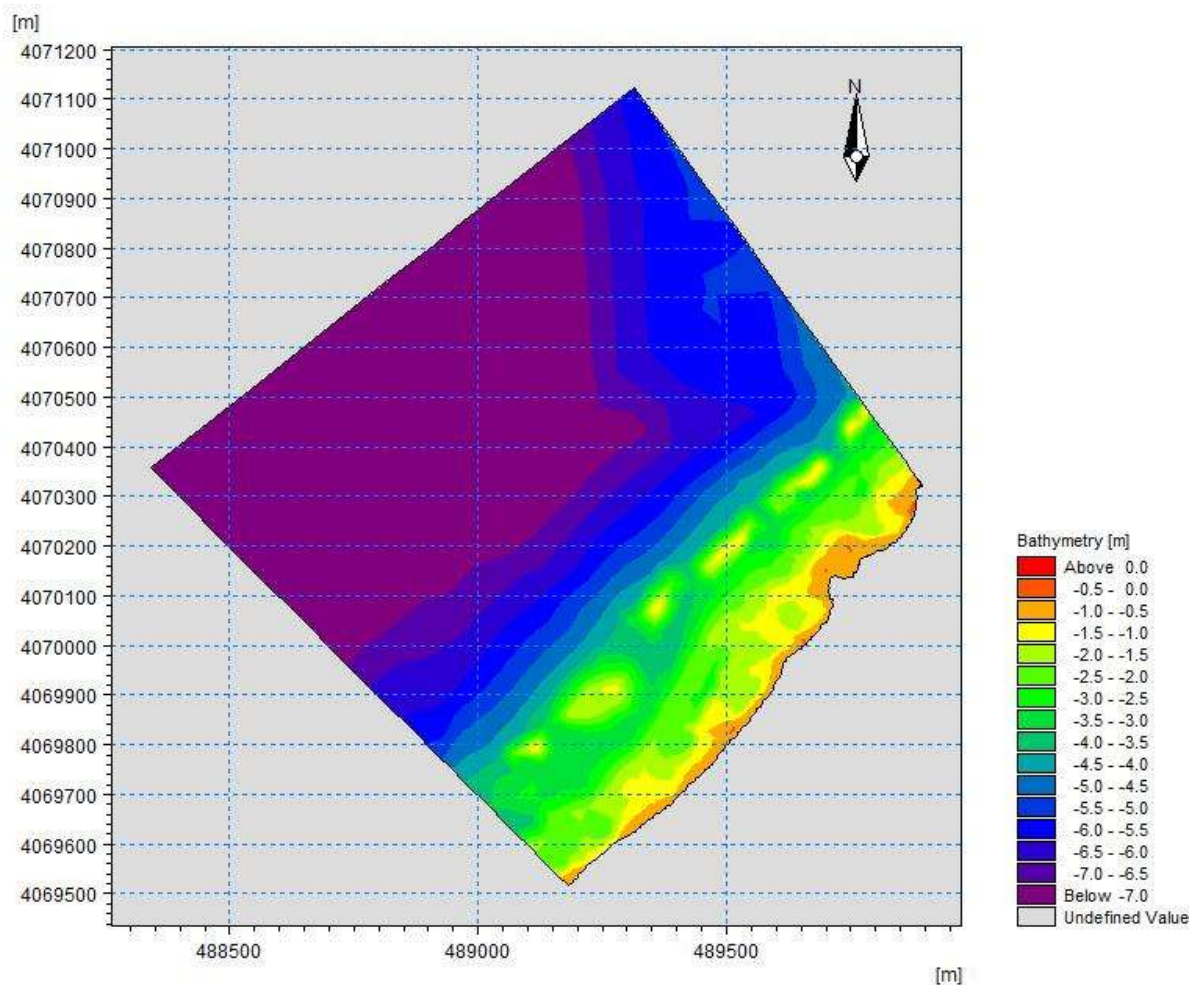


Figure 4.4 : Carte bathymétrique de la zone d'étude Club des pins année 2016.

L'analyse de la carte bathymétrique a permis d'observer deux zones :

Une zone avec une pente très faible qui présente des profondeurs faibles variantes entre -1m et (-3m), a cette dernière on témoigne la présence d'ouvrages immergés.

Au-delà de cette profondeur on observe une bathymétrie régulière avec des isobathes serrées qui présente une pente moyennement faible.

On comparant avec l'étude bathymétrique de l'année 2009 on remarque nettement un changement sur la morphologie sous-marine avec une diminution du fond qui nettement moins profond après installation d'ouvrages et un changement au niveau des isobathes qui étaient parallèle a la cote

Résultat d'étude bathymétrique pour la zone de Sidi Fredj après installation d'ouvrages année 2016 :

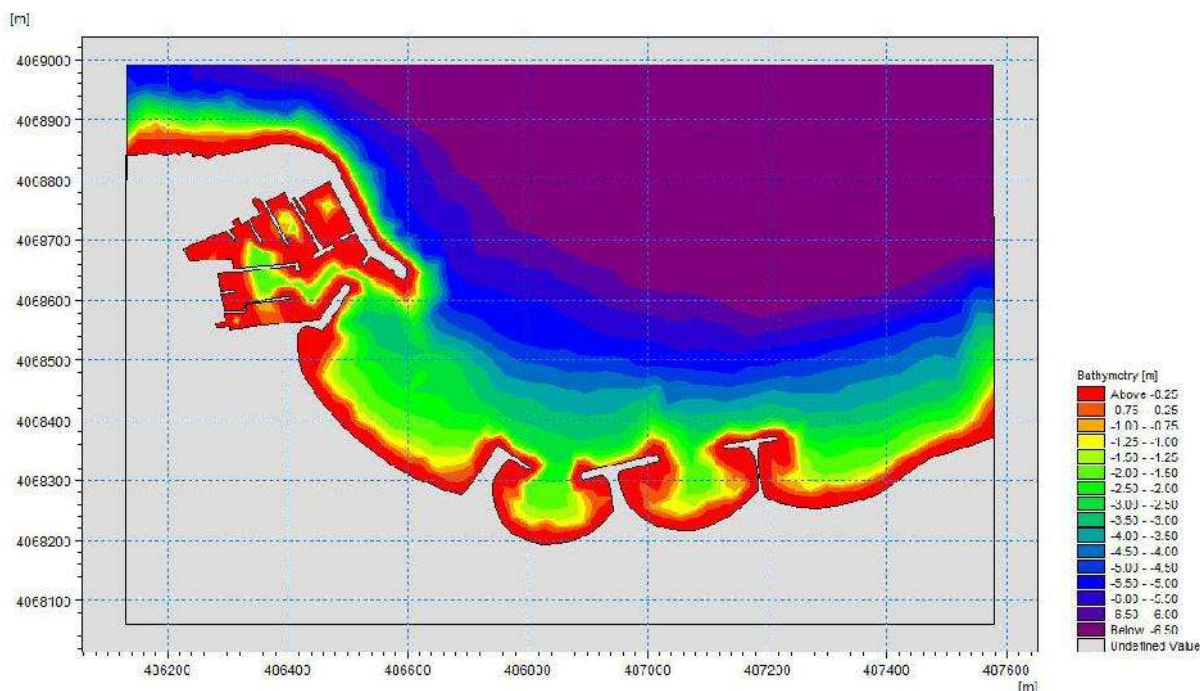


Figure 4.5 : Carte bathymétrique de la zone de Sidi Fredj année 2016.

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

-) Une zone avec des profondeurs comprises entre 0 et -4m avec une pente douce régulière, Elle est chahutée avec la présence de petites fosses et de barres d'avant cote et au voisinage des ouvrages, C'est une morphologie qui témoigne d'une mobilité relativement importante de ces fonds sous l'action hydrodynamique ;
-) Une zone où la profondeur dépasse (-4m) et plus, présente un fond relativement régulier avec des isobathes bien espacées parallèle au trait de côte.

Résultat d'étude bathymétrique pour la zone de Sirène II avant installation d'ouvrage année 2009 :

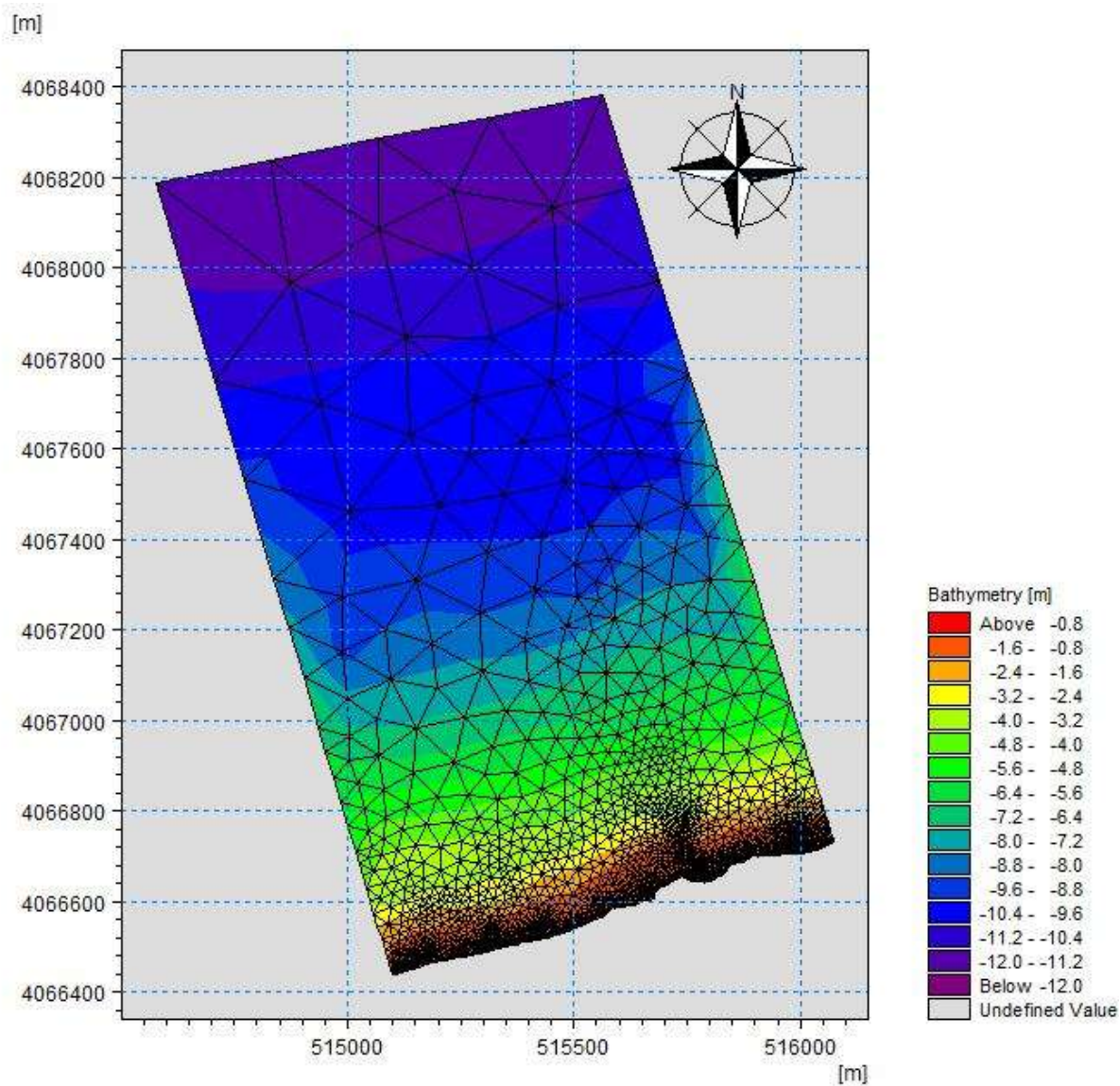


Figure 4.6 : Carte bathymétrique avec maillage

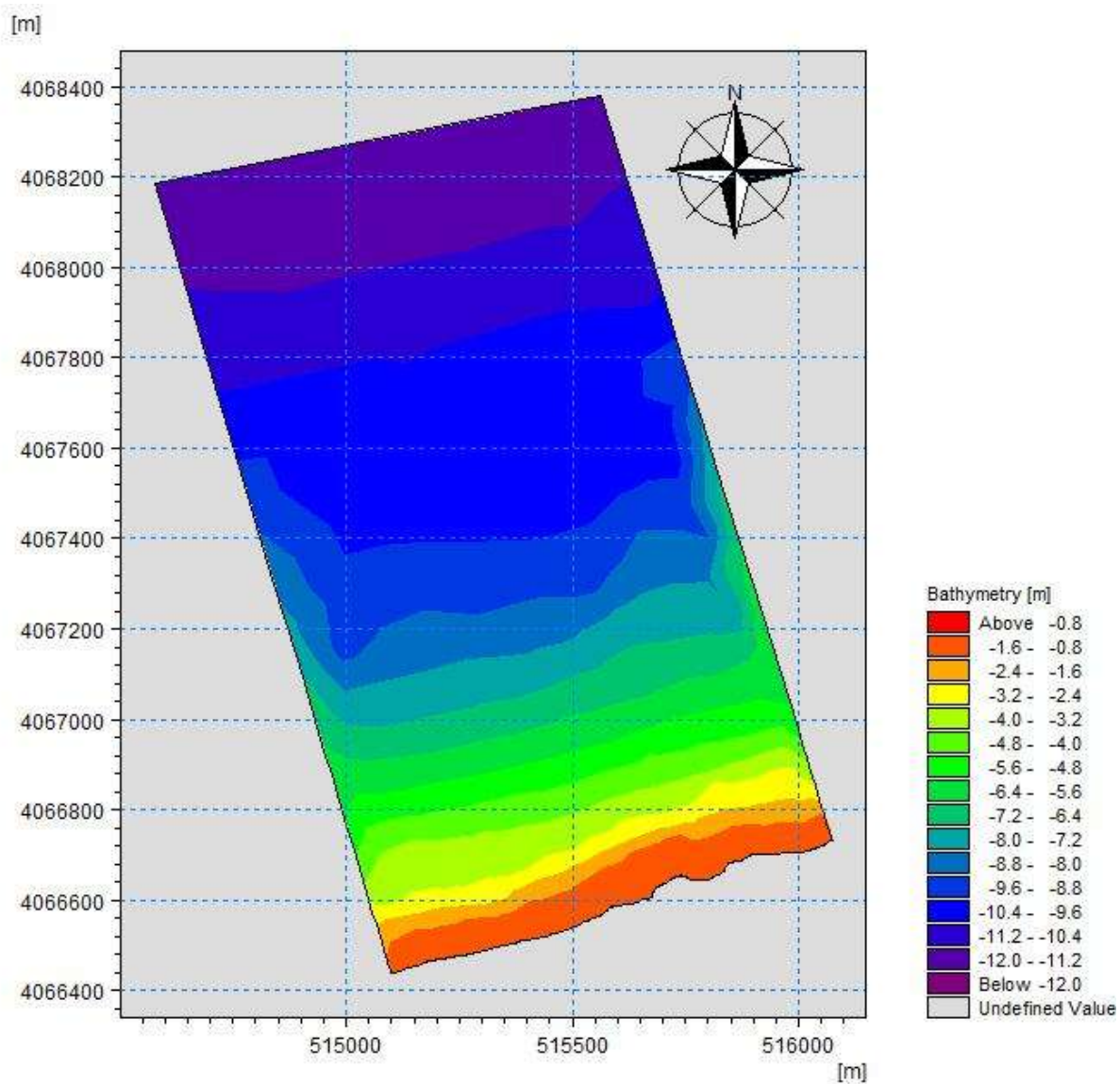


Figure 4.7 : Carte bathymétrique de Sirène II année 2009

L'analyse bathymétrique de la zone Sirène II montre une bathymétrie très régulière, avec des isobathes espacées de (1 m) montrant ainsi une pente douce du fond qui varie de (0 m a- 8 m), au-delà de cette profondeur on remarque que les isobathes ont tendance à s'éloigner entre elles.

4.2 Modélisation numérique MIKE21 :

Dans cette partie nous exposerons les différents résultats issus de la modélisation numérique avec l'outil Mike21, ces résultats portent sur l'hydrodynamique et les flux de transport sédimentaires résultants de données de bathymétrie et de condition météo marine tel que : le vent et la houle au large. Ces résultats nous aideront à mieux comprendre les processus agissant pour modéliser l'environnement de nos zones d'étude qui sont : la partie Ouest de la baie d'El Djamila (Plage de Sidi Fredj et Plage de Club des Pins) et la plage Sirène II.

Dans cette partie, nous commencerons par exposer et interpréter les épures de réfraction des houles (transformation des vagues) dominantes dans la zone d'étude ainsi que les courants induits par les vagues. Ensuite, nous allons confronter les résultats des flux hydrodynamiques (courants) près des côtes requis pour l'initiation d'un mouvement sédimentaire en direction de la zone d'études. Enfin, nous aborderons les résultats de l'estimation du transit sédimentaire.

Pour une meilleure présentation des résultats, nous avons utilisé des cartes 2D pour montrer les différents scénarios de la modélisation numérique de la transformation des vagues, des courants pour l'entraînement des sédiments et les flux sédimentaires.

4.2.1 La modélisation de la réfraction de la houle avec le module SW :

La connaissance des conditions de houle à la côte est nécessaire pour quantifier leur contribution aux niveaux marins. La caractérisation des houles s'est faite dans notre travail par l'outil Mike21 avec le module SW qui simule la génération et la propagation de la houle depuis le large où elle est connue.

Plusieurs types de données sont nécessaires pour l'étude de la réfraction de la houle. Celles-ci seront insérées en entrée du module de MIKE 21 Spectral Waves. Les données utilisées sont mentionnées ci-dessous :

-) Bathymétrie ;
-) Période des houles (T_p) ;
-) Hauteur significatives des houles (H_s) ;
-) Directions des houles dominantes. (DHI, 2007)

4.2.1.1 Résultats de l'étude de la réfraction de la houle avec le module SW :

Résultats de l'étude de la réfraction de la houle dans la zone de club des pins :

Résultats de l'étude de la réfraction de la houle dans la zone de club des pins avant l'installation d'ouvrage, année 2009 :

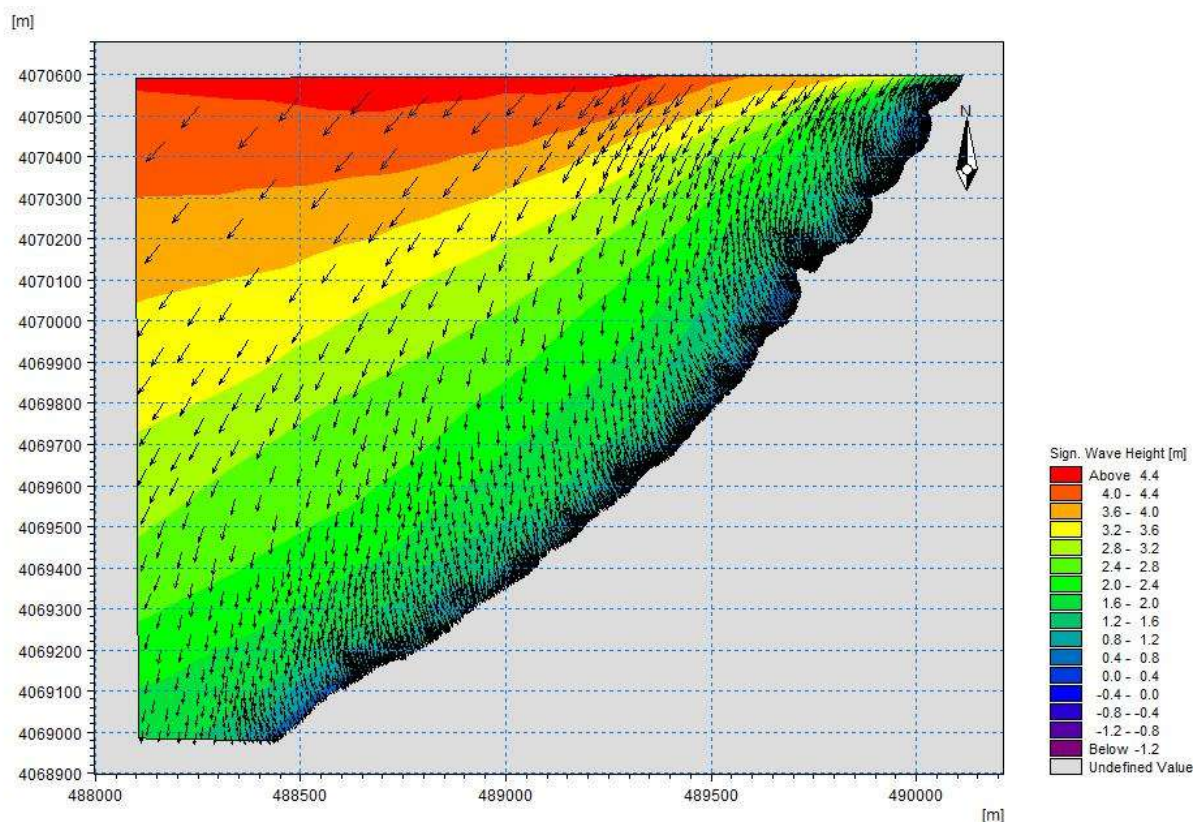


Figure 4.8 : la modélisation numérique de la réfraction de la houle de direction $N45^{\circ}$ – $T_p=8s$
 $H_s= 2.56m$ pour la bathymétrie de 2009.

Les résultats obtenus de la réfraction de $N45^{\circ}$ connaissent des hauteurs significatives qui varient de 0m à 4.5m pour une période $T=8s$.

L'étude de la réfraction de la houle réalisée à partir d'une houle de secteurs Nord-est 45° , jugée par la comparaison des autres secteurs comme étant la plus critique et la plus déterminantes en termes de transport sédimentaire, révèle une diminution de l'énergie de la houle par réfraction au fur et à mesure en se rapprochant de la côte.

Les résultats montrent qu'en se rapprochant de la côte, les hauteurs significatives des vagues (H_s) diminuent. La plage de Club des Pins étant un littoral assez droit, les houles au large provenant du N-E ont été transférées dans le quadrant Nord à l'approche des côtes. Elle passe au large d'environ 4.5m à environ 0.5m. Elles créent donc une hauteur significative H_s de l'ordre de 0,5m sur l'ensemble de la plage. Leurs directions près de la côte, varient cependant entre $N340^{\circ}$ et $N10^{\circ}$. Cette diminution des H_s vers la côte pourrait s'expliquer par les fonds marins qui deviennent de plus en plus hauts au niveau de la plage induisant un frottement sur le fond

Résultats de l'étude de la réfraction de la houle dans la zone de club des pins après installation d'ouvrage, année 2016 :

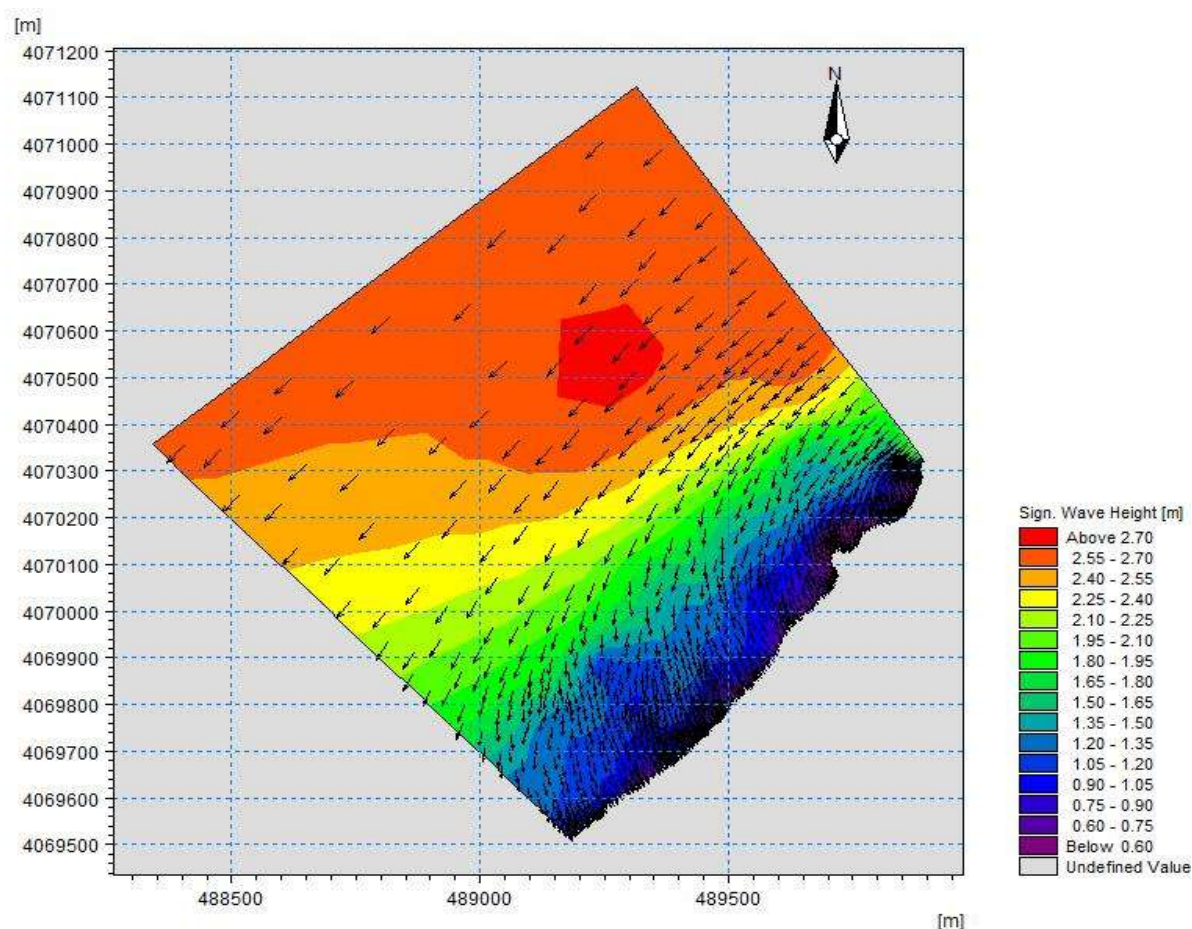


Figure 4.9 : la modélisation numérique de la réfraction de la houle de direction $N45^\circ$ – $T_p=8s$
 $H_s= 2.56m$ pour la bathymétrie de 2016

Considérant les houles provenant du Nord-Est ($N45^\circ$) comme étant une des deux directions dominantes, elle constitue également le scénario le plus critique et le plus déterminant en termes de transport sédimentaire.

La plage de Club des Pins étant un littoral assez droit, les houles au large provenant du N-E ont été transférées dans le quadrant Nord à l'approche des côtes. Les résultats montrent qu'au fur et à mesure que les vagues se rapprochent des côtes de la plage de Club des pins les hauteurs significatives des vagues (H_s) diminuent. Elle passe au large d'environ 3m à environ 0.6m. Elles créent donc une hauteur significative H_s de l'ordre de 0,6m sur l'ensemble de la plage. Leurs directions près de la côte, varient cependant entre $N340^\circ$ et $N10^\circ$. Cette diminution des hauteurs significatives vers la côte pourrait s'expliquer par les fonds marins qui deviennent de plus en plus hauts au niveau de la plage induisant un frottement sur les fonds meubles (sableux). Ces vagues deviennent donc de plus en plus faibles sous l'effet Shoaling.

S'ajoute à cela l'effet des brises lames immergés implantés dans la zone qui favorisent la diffraction du champ de houle. (Voir figure 4.2)

Résultats de l'étude de la réfraction de la houle dans la zone de sidi Fredj :

Résultats de l'étude de la réfraction de la houle dans la zone de sidi Fredj après installation d'ouvrage, année 2016 :

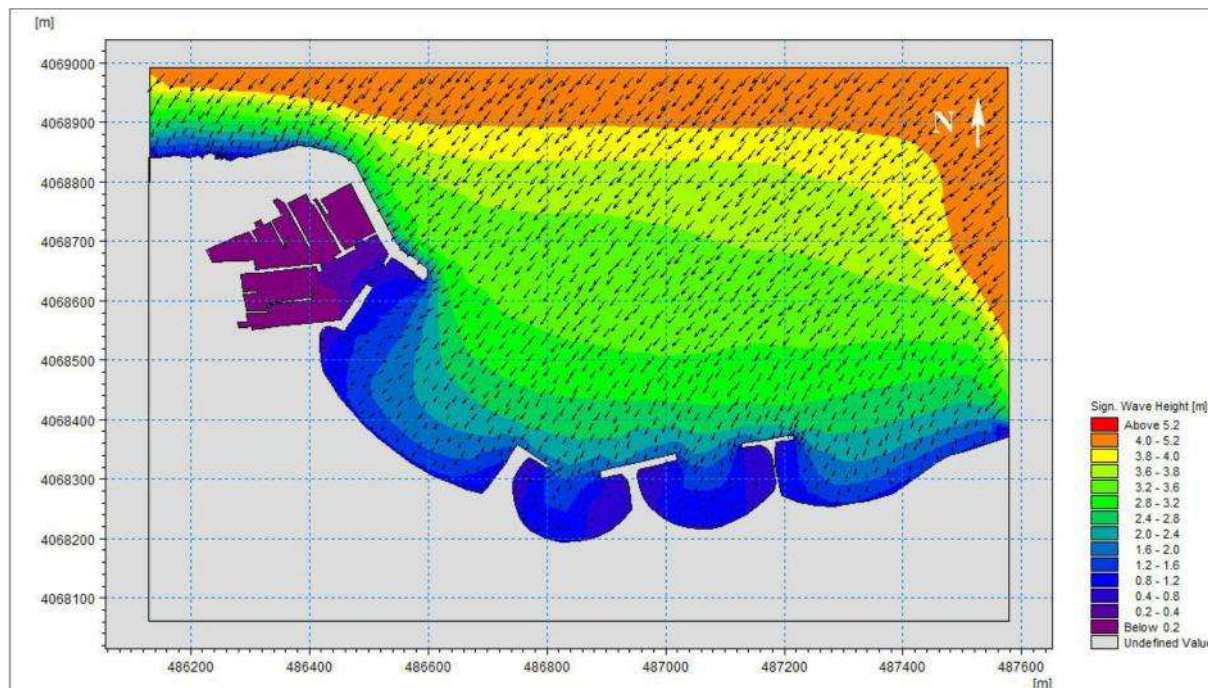


Figure 4.10 : Modélisation numérique de la réfraction de la houle pour une direction $45^{\circ}N$ et $T=10s$

Les *Figure 4.10* et (*Figure 6 & Figure 6* dans l'annexe 4) représentent les résultats obtenus de l'étude de la réfraction de la houle de $45^{\circ}N$ et cela pour différentes périodes (6s, 8s, 10s).

Dans ce cas, des hauteurs significatives varient de 0,2m à 1.2m pour une période de 6s, de 0,6m à 2,8m pour une période $T=8s$ et de 0,8m à 5.2m pour une période de 10s.

Similairement à la direction précédente ($360^{\circ}N$), la houle atteint la cote sans être déformée et conserve partiellement son énergie jusqu'à son arrivé au voisinage de la jetée principale du port et des trois épis qui diminuent énormément l'énergie de la houle incidente, l'agitation des vagues est presque nulle derrière ces ouvrages.

Résultats de l'étude de la réfraction de la houle dans la zone Sirène II :

Résultats de l'étude de la réfraction de la houle dans la zone Sirène II avant installation d'ouvrage, année 2009 :

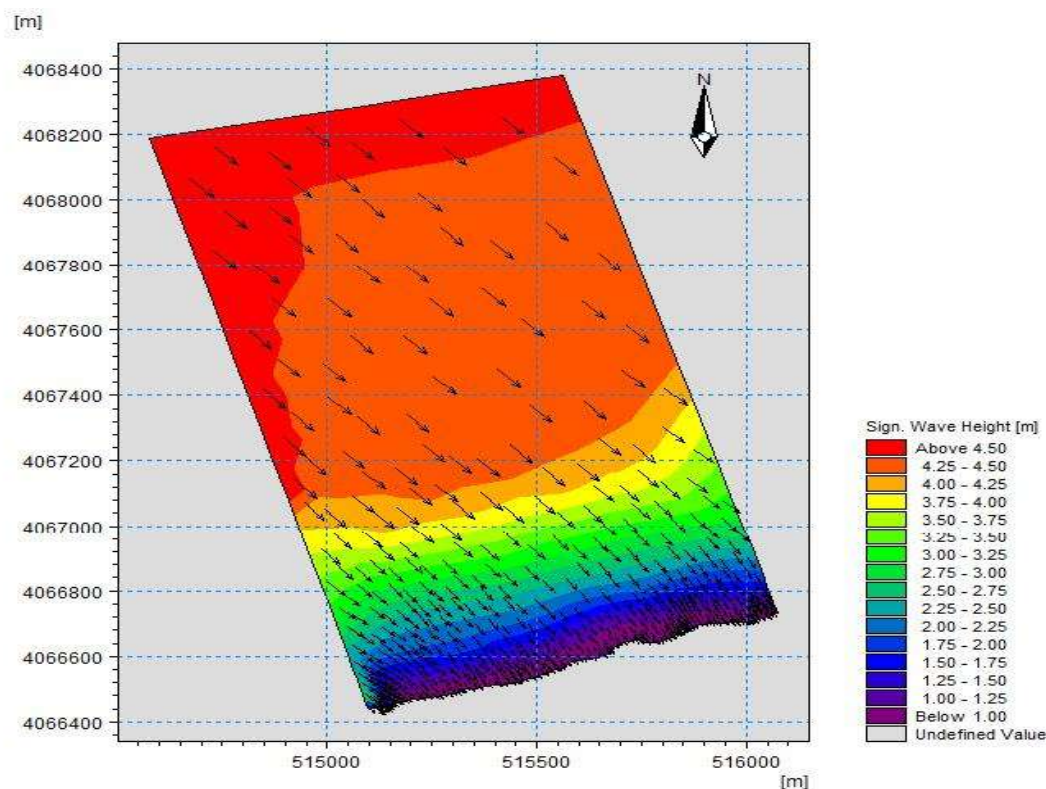


Figure 4.11 : Modélisation numérique de la réfraction de la houle pour une direction de 315° N, $T_p=10s$ et $H_s=4.53m$

La modélisation de la réfraction de la houle réalisée avec le model SW (spectral wave) a montré une diminution de l'énergie des houles de secteur nord-ouest 315° au fur et à mesure qu'on se rapproche de la côte avec un changement des orthogonales dans la direction Nord

Les résultats montrent qu'au fur et à mesure que les vagues se rapprochent de la côte les hauteurs significatives des vagues (H_s) diminuent en passant d'une hauteur maximal de 5m dans les grandes profondeurs à une hauteur de 1 m observée tout au long de la plage Sirène II. Ceci s'explique par une diminution du fond. (Voir Figure 4.11)

4.2.2 La modélisation des champs de courants générés par la houle au moyen du module HD :

La connaissance des conditions des courants à la côte est nécessaire pour quantifier leur contribution à la propagation de la houle et au transport sédimentaire. Et pour déterminer la nature de ces courants, nous avons simulé au moyen d'un modèle numérique la génération et le mouvement de ces derniers.

Le modèle numérique a été réalisé à l'aide du module Mike 21 HD (Hydrodynamique) avec les paramètres mentionnés dans l'annexe 2.

4.2.2.1 Résultats de l'étude de l'hydrodynamique avec le module HD :

Résultats de l'étude de l'hydrodynamique de la houle dans la zone de club des pins :

Résultats de l'étude de l'hydrodynamique dans la zone de club des pins avant installation d'ouvrage, année 2009 :

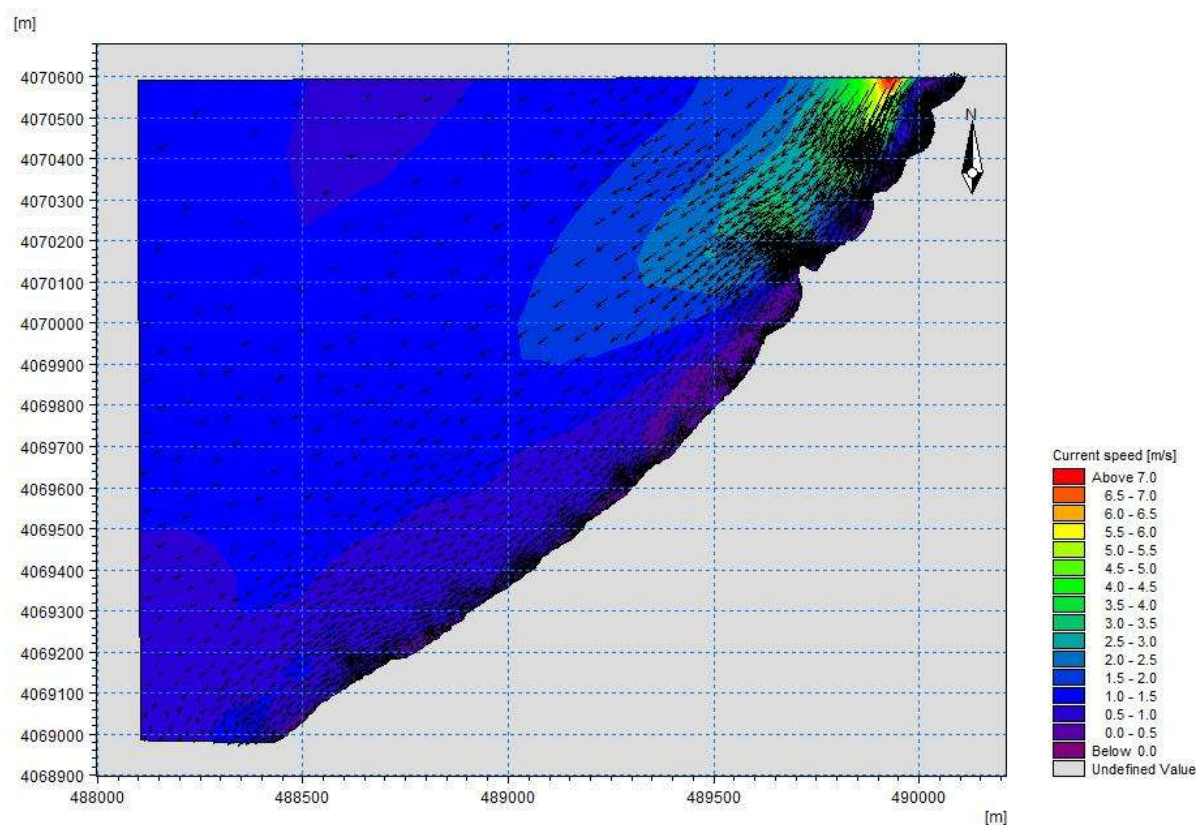


Figure 4.12 : Modélisation des courants pour une direction de 45°N, $T_p=10s$ et $H_s=5.05m$

La (figure 4.12) montre la direction ainsi que la vitesse des courants d'une direction Nord-Ouest pour une période de houle de 10s.

Les évènements de houles extrêmes modélisés donnent lieu à des courants d'eau maximaux dans la partie Nord-Est de la zone. Dans une bande de profondeur allant de 1m à 8m observées dans sur cette partie de la zone d'étude cela pourrai entrainer une érosion de cette portion littoral, tandis que le reste des points considérés n'ont pas enregistré de valeur de courant considérables même dans les cas de houles extrêmes.

Résultats de l'étude de l'hydrodynamique dans la zone de club des pins après installation d'ouvrage, année 2016 :

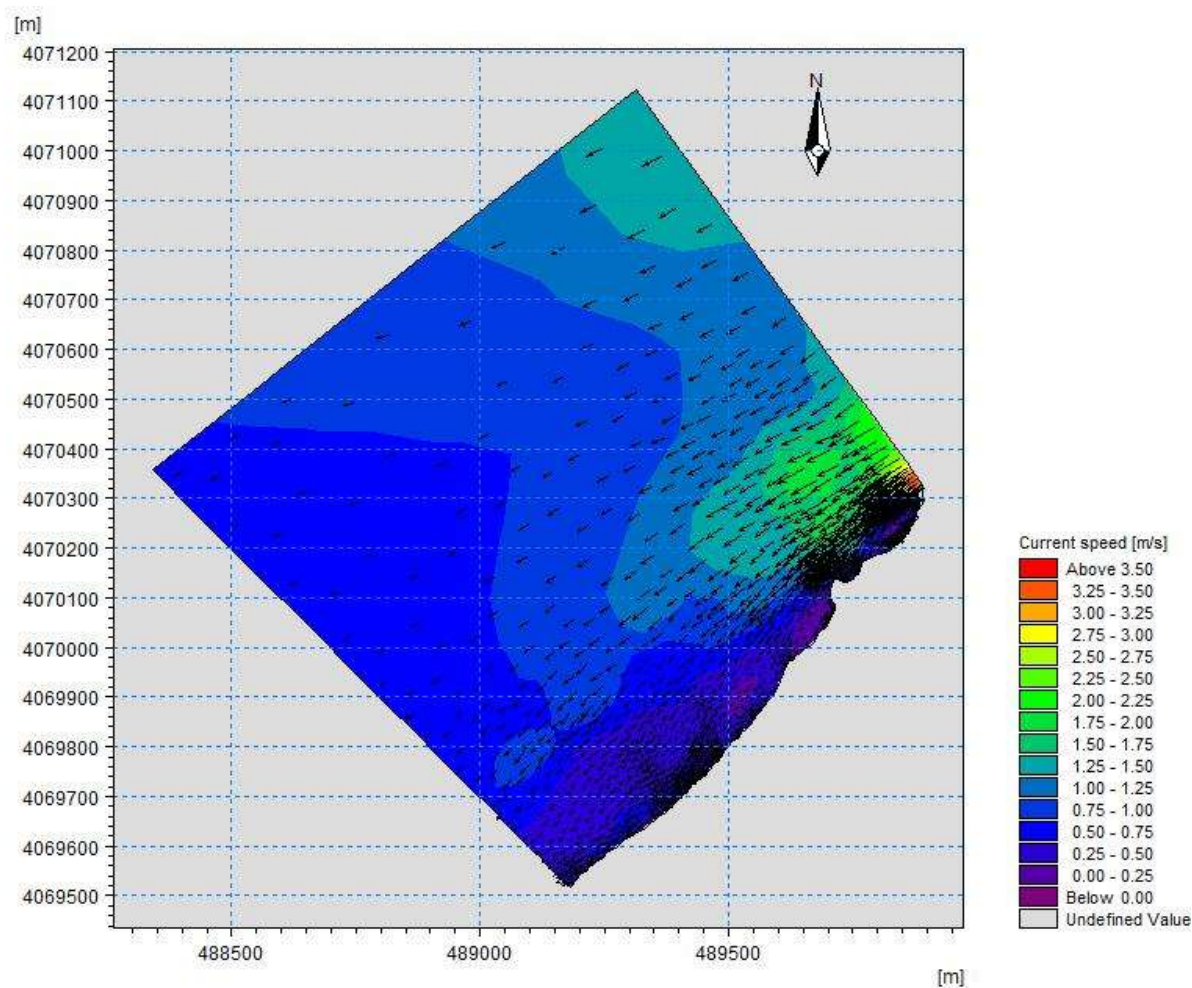


Figure 4.13 : Modélisation des courants pour une direction de 45°N, $T_p=8s$ et $H_s=2.56m$

Les évènements de houles extrêmes modélisés donnent lieu à des courants d'eau maximaux inférieurs à 3.6m/s en tous points considérés. Cependant, les courants d'eau maximaux sont atteints dans une bande de profondeur allant de 1m a 10m surtout dans la partie Est de la zone qui peut conduire à une érosion de la plage tandis que le reste des points considérés n'ont pas enregistrés de valeur de courant considérables même dans les cas de houles extrêmes avec des valeurs moyennes de 0.5m/s. Cela pourra être du a une faible intensité de vent généré

Résultats de l'étude de l'hydrodynamique dans la zone de sidi Fredj :

Résultats de l'étude de l'hydrodynamique dans la zone de sidi Fredj après installation des ouvrages année 2016 :

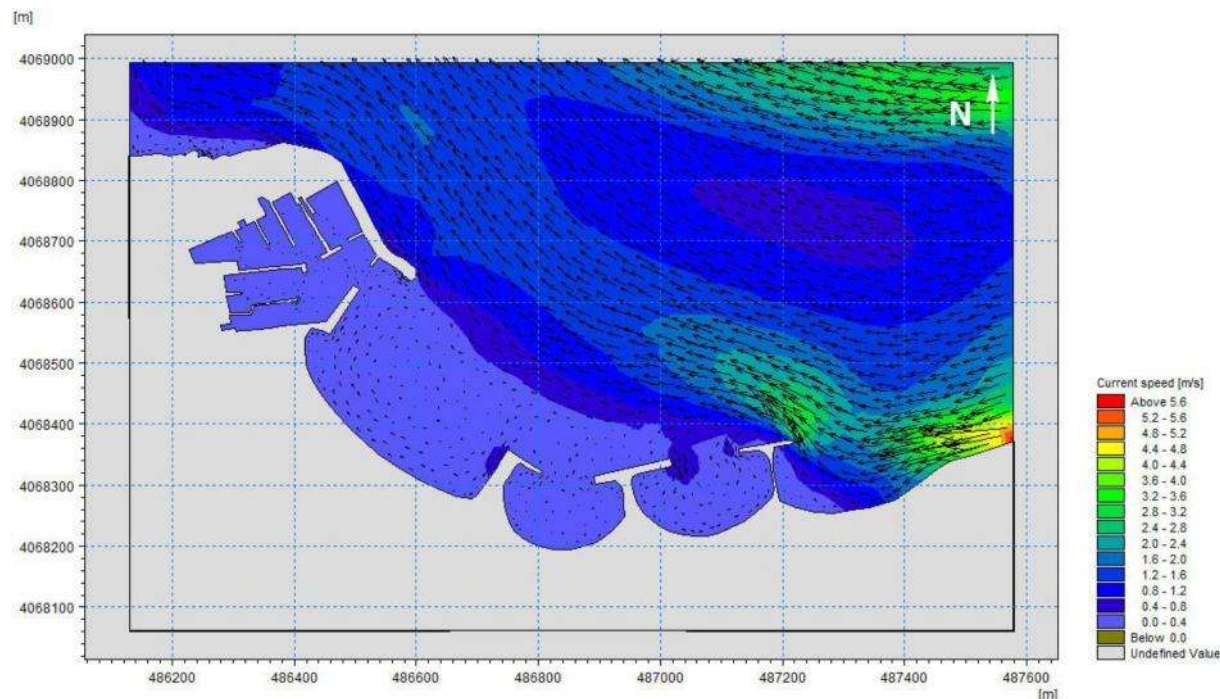


Figure 4.14 : Modélisation numérique des vitesses des courants pour N45°

La (Figure 4.14) représente la direction et vitesse des courants générées par la réfraction de la houle Nord-Est. D'après cette figure, on observe que les champs des courants montrent des activités hydrodynamiques presque dans toute la zone, et surtout dans la partie exposée à la houle du côté Est (plage Moretti). Là il est possible d'observer un courant de dérive littoral important dirigé vers le NO°. Le gradient de vitesse atteint un maximum au niveau de la plage Moretti d'environ 4 - 5 m/s, ce que peut provoquer de fortes érosions dans cette partie. La vitesse des courants est minimale au niveau de la partie Ouest de la zone d'étude (de l'ordre de 0.2-0.8 m/s) et presque nulle au niveau des ouvrages ce que peut favoriser le dépôt des sédiments.

Résultats de l'étude de l'hydrodynamique dans la zone Sirène II :

Résultats de l'étude de l'hydrodynamique dans la zone Sirène II avant installation d'ouvrage, année 2009 :

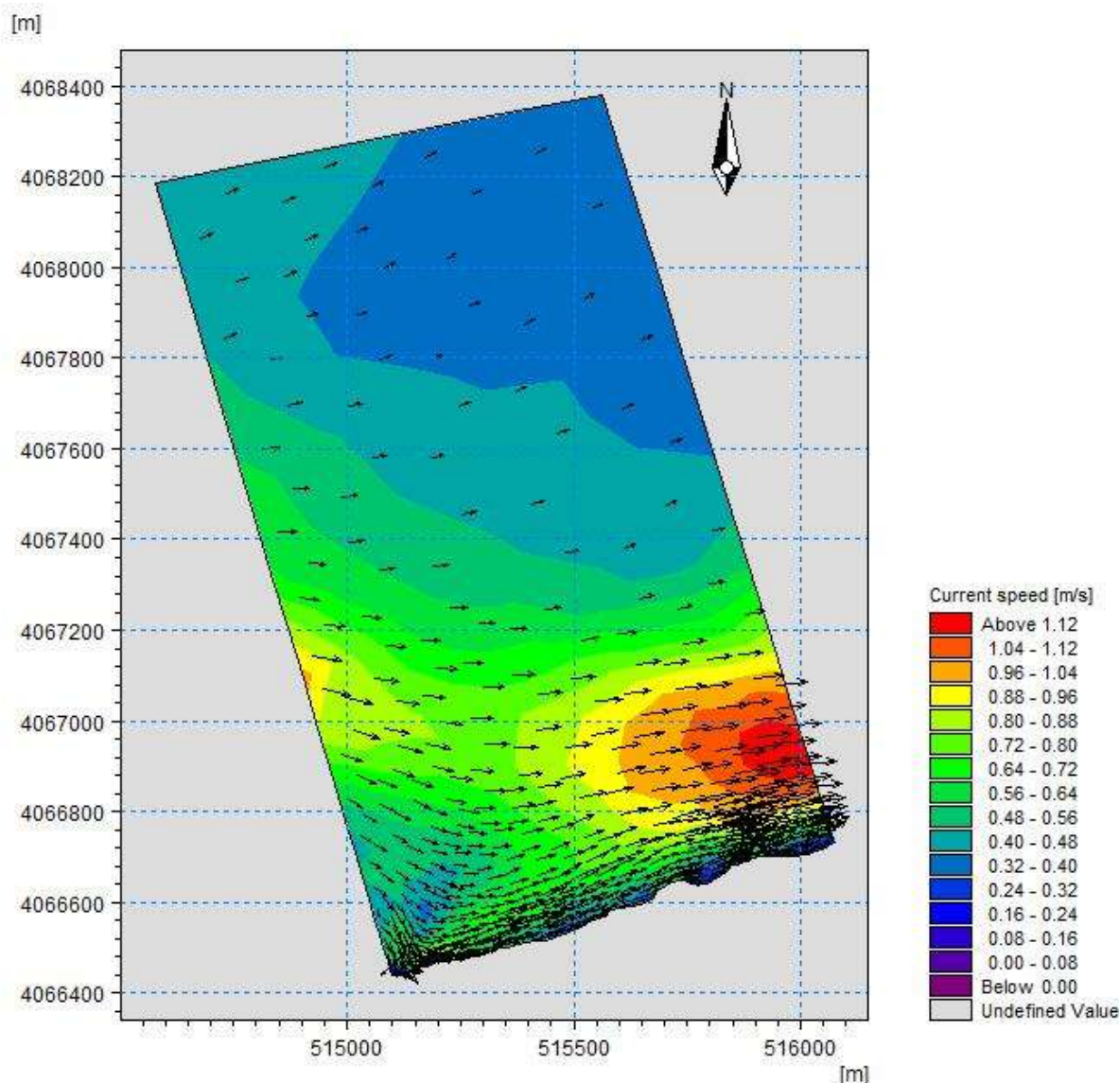


Figure 4.15 : la modélisation des courants pour une direction de 315°N, $T_p=10s$ et $H_s=4.53m$

La (figure 4.15) représente la direction et vitesse des courants générées par la réfraction de la houle Ouest-Nord-ouest. D'après cette figure, on observe que les champs des courants montrent des activités hydrodynamiques presque dans toute la zone, et surtout dans la partie exposée du côté Est et une partie du côté Ouest. Là il est possible d'observer un courant de dérive littoral important parallèle à la cote.

Le gradient de vitesse atteint un maximum au niveau de la partie aval de l'ouvrage d'environ 1.2m/s, ce que peut provoquer de fortes érosions dans cette partie.

La vitesse des courants est minimale au niveau de la partie Sud-Ouest et au large de la zone d'étude (de l'ordre de 0.16-0.4 m/s) ce qui peut favoriser un dépôt sédimentaire.

4.2.3 La modélisation du transport sédimentaire avec le modèle ST :

Dans le cadre de notre projet, la modélisation du transport sédimentaire a été réalisée en utilisant le module MIKE 21/3 Coupled Model FM, qui est un modèle numérique développé par DHI. Il offre un couplage entre le modèle hydrodynamique MIKE21-HD avec le modèle de réfraction de vague MIKE21-SW et le modèle de transport de sable MIKE21-ST.

Après avoir introduire les paramètres de chaque modèle, une simulation a été effectuée des trois modèles en même temps pour avoir les données de la propagation de la houle et des courants directement des modèles SW et HD

4.2.3.1 Résultats de l'étude du transport sédimentaire avec le module ST :

Résultats de l'étude du transport sédimentaire dans la zone de club des pins :

Résultats de l'étude du transport sédimentaire houle dans la zone de club des pins avant installation d'ouvrage, année 2009 :

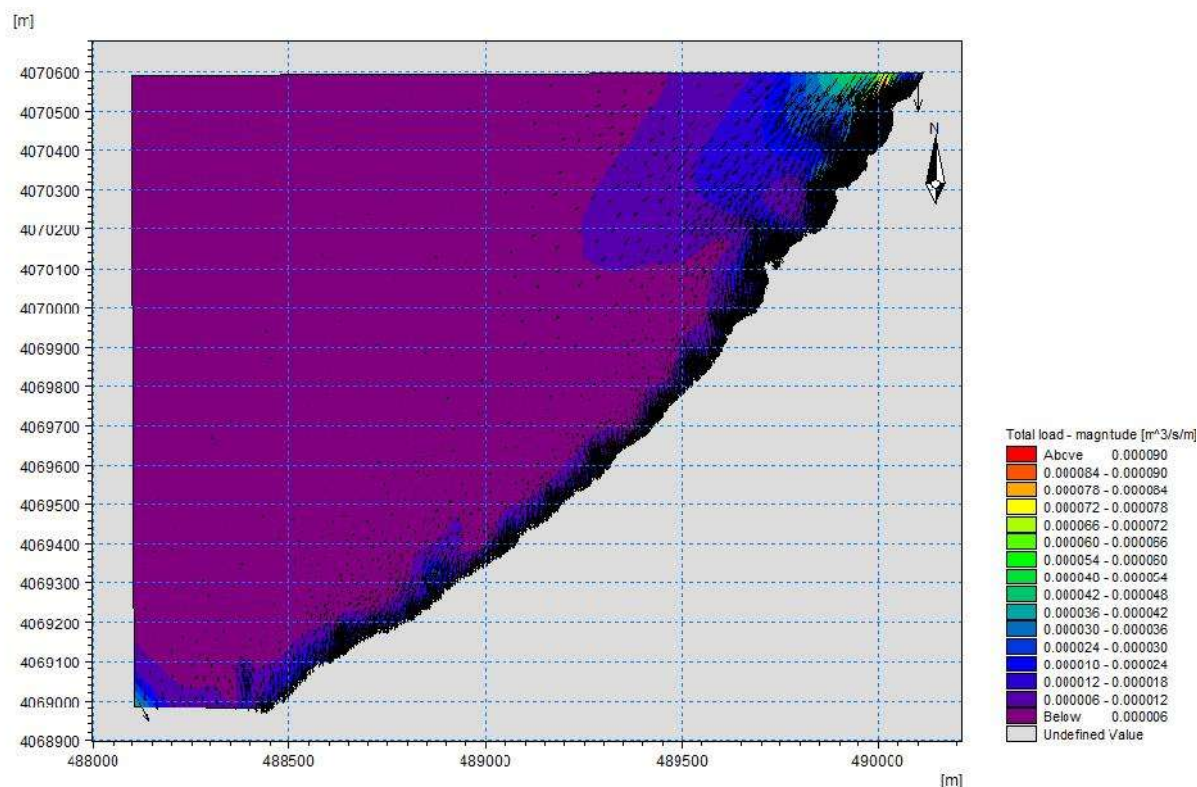


Figure 4.16 : la modélisation du transport sédimentaire pour une direction de 45°N, $T_p=6s$ et $H_s=1.09m$

La modélisation du transport sédimentaire issu de la modélisation hydrodynamique et de la réfraction montre un taux de transit moyennement faible au niveau de la zone. Nettement moins on remarque un transit plus au moins important du côté Nord-ouest avec des volumes

de $9.10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ qui s'expliquerai par la vitesse des courants et le régime des houles observés. Qui expliquerai aussi le faible transit sur le reste de la zone atteignant un volume de $6.10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$.

Un transit sédimentaire de $9.10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ est observé du coté Nord-ouest de la zone ce qui s'expliquerait par les vitesses de courants faibles précédemment observé, on note aussi un faible transport de volume sédimentaire dans le reste de la zone d'une valeur de $6.10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$.

Résultats de l'étude du transport sédimentaire houle dans la zone de club des pins après installation d'ouvrage, année 2016 :

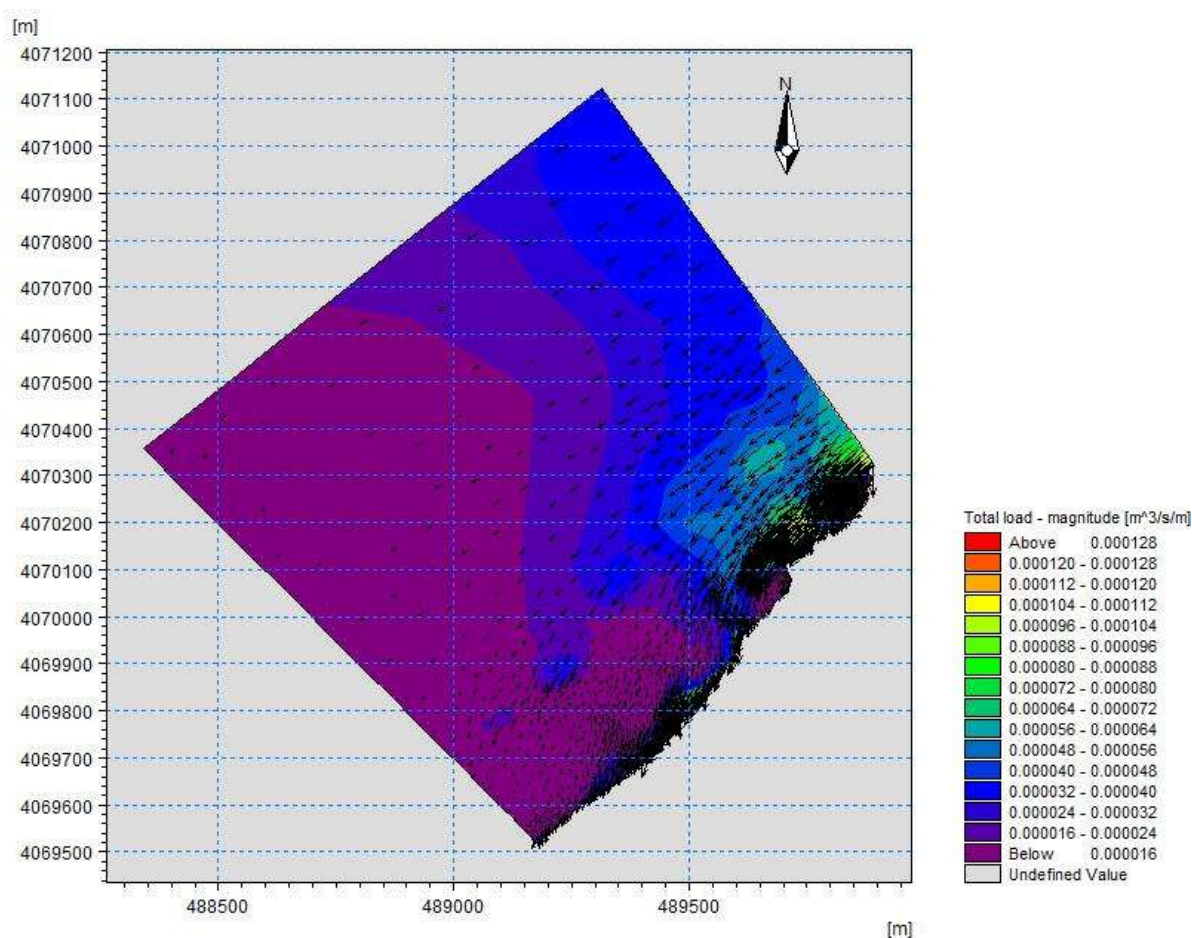


Figure 4.17 : Modélisation du transport sédimentaire pour une direction de 45°N , $T_p=8\text{s}$ et $H_s=2.56\text{m}$

Le transport net correspond à la résultante de toute la contribution de transport pondéré par leurs fréquences d'occurrence et le transport brut correspondant à la somme de ces contributions. Dans le cas de notre étude.

Le transport local de sédiment se produit dans de nombreuses directions dans la zone d'étude, mais on observe une tendance vers le large (transport transversal-cross shore) le transport sédimentaire longitudinal (long-shore) portant vers l'Ouest est nettement plus faible que le transport portant vers le Sud Est

Selon le résultat de la modélisation, toutes les valeurs relatives au transport sédimentaire renseignent sur un mouvement net s'effectuant d'Ouest en Est avec une valeur moyenne qui demeure faible ; elle est de l'ordre de 10^{-6} m³/s/m. Il est également noté que les scénarios de houles N45°N contribuent au transport le plus élevé de sédiments ainsi l'intensité des courants observés sur la partie Est ce qui pourrait conduire au déplacement des sédiments vers la partie ouest et large.

Résultats de l'étude du transport sédimentaire dans la zone Sidi Fredj :

Résultats de l'étude du transport sédimentaire dans la zone Sidi Fredj après installation d'ouvrages, année 2016 :

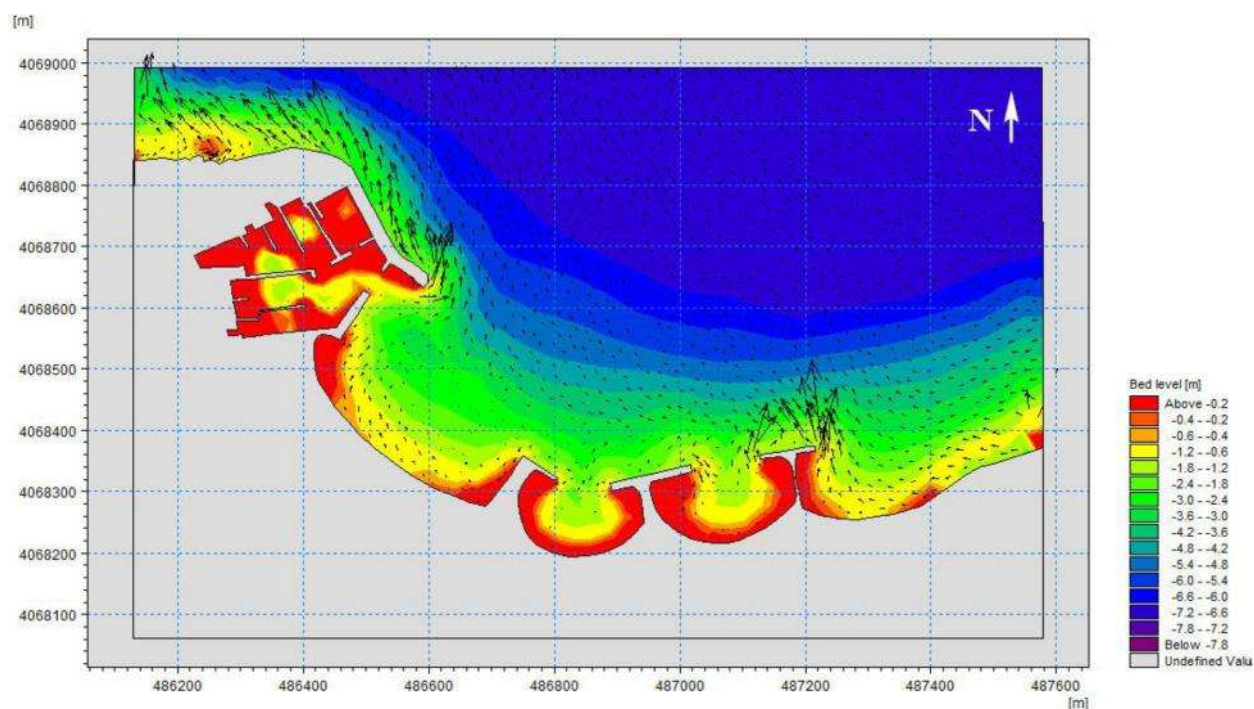


Figure 4.18 : Modélisation du transport sédimentaire pour N45°

La *Figure 4.18* représente le transport sédimentaire engendré par la houle et les courants qui proviennent du Nord-Est. La direction des flèches représente la direction du transport sédimentaire et la longueur des flèches représente l'intensité du transit sédimentaire.

Le transit sédimentaire dans la zone d'étude reflète l'activité hydrodynamique observée dans les champs des courants. Sur le plan sédimentologique, on constate la présence de zone de fort transit sédimentaire à l'Est des épis, au niveau de la jetée principale du port, traduisant des capacités de transport solide importante, et quand on s'éloigne de cette qui connaît une forte agitation hydrodynamique, cette capacité diminue graduellement suivant les vitesses des

courants pour atteindre des faibles valeurs au niveau de la zone au-dessus l'hôtel d'El Riad, notant aussi que cette gamme de capacité caractérise la zone au-dessus des ouvrages de protection, la plage Est, la passe d'entrée du port et face à la jetée principale, cela explique la formation de la plage sableuse dans la zone Ouest.

Résultats de l'étude du transport sédimentaire dans la zone Sirène II :

Résultats de l'étude du transport sédimentaire houle dans la zone Sirène II avant installation d'ouvrage, année 2009 :

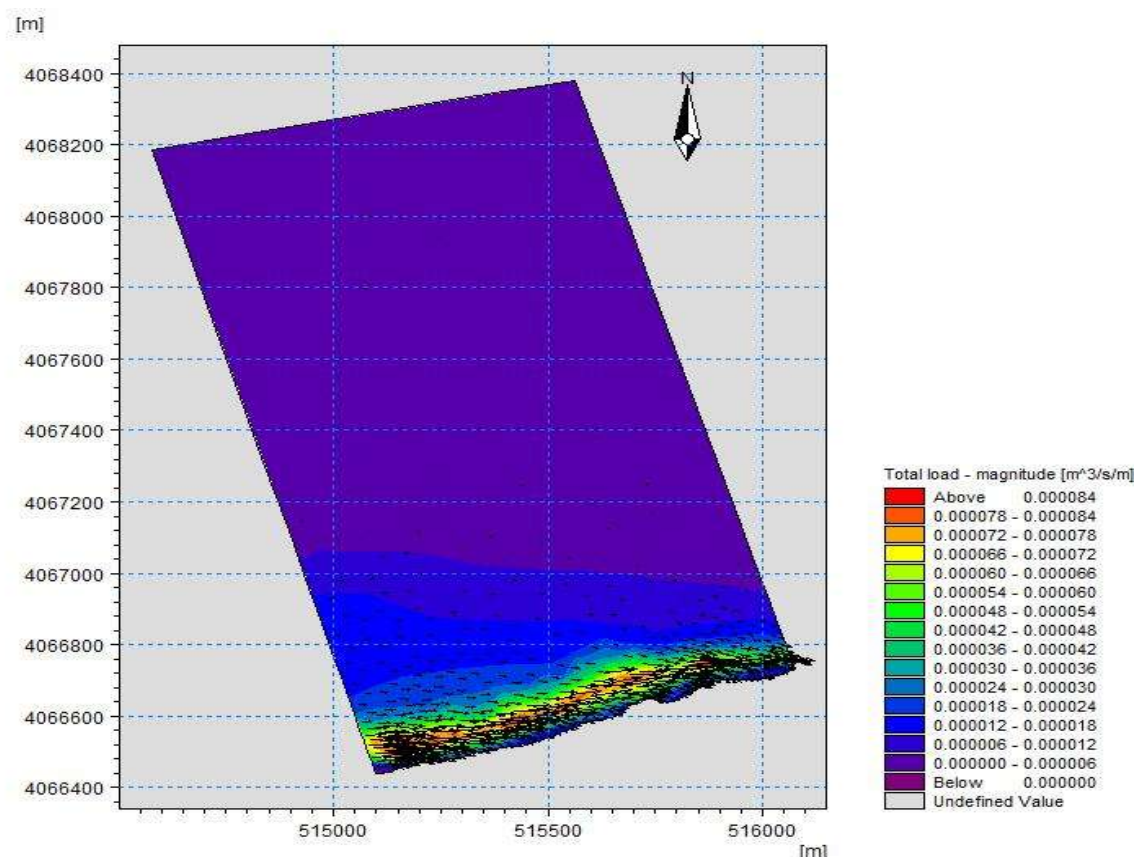


Figure 4.19 : la Modélisation de transport sédimentaire pour une direction de 270°N, $T_p=6s$ et $H_s=1.19m$

La Figure 4.19 représente le transport sédimentaire engendré par la houle et les courants qui proviennent de l'ouest. La direction des flèches représente la direction du transport sédimentaire et la longueur des flèches représente l'intensité du transit sédimentaire.

Le transit sédimentaire dans la zone d'étude reflète l'activité hydrodynamique observée dans les champs des courants. Notamment le transit est plus important dans la partie ouest dans les faibles profondeurs avec des volumes atteignant $8.4 \cdot 10^{-5} m^3/s/m$ et il a tendance à diminuer en se rapprochant de l'ouvrage.

4.3 Résultats de l'étude de l'évolution du trait de côte :

Dans le cadre de ce travail, afin d'évaluer l'évolution du littoral dans la partie ouest de la baie d'El Djamila nous avons effectué une étude statistique grâce à l'extension DSAS du logiciel ArcGIS, en utilisant un ensemble de trait de côte s'étalant dans une période de 15ans, ces traits de côte ont été récolté soit : du LEM ou de la digitalisation de certaines carte extraites de Google Earth Pro.

L'extension précédemment citée nous a permis de créer automatiquement 108 transects d'une longueur de 300m espacés entre eux de 50m.

Vu la multiplicité des ouvrages de protection dans la partie ouest de la baie et pour une meilleure appréciation de l'impact de ces ouvrages, nous avons combiné nos données de façon à avoir une vue intégrée de la zone.

Les taux de changements de rivages sont calculés en utilisant des méthodes EPR, LRR et NSM en un an pour un seul transept.

4.3.1 Résultats de l'étude de l'évolution du trait de côte dans la zone partie ouest de la baie d'El Djamila :

Analyse du NSM :

Pour la partie allant du port de Sidi Fredj à la plage Moretti :

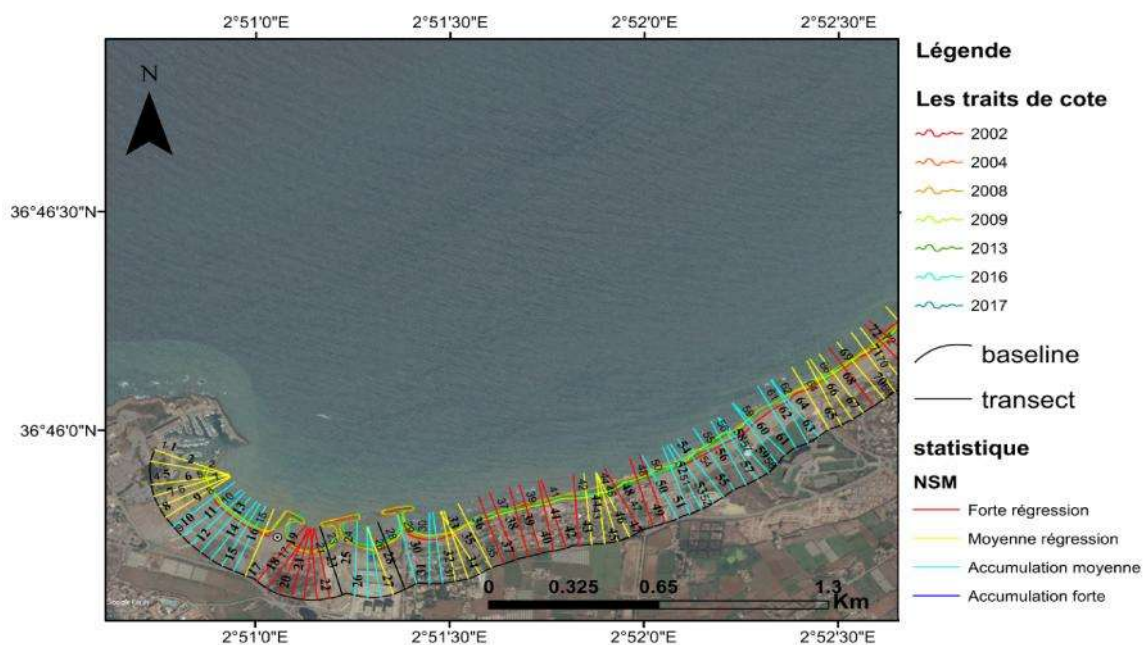


Figure 4.20 : Représentation de l'état de la zone de Sidi Fredj en fonction de NSM entre 2002 et 2017

Analyse de NSM :

La (figure 4.20) indique les variations de la distance entre les traits de côte de l'année 2002 et celui de l'année 2017. Les distances calculées à partir de la ligne de base entre l'année 2017 et 2002 peuvent être positives et indiquer des accumulations comme elles peuvent être négatives et indiquer dans ce cas une érosion.

La plage Est de Sidi Fredj a connu durant cette période une variation dans son trait de côte, la partie à proximité du port a connu une régression environ de 8m. Tandis que la partie proche des ouvrages de protection a connu une accumulation, atteignant un maximum de 9m durant les 15ans, cela pourrait être dû au fait qu'elle soit abritée par les ouvrages.

Pour la partie entre le brise lame en T et celui en L, elle connaît une forte érosion avec une perte de 12.37m, cette situation est peut être dû à la configuration de la baie et son exposition aux houles la rendant naturellement vulnérables, s'ajoutant à cela l'éventuel présence de courants résultants des ouvrages de protection qui donnerait naissance à un transport sédimentaire responsable de la perte de sédiment causant ainsi le recul du trait de côte.(voir Figure 4.20)

La seconde partie comprise entre les 2 brises lames de la plage el Riadh connaît une accumulation moyenne comparée à celle observée dans le reste de la zone, cette variation est comprise entre de 5 à 8m. (Voir Figure 4.20)

La plage de Moretti quant à elle se trouve dans une situation de recul particulièrement élevé par rapport au reste de la baie, cette variation des distances entre les deux traits de côtes va 1.01m à 24.64m ce qui représente une menace pour les habitations adjacentes. Cette situation peut être expliquée par le fait que cette zone soit comprise entre deux plages sur les quelles sont implantés des ouvrages de protection ce qui constituent un obstacle pour le transit sédimentaire qui alimente la plage. (Voir Figure 4.20)

Pour la partie allant de la plage Moretti à la plage de club des pins:

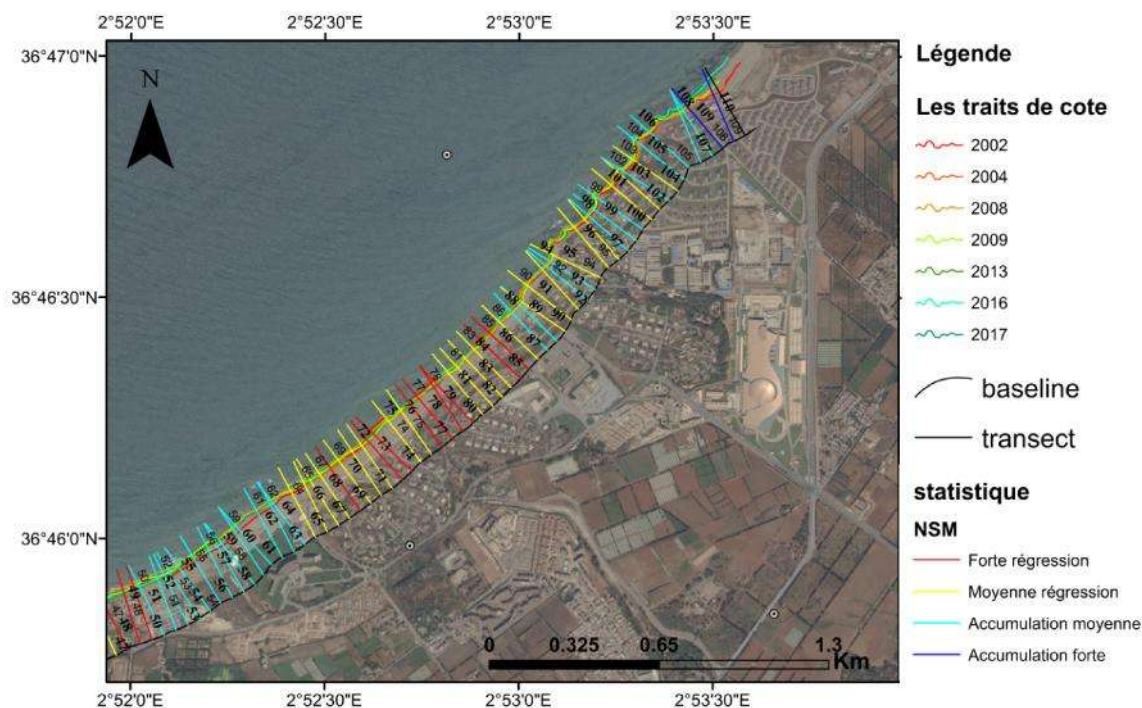


Figure 4.21 : Représentation de l'état de la zone de Club des pins en fonction de NSM entre 2002 et 2017.

Hormis la zone centrale qui connaît une alternance entre une érosion élevée et une érosion moyenne, avec une différence des deux traits de côtes arrivant jusqu'à 25m dans certaines régions de la zone, et ce, malgré la mise en place d'ouvrage immergés. (Voir Figure 4.21)

Les zones adjacentes quant à elles, connaissent des variations dans le trait de côtes avec une dominance d'accumulation moyenne par rapport à d'autres tendances évolutives. (Voir Figure 4.21)

Il est à noter que la partie Est de la zone a connu une accrétion remarquable allant jusqu'à 18m reflétant ainsi l'impact de la mise en place de brises lames immergés qui ont favorisé le piégeage des sédiments favorisant par la suite l'engraissement de la plage dans cette région.

Analyse du LRR et de l'EPR

Les deux paramètres LRR et EPR permettent d'estimer les vitesses de déplacement du trait de côte, le LRR rends compte du taux de variation en prenant en considération plusieurs traits de côte alors que le EPR donne une vitesse d'évolution avec laquelle la variation s'est effectuée entre le trait de côte le plus ancien et le plus récent.

Analyse de l'EPR :

Pour la partie du port de Sidi Fredj à la plage Moretti:

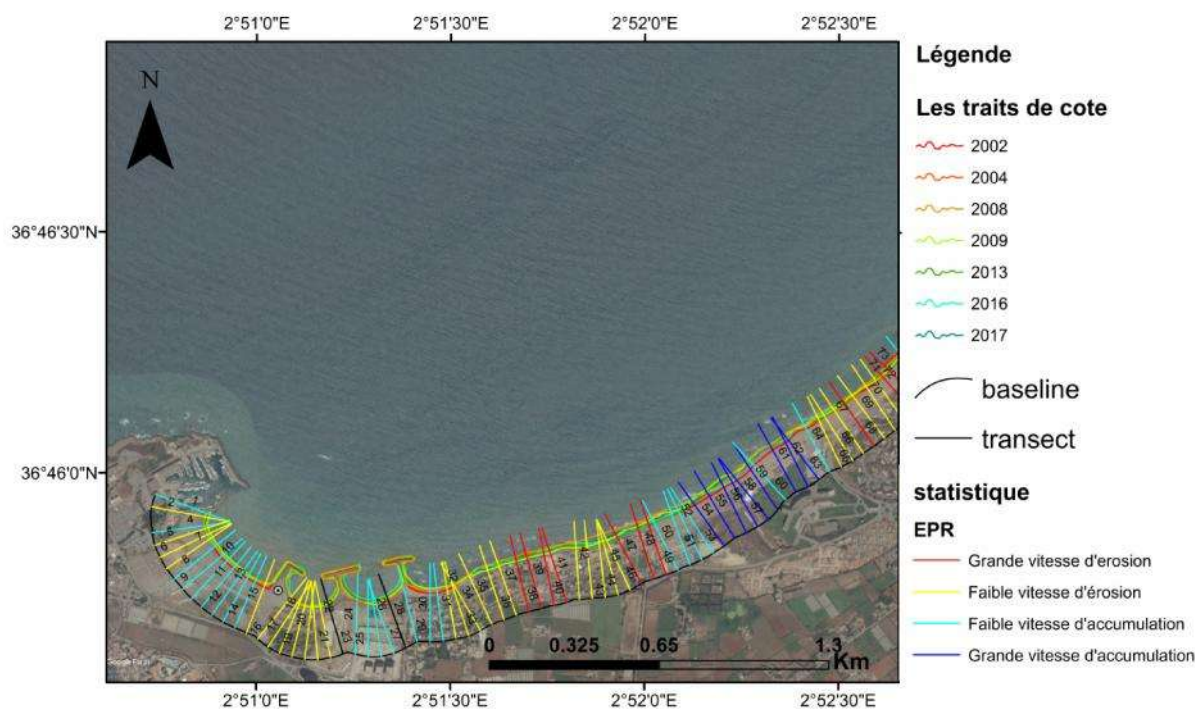


Figure 4.22 : Représentation de la vitesse d'évolution (Accumulation ou érosion) en fonction de l'EPR de la zone du Sidi Fredj entre 2002 et 2017.

Pour la partie la proche du port qui est en situation d'érosion, cette vitesse d'évolution est relativement faible allant de 0.05 m/an à 0.39m/an, alors que pour la partie proche des ouvrages de protection on remarque une vitesse d'accumulation faible avec une valeur maximale de 0.49m/an. La zone comprise entre le brise lame en T et le brise lame en L est quant à elle est caractérisée par une érosion avec une vitesse de 0.83m/an. Le reste de la région couverte par le brise lame connaît une accumulation d'une vitesse 0.38m/an.

La zone de Moretti connaît actuellement un recul de son trait de côte d'une vitesse moyenne entre 2002 et 2017 de 0.67m/an.

Pour la partie club des pins :

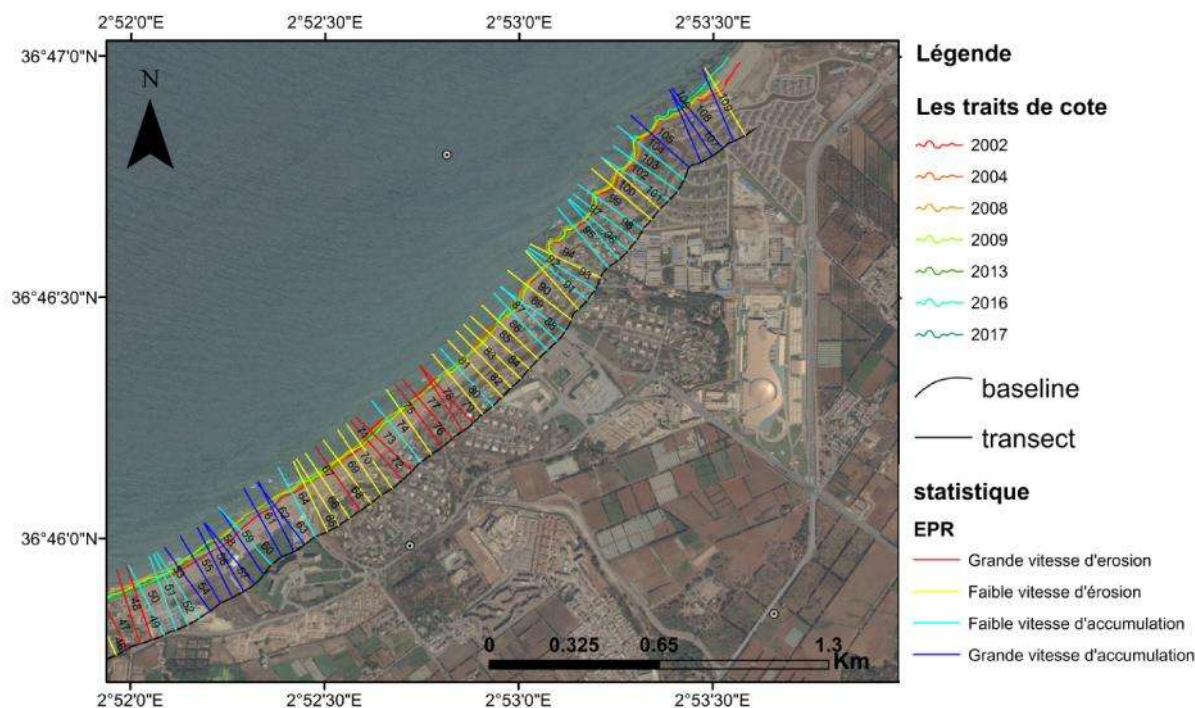


Figure 4.23 : Représentation de la vitesse d'évolution (Accumulation ou érosion) de la zone du Club des pins en fonction de l'EPR entre 2002 et 2017.

Malgré la mise en place des brises lames en 2016, la partie de club des pins connaît dans sa partie centrale une érosion avec des vitesses plus au moins variables, cette vitesse est en moyenne de : 0.49m/an.

Néanmoins, cette zone connaît dans sa partie Ouest et dans son extrémité Est, des zones d'accumulation avec des vitesses élevée avec un maximum de 6.49 m/an.

Analyse du LRR :

L'analyse de ce paramètre permet comme celle de l'EPR d'estimer les taux d'évolution, sauf que cette approche nous renseigne d'avantage sur les tendances évolutives du trait de côte, elle prend en considération au moins trois traits de côte ce qui est intéressant pour faire ressortir les vitesses de variation d'accumulation ou d'érosion temporaires qui ne sont pas visibles dans le cas d'utilisation du paramètre EPR.

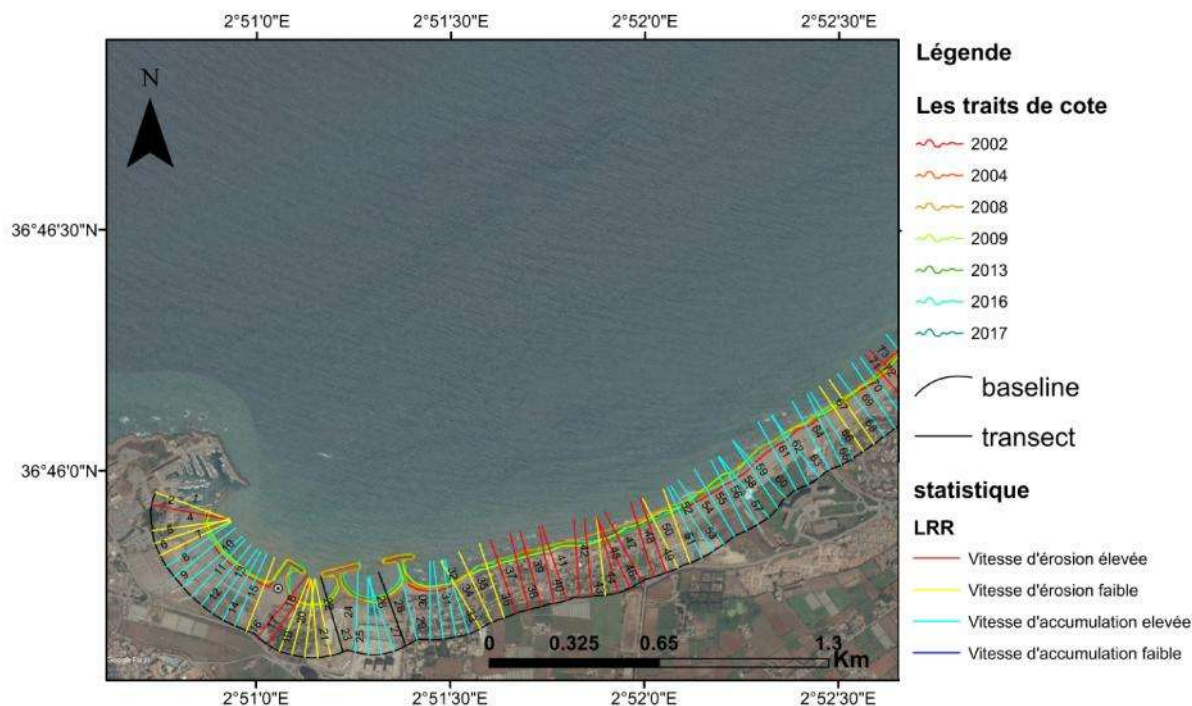


Figure 4.24 : Représentation de la vitesse d'évolution (Accumulation ou érosion) de la zone de Sidi Fredj en fonction de LRR entre 2002 et 2017.

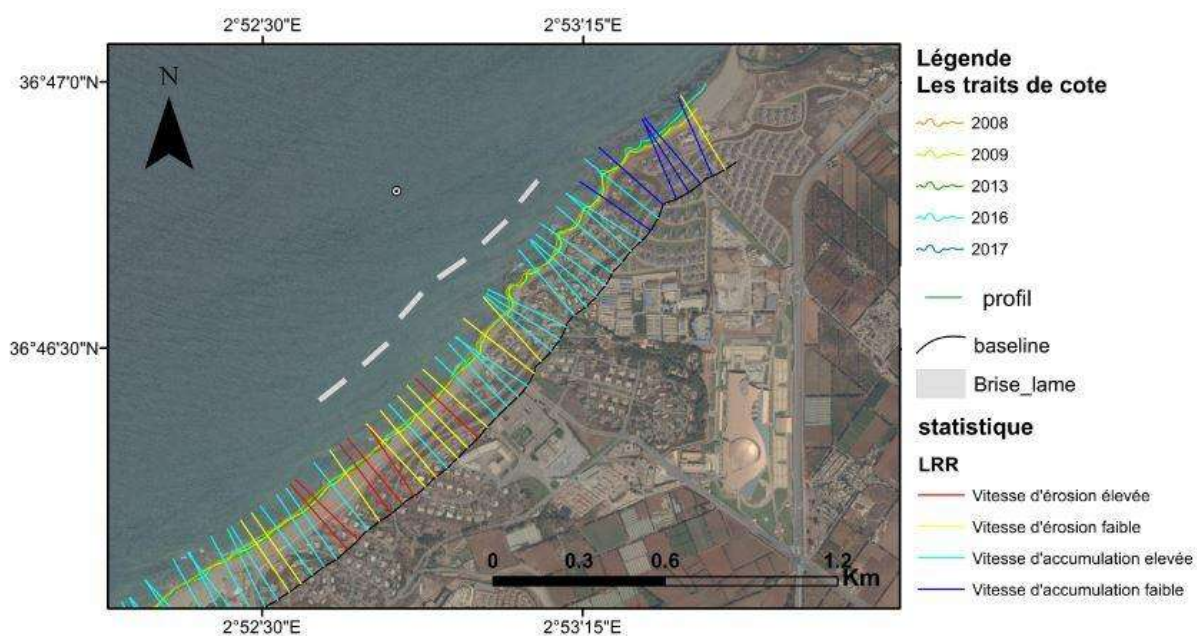


Figure 4.25 : Représentation de la vitesse d'évolution (Accumulation ou érosion) de la zone de Club des pins en fonction de LRR entre 2002 et 2017.

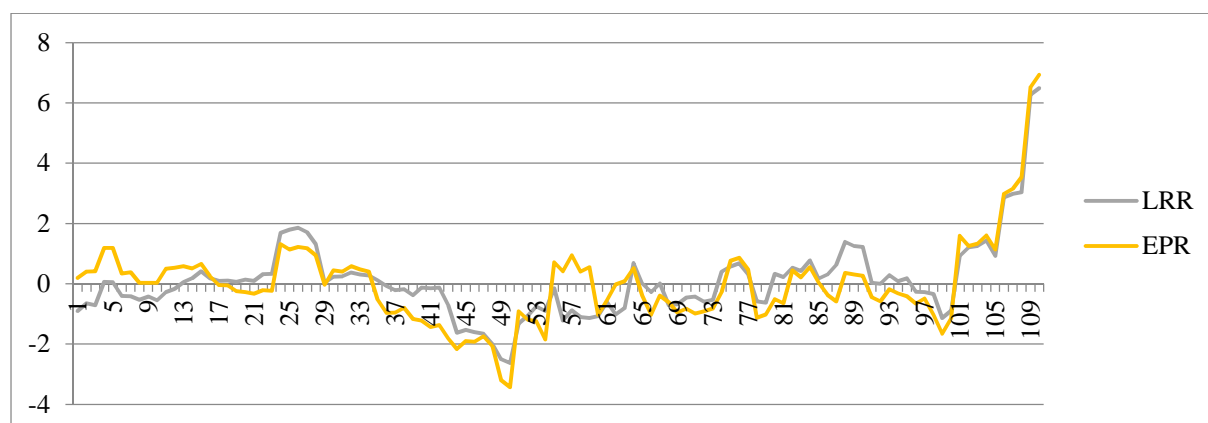


Figure 4.26 : représentation graphique des variations des paramètres dévolution de trait de côte (LRR et EPR)

L'analyse du diagramme EPR/LRR en fonction des transects montre que les variations des vitesses évolutives d'accumulation ou d'érosion évoluent dans le même sens, c'est à dire qu'il n'y'a pas contradictions entre ces 2 paramètres, ils indiquent pour chaque zone des tendances évolutives d'accrétion ou d'érosion identiques avec parfois même des vitesses semblables, comme il est le cas pour le transect numéro 100.

Cette ressemblance est respectée dans toute notre zone d'étude sauf pour les transects 55 à 64 qui sont situés sur la zone ouest de la plage club des pins, les résultats obtenus par le LRR démontrent que la zone a tendance à s'éroder avec une vitesse de 0.8m/an alors que l'analyse de EPR montre une accumulation à une vitesse de 0.23m/an.

4.3.2. Résultats de l'étude de l'évolution du trait de côte dans la zone Sirène II :

Analyse de NSM :

La variabilité spatiotemporelle du trait de côte de la plage Sirène II entre l'année 2000 et l'année 2017 est illustrée par le paramètre NSM sur la figure 4.27.



Figure 4.27 : Représentation de l'état de la zone de Sirène II en fonction de NSM entre 2000 et 2017.

Cette plage se situe entre une brise lame en T et un second en L, néanmoins cette variation d'accumulation ou d'érosion est variable d'une partie à une autre.

La zone Est du site d'étude est caractérisée par une forte érosion par rapport au reste de la zone, avec un maximum de -4.5m.

De part et d'autre de cette portion on note de façon globale un avancement vers le large du trait de côte depuis l'année 2000, cet avancement est compris entre 1.23m et 25.99m.

Des avancements du trait de côte vers la mer sont aussi relevés dans la partie Ouest de la zone avec des valeurs qui atteignent 40.44m.

Cette situation peut être expliquée par l'exposition de la baie face aux houles ce qui le rend vulnérable par la création de courants qui expulsent les sédiments vers le large, ou les arrachent pour les déposer au pied du brise lame en L, ce qui pourrait expliquer l'accrétion et l'avancement du trait de côte observé. (Voir Figure 4.27)

Analyse du LRR et EPR :

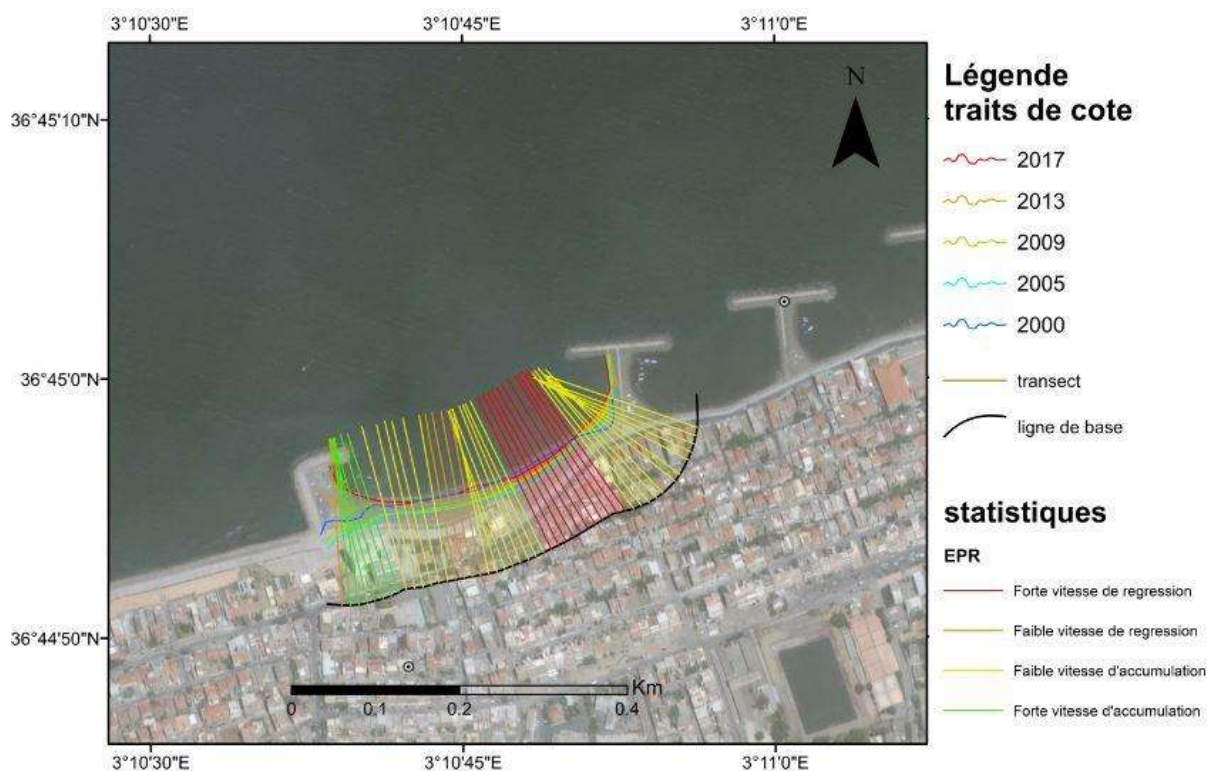


Figure 4.28 : Représentation de la vitesse d'évolution (Accumulation ou érosion) de la zone de Sirène II en fonction de l'EPR entre 2002 et 2017.

Les vitesses de variation exprimées avec le paramètre EPR montrent des vitesses variables, la partie centrale de la zone exprime une vitesse de régression du trait de côte, forte dans la partie Est et plus faible dans sa partie Ouest.

Pour ce qui est de l'accumulation elle est beaucoup plus observée dans les extrémités, près des brises lames, et ce avec un maximum de vitesse d'accumulation égal à 2.35m/an se situant dans la partie ouest de la baie, alors que la partie Est n'a un maximum d'avancement du trait de côte que 1.39m/an.

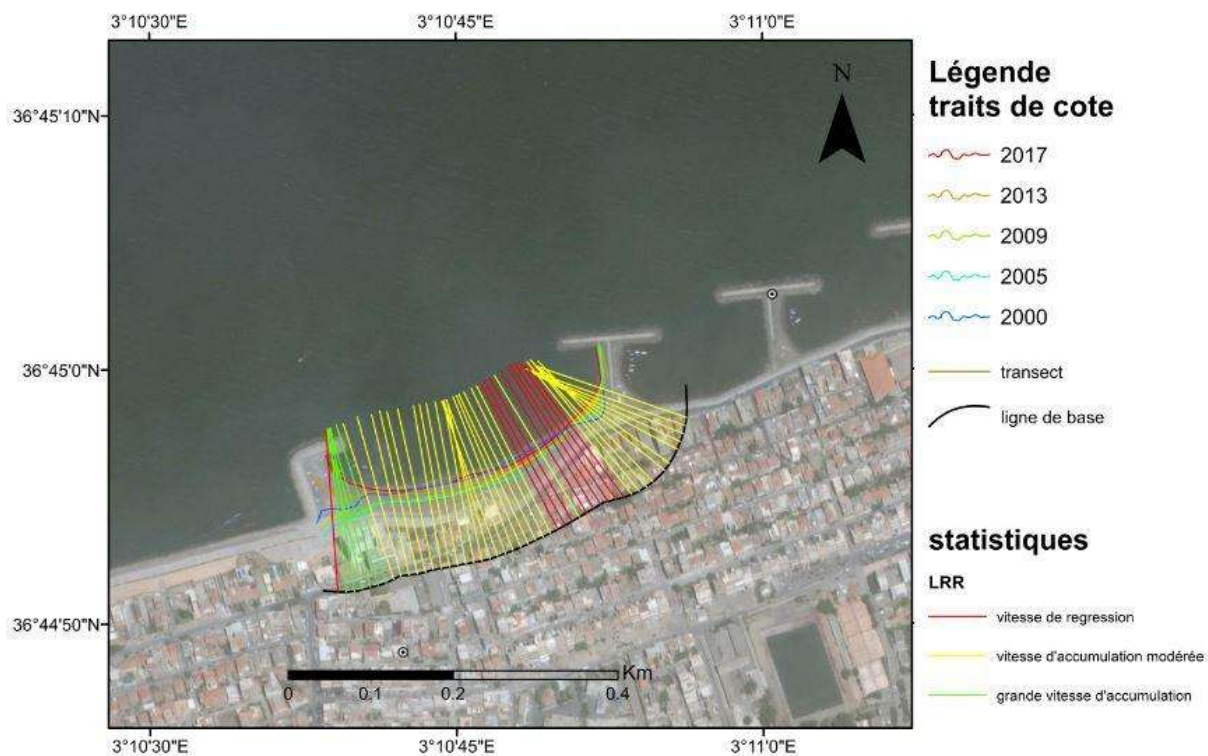


Figure 4.29 : Représentation de la vitesse d'évolution (Accumulation ou érosion) de la zone de Sirène II en fonction de LRR entre 2002 et 2017.

La superposition du paramètre LRR et du paramètre EPR montre une ressemblance dans l'allure des courbes montrant ainsi des tendances évolutives se rapprochant, ce qui indique que le paramètre EPR qui ne prend que deux transepts et que le paramètre LRR qui prend un ensemble de traits de côte ont abouti à un même résultat conséquences d'une absence de variations remarquables durant cette période (2000-2017) qui aurait pu influencer la variation du paramètre LRR.

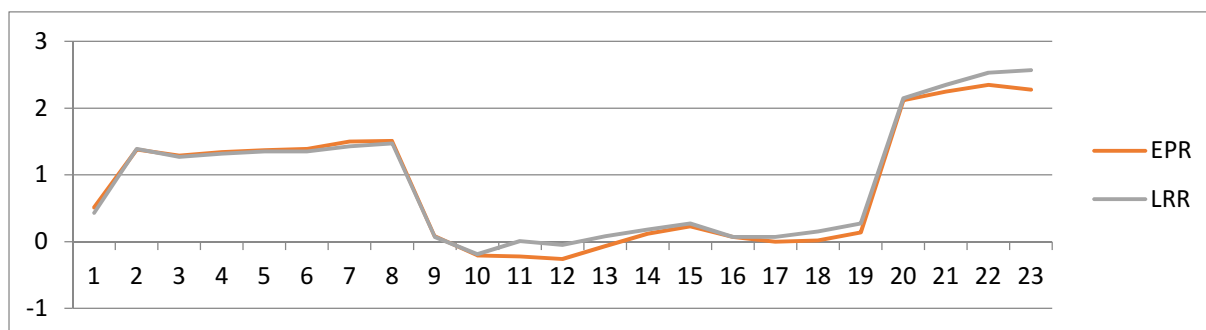


Figure 4.30 : Représentation graphique des variations des paramètres d'évolution de trait de côte (LRR et EPR).

Discussion des résultats :

La comparaison des épures réalisées pour des bathymétries différentes, récente et ancienne, avec et sans ouvrages, mais sous les mêmes conditions de houle c'est-à-dire : direction, hauteurs significatives et périodes, permet d'apprécier l'évolution spatio-temporelle du littoral et de mettre en exergue l'impact des ouvrages mis en place. La confrontation de l'observation obtenue par ces épures avec celles du DSAS permet de confirmer ou d'infirmer les résultats de la modélisation.

Zone baie ouest de la baie d'El Djamila :

Concernant les épures de réfractions, réalisées en 2009 avant l'ouvrage et celle réalisée en 2016 après la mise en place des ouvrages, on observe que les orthogonales des houles ont les mêmes directions. Néanmoins leurs hauteurs ont variés allant de 2.4m à 1.6m près de la côte (5m) pour l'année 2009 jusqu'à atteindre en 2016 des hauteurs de 1.05m à 0.9m pour la même distance à la côte.

Ceci indique que les ouvrages de protection ont eu un effet sur la réfraction des houles et ont causé l'atténuation de leur hauteur.

Les courants observés entre l'année 2009 et 2016 ont considérablement changé, et ce, en s'intensifiant après la mise en place des ouvrages, ceci pourrait être dû aux diffractions que subissent les houles et qui donnent naissance à des courants qui vont d'Est en Ouest.

Le transport sédimentaire résultant n'a pas changé de direction mais a changé de débit, car avant la mise en place d'ouvrage, il variait de $1.8.10^{-4}m^3/s/m$ à $1.2.10^{-4}m^3/s/m$ alors qu'après la mise en place de l'ouvrage il s'est élevé à $3.2.10^{-4}m^3/s/m$, cette intensification accompagne celle de l'intensification des courants.

Pour une meilleure appréciation de l'influence des brises lames nous confrontons cette évaluation avec l'évaluation réalisée par l'évolution diachronique du trait de côte. On constate que la région de club des pins connaît une accumulation moyenne est celle qui est abritée par les brises lames, ces ouvrages donnent aussi naissance à des courants longitudinaux qui provoquent une érosion aux extrémités des brises lame c'est-à-dire en dehors de la zone d'action des ouvrages.

Ces deux observations de sources différentes se complètent et indiquent des variations identiques.

La plage de Sirène II :

Par faute de moyen pour l'obtention d'une bathymétrie récente pour la zone d'étude nous avons basé notre étude sur une évolution diachronique des traits de côte par DSAS

Les épures réalisées grâce à MIKE21 démontrent qu'en 2009 il y avait une tendance érosive dans la partie ouest de la plage, et une tendance à l'accumulation dans sa partie Est, ceci a mené

à la mise en place de l'épi en L, l'analyse diachronique a révélé une inversion des tendances, par l'accumulation au pied de l'ouvrage en L et une érosion dans la partie Est de la plage.

Nous pouvons émettre une hypothèse sur cette variation et dire que l'installation de l'ouvrage a créé par la diffraction des houles un courant qui redistribue les sédiments vers la partie Est, ou qui les éjecte en défaveur de la plage en générale et pour la partie Est en particulier.

CONCLUSION GENERALE

VI. CONCLUSION GENERALE

Dans le cadre de ce travail, nous avons effectué une étude comparative entre un état vierge sans ouvrages avec un état de plage artificialisée, c'est-à-dire en présence d'ouvrage de protection et d'ouvrages portuaires. Cette comparaison a été réalisée avec l'exploitation de résultats de réfraction des houles, d'hydrodynamique et transport sédimentaire résultants de la modélisation numérique grâce au progiciel MIKE21. L'interprétation de ces résultats a permis de faire ressortir les zones susceptibles de connaître des évolutions régressives ou transgressives.

La seconde méthode utilisée pour évaluer les états des zones étudiées, est l'analyse diachronique des traits de côtes par l'outil DSAS, ce qui a permis de faire ressortir des statistiques d'évolution, notamment le NSM qui indique la distance parcourue du trait de côte dans une période de temps, ou le LRR et l'EPR qui font ressortir de taux d'évolution.

La confrontation des résultats obtenus par ces deux méthodes, permet en cas de concordance des résultats de conforter les hypothèses émises.

Les scénarios obtenus par la modélisation numérique dans la zone des brises lames de club des pins ont permis de faire ressortir des zones de fort transit sédimentaire, ces résultats concordent avec ceux obtenus par l'évolution diachronique qui indiquent que ces dernières sont en état d'érosion

La partie de Moretti quant à elle présente un état de régression et d'érosion relativement supérieur à ceux observés dans le reste de la baie.

Pour la zone de la plage el Riadh présente une portion qui connaît une accumulation et une autre qui présente une érosion, ceci pourrait être dû à l'hydrodynamisme résultant à l'intérieur des plan des d'eaux qui est favorable au dépôt dans certaines zones et non favorable au dépôt pour d'autres.

La plage Est quant à elle présente des résultats différents, le transport sédimentaire indique une forte activité aux pieds de la jetée du port et au pied de l'épi. Alors que le DSAS indique une zone de dépôt dans la partie Est de la plage Est de Sidi Fredj.

Pour la seconde zone Sirène II, la confrontation n'a pas pu être effectuée par manque de données bathymétriques récentes, mais l'évolution diachronique du trait de côte indique une inversion dans les tendances, en effet la simulation de transport sédimentaire prévoit une érosion dans sa partie Ouest et une accumulation dans sa partie Est, alors l'évaluation du trait de côte par le DSAS indique une accumulation du côté ouest de la plage et une érosion du côté Est de la plage. Ceci pourrait être expliqué par la rétention des sédiments par le brise lame en L ou la provocation d'un courant qui éjecterait les sédiments vers le large ou qui les redistribue vers les pieds de l'ouvrage en L.

CONCLUSION GENERALE

La fiabilité de ces résultats relève des traitements qui leur ont été attribués ainsi que de la qualité de la modélisation effectuée. Dans notre cas, et malgré le manque de données auquel on a fait face, les résultats obtenus semblent être cohérents, mais restent toujours hypothétiques.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Bibliographie :

MALLET, C. Et MICHOT, A. (2012). Synthèse de référence des techniques de suivi du trait de côte. FRANCE: BRGM. 202p.

AINI, A. (2012). *Morphodynamique de la zone côtière Est de la presqu'île de Sidi Fredj (Ouest d'Alger)*. Mémoire de Magister. Sciences de la Terre. Géomorphologie. Alger: U.S.T.H.B, 120p.

BIRD, E.C.F. (1985). Coastal changes, a global review. London: Wiley. Chichester, 1985, 219 p.

LECLERC, Anne-Marie (2010). *Ouvrages de protection du littoral : effets sur la morphologie des plages et sur les communautés benthiques intertidales, région de Saint-Siméon et de Bonaventure, baie des Chaleurs (Québec, Canada)*. Thèse de doctorat. Maîtrise en géographie. CANADA : Université du Québec, 161p.

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

BELKACI, S. (2015). Impact des Infrastructures littorales sur l'évolution du trait de côte dans une zone soumise à un fort transit sédimentaire – Cas de Sidi Fredj-. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger: ENSSMAL. 85p.

BELLAHSENE, Y. ; MESSAOUDI, S. (2005). *Etude bathymétrique, sédimentologique et pollution par les métaux lourds de la baie d'El Djamila*. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, pp. 13-52.

BOURGOU, M., & MIOSSEC, J.-M. (2010). *Les littoraux-enjeux et dynamiques*. France : Presses universitaires. 304p.

BOUSQUET, B. (1990). Définition et identification du littoral contemporain. *Revue Juridique de l'Environnement .NO 4, pp 10-18.*

BOUTIBA, M. (1996). *Etude en vraie grandeur du mode de fonctionnement des ouvrages de protection de la plage Est de Sidi Fredj (Ouest d'Alger)*. Thèse de magister. Aménagement du littoral. Alger : ISMAL, pp. 120-125.

Picaud, C. (2011). Gestion du trait de côte. 2^oéd. France: Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie. pp. 60-78.

DE GIOVNNI, C. (1973). *Etude de sédimentologie dynamique à la presqu'île de sidi freuch (Ouest d'Alger)*. Thèse de doctorat. Géologie marine et sédimentologie. France: Université d'Aix Marseille, pp. 18-58.

DHI. (2014). MIKE ZERO: Creating 2D Bathymetries. Bathymetry Editor & Mesh Generator. Danemark: DHI. 114p.

- DHI. (2014).** MIKE 21 Spectral Wave Modules. Scientific Documentation. Danemark: DHI. 112p.
- DHI. (2014).** MIKE 21/3 Couple Model FM. Danemark: DHI. 100p.
- FAYE, I. (2010).** *Dynamique du trait de cote sur les littoraux sableux de la Mauritanie à la Guinée-Bissau (Afrique de l'Ouest): Approche régionale et local par photo-interprétation, traitement d'images et analyses des cartes anciennes.* Thèse de doctorat. Géographie. Bretagne: l'Université de Bretagne Occidentale, 232 p .
- FAYE, I. et GIRAUDET, E. et GOURMELON, F. ET ALAIN, H. (2012).** *Cartographie normalisée de l'évolution du trait de cote. Revue trimestrielle sur l'imagerie géographique et les formes du territoire.* France: LETG UMR 6554 CNRS, laboratoire Géomer, Institut Universitaire Européen de la Mer, Université de Bretagne Occidentale. p15-17.
- HMI, (2011).** Étude hydro sédimentaire de la zone de SIDI Fredj: Rapport d'activité. Document non publié. Alger : Hydro Marine Ingénierie.
- IDIR, N. & AINI, A. (2006).** *Impacts des équipements côtiers sur l'évolution du littoral de Sidi-Fredj (Évolution du trait de côte, bilan sédimentaire et fonctionnement en grandeur nature des ouvrages de protection).* Mémoire d'ingénieur. Géographie et Aménagement du territoire. Alger: USTHB, 105p.
- KHALDI, N. (2015).** *Modélisation de l'hydrodynamique sédimentaire soumise à l'action de la houle et des courants Application à la cote de Sidi Fredj.* Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger: ENSSMAL, pp. 140-170.
- LECLAIRE. (1972).** *Sédimentation holocène sur le versant méridional du bassin Algéro-Baléares (pré-continent Algérien).* France: Muséum national d'histoire naturelle de Paris.
- LEM(2009).** *Expertise pour l'étude de protection de rivage du site de club des pins par des solutions douces.* Document non publié. Alger: Laboratoire des études maritimes.
- 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.*
- MORELLATO, D. (2008).** *Dynamique des plages sableuses soumises à l'action des vagues, de la marée et des rechargements artificiels. Thèse de doctorat. Océanographie Physique. France : l'Université de Brest, 280 p.*
- Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, (2010).** *Stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte.* France: Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie. pp. 68-103.
- NADIR, M. (2016).** *Modélisation numérique de la morphodynamique d'une cote sableuse soumise à l'effet des vagues et des houles cas : Plage Est de sidi Fredj. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Algérie : ENSSMAL, p 140.*

OULD ELMOUSTAPHA, A. (2000). Influence d'un ouvrage portuaire sur l'équilibre d'un littoral soumis à un fort transit sédimentaire. *Thèse de doctorat. Terre solide et enveloppe superficielle. France : université de Caen, 163 p.*

Paskoff, R. (1994). Les littoraux. Impact des aménagements sur leur évolution. *2 ed. Paris: Masson. 256 p.*

PASKOFF, R. (1998). Les littoraux : impact des aménagements sur leur évolution. *3 éd. Paris : Armand Colin. 264 p.*

RABEHI, W. et RAHAL, F. Aménagement du port d'El Djamilia, Avantage et inconvénients et comportement des structures. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger: Enssmal, p 90.

S.S.M.O. (1963-1970). Tome II Zone Algérienne.

STEPANIAN, ALEXIS. (2002). *Evolution morphodynamique d'une plage macrotidale à barres : Omaha beach (Normandie).* Thèse de doctorat. Sciences de la Terre et de l'Univers. Caen: L'Université de Caen, 283p.

THAN V. (2015). Modélisation d'érosion côtière : application à la partie ouest du tombolo de Giens. thèse de doctorat. France : l'université de Marseille, 427 p.

YVES-F.THOMAS. (1972). Introduction de la frange maritime de milieu littoral: Essai de définition. 12p.

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

ANNEXES

1- Etapes création de carte bathymétrique sous logiciel Mike zéro :

1-1. Georéférencement de la carte :

Coordonnées géographiques :

Le georeferencement se fait avec l'outil « image rectifier » une extension du logiciel Mike.

Cette extension est compatible qu'avec les images sous format « .bmp »

Afin de couvrir toute la carte il est nécessaire d'introduire les coordonnées du point tout à fait en bas à gauche ainsi que les dimensions de la carte.

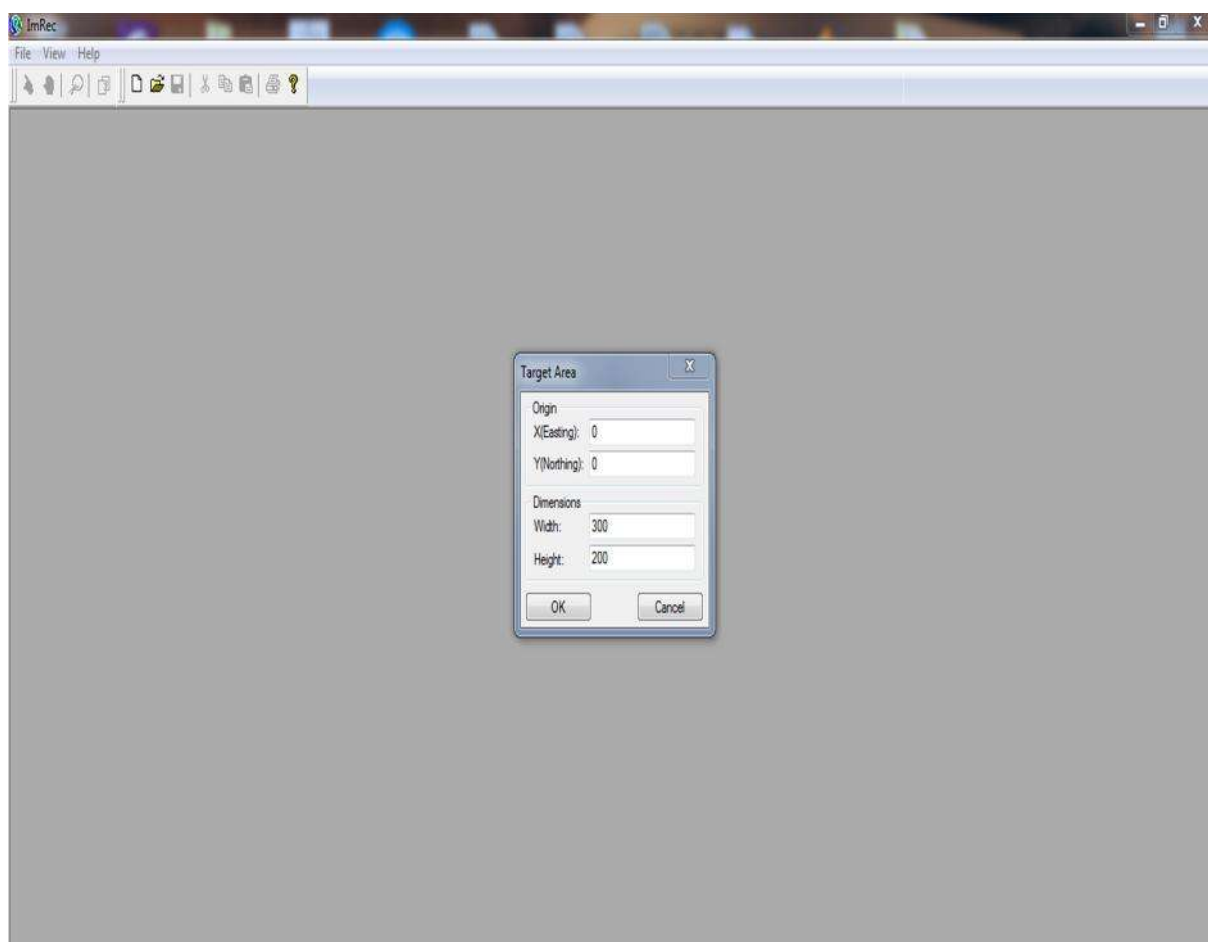


Figure 1 : coordonnées géographiques

Introduire les coordonnées pour chaque point avec l'outil « add GCP »

Après chaque 3 points georeferencés une rectification est demandée :

- 1ère rectification : 3 points sont nécessaires.
- 2ème rectification : 6 points sont nécessaires.
- 3ème rectification : 12 points sont nécessaires.

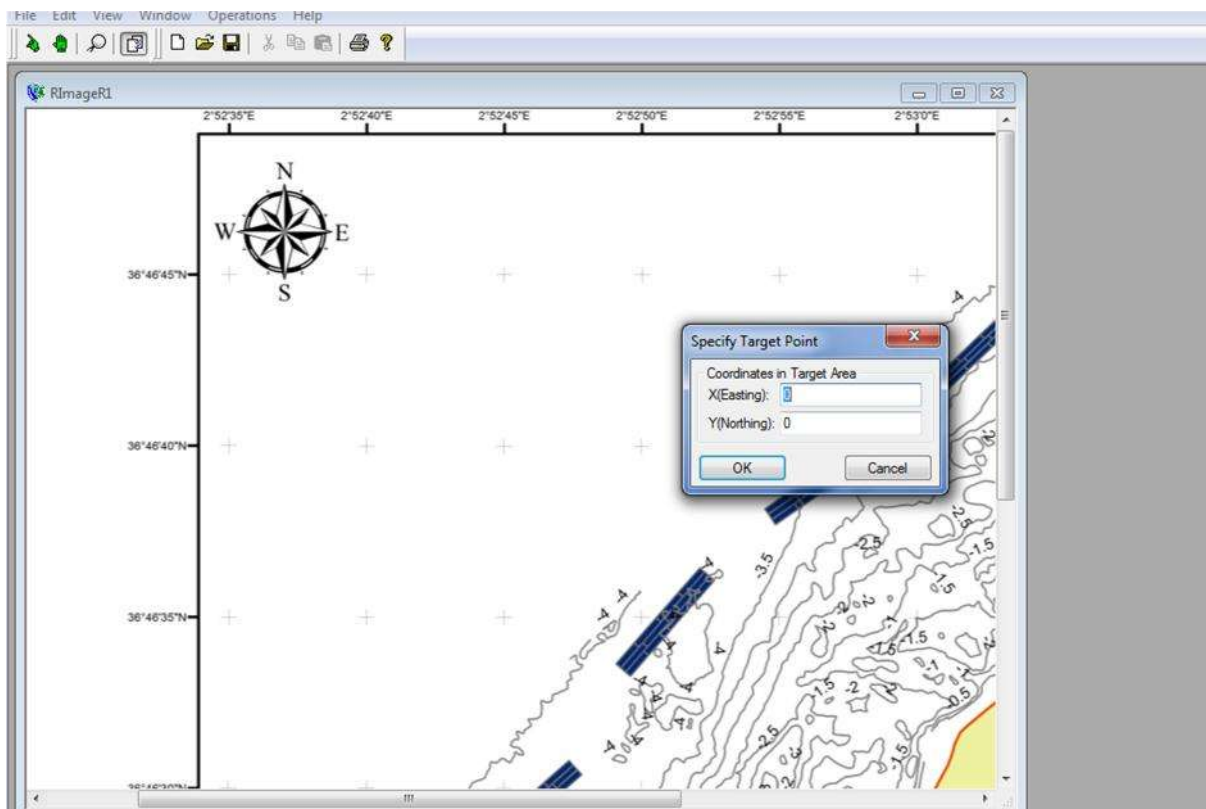


Figure 2 : coordonnées points georeferencés

1-2. Digitalisation de la bathymétrie

Ouvrir Mike zéro → new file → bathymétrie

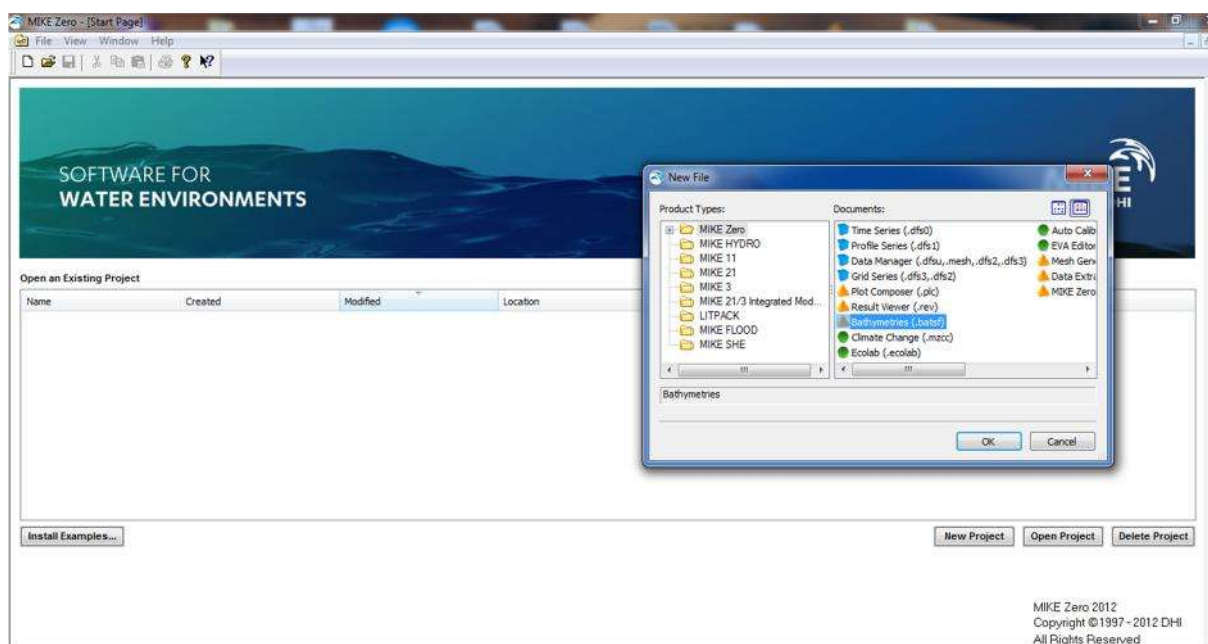


Figure 3 : Outils logiciel Mike zéro

Définir la zone de travail avec les coordonnées géographiques

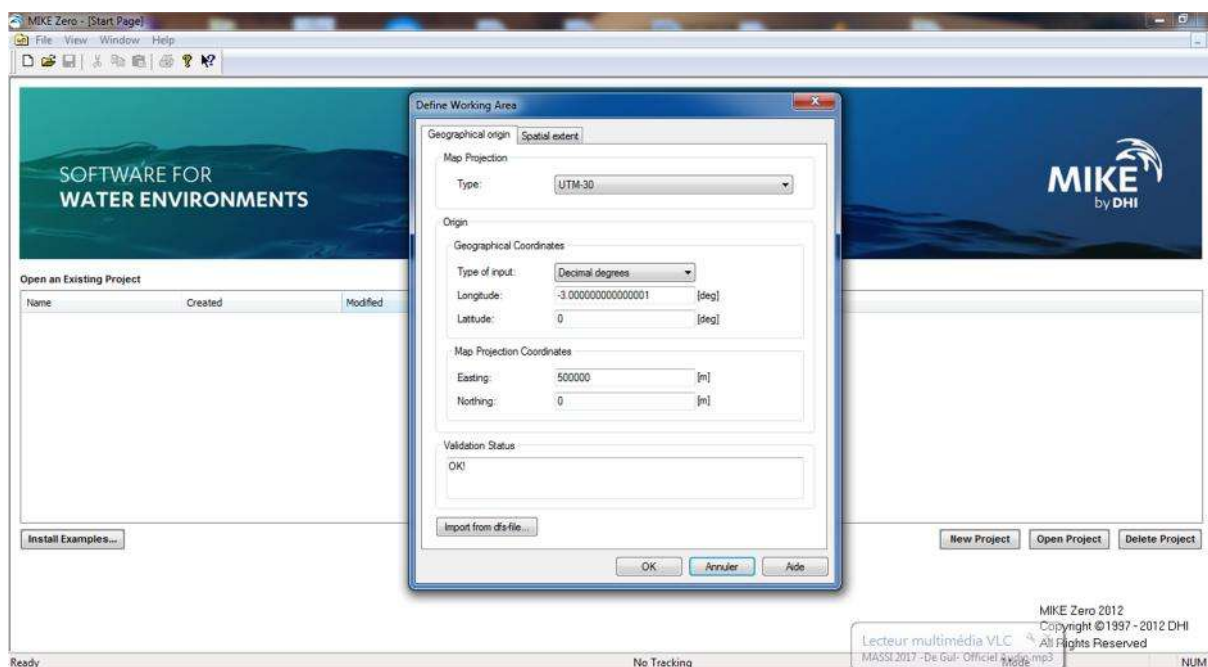


Figure 4 : Fenêtre coordonnées géographiques

ANNEXE 1

Pour pouvoir afficher la carte, sur la barre d'outils choisir :

Work Area → Background Management → Import

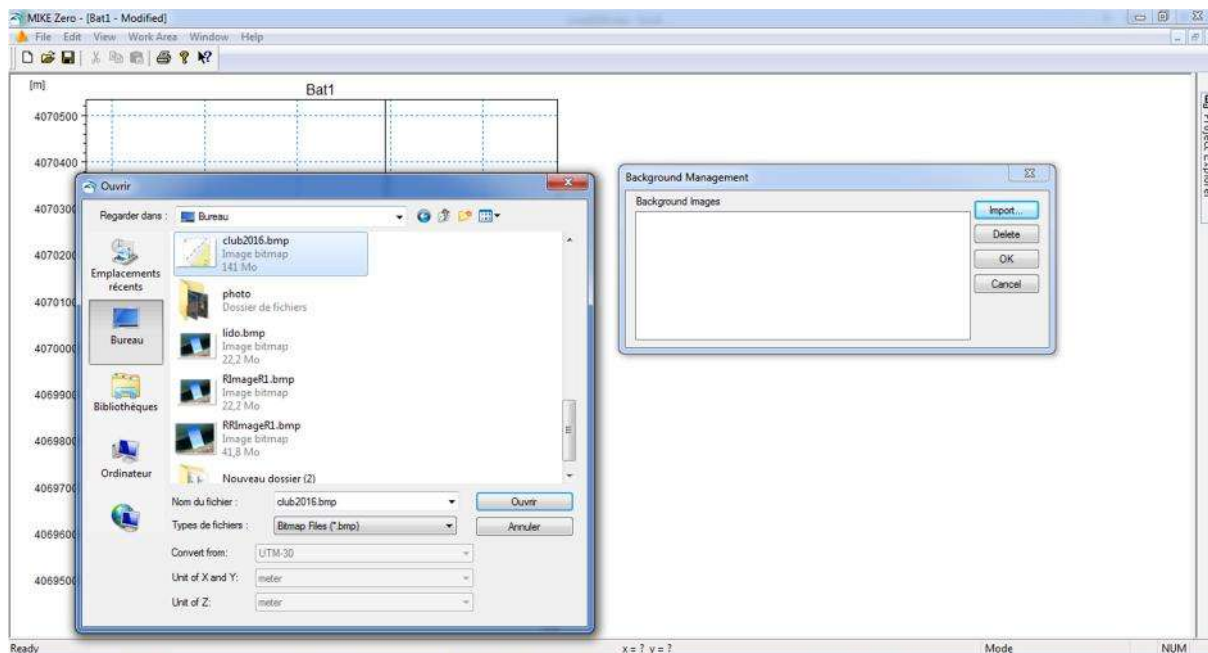


Figure 5: importer carte georeferencée

Work Area → Set current levels

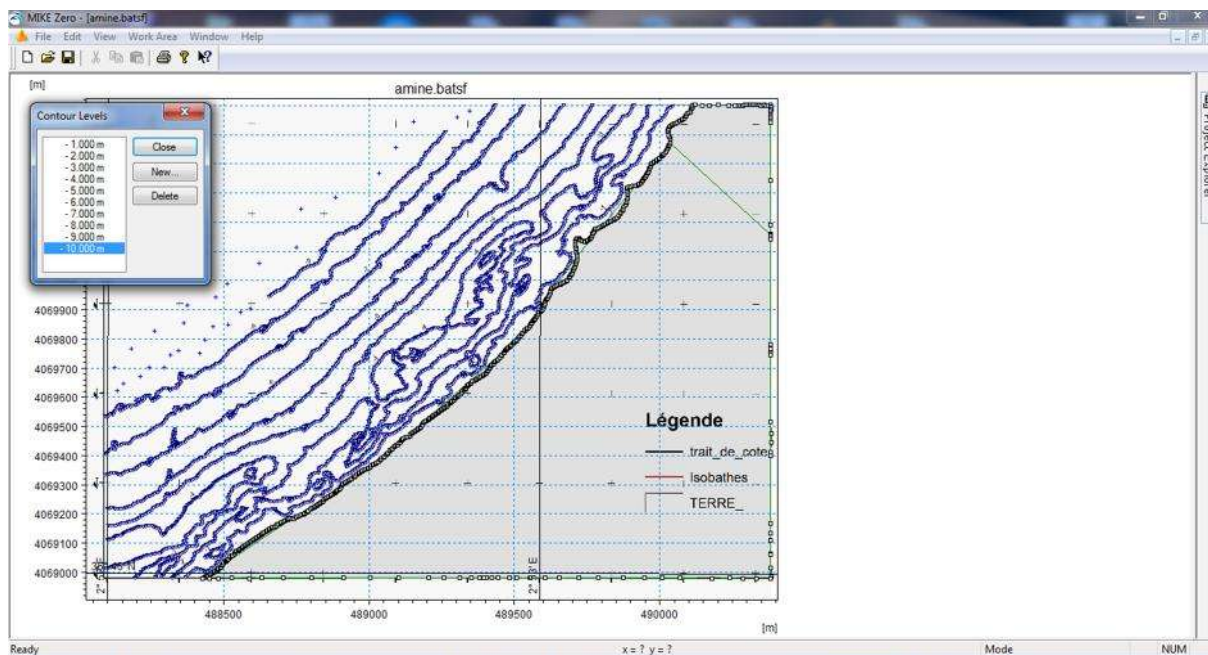


Figure 6 : Digitalisation lignes et points des profondeurs

Work Area → Export

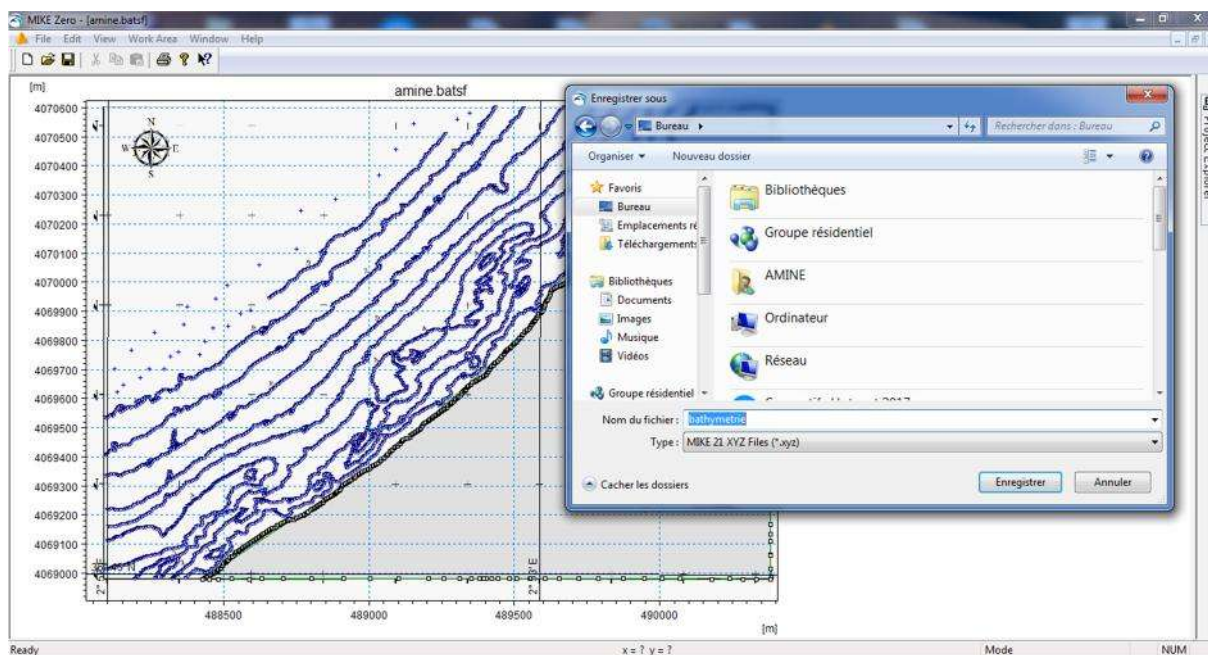


Figure 7 : Exportation des données digitalisées

1-3. Génération de maillage

New file → mike zero → mesh generate.

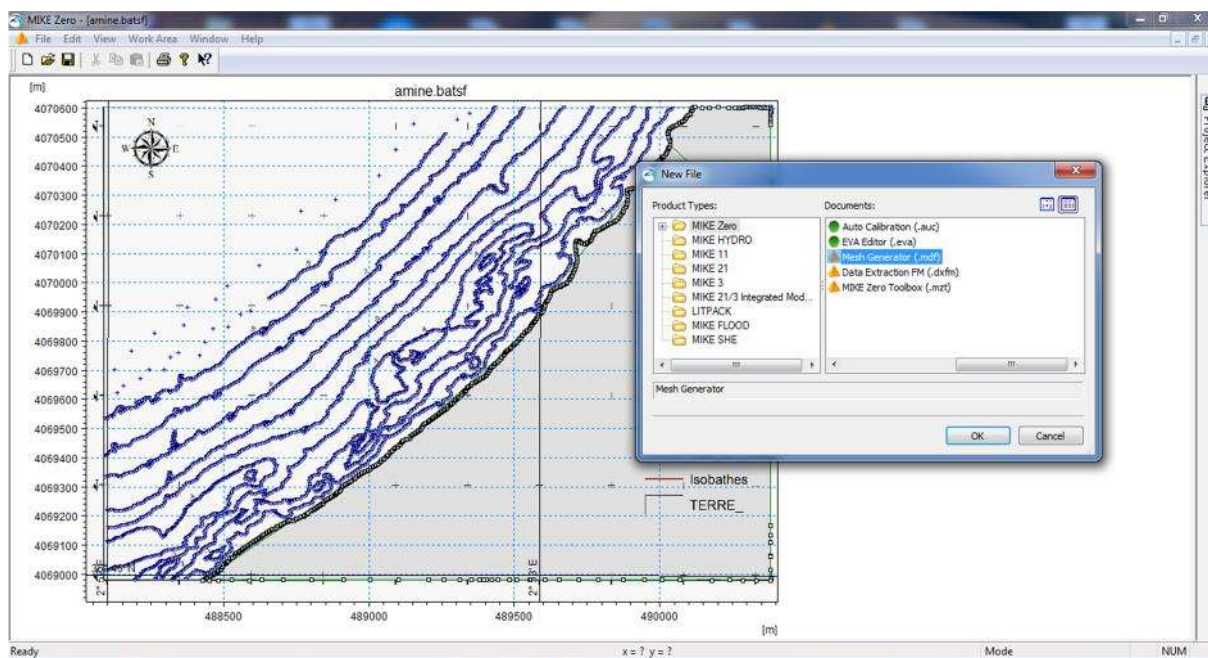


Figure 8 : outil Mike zéro « mesh »

ANNEXE 1

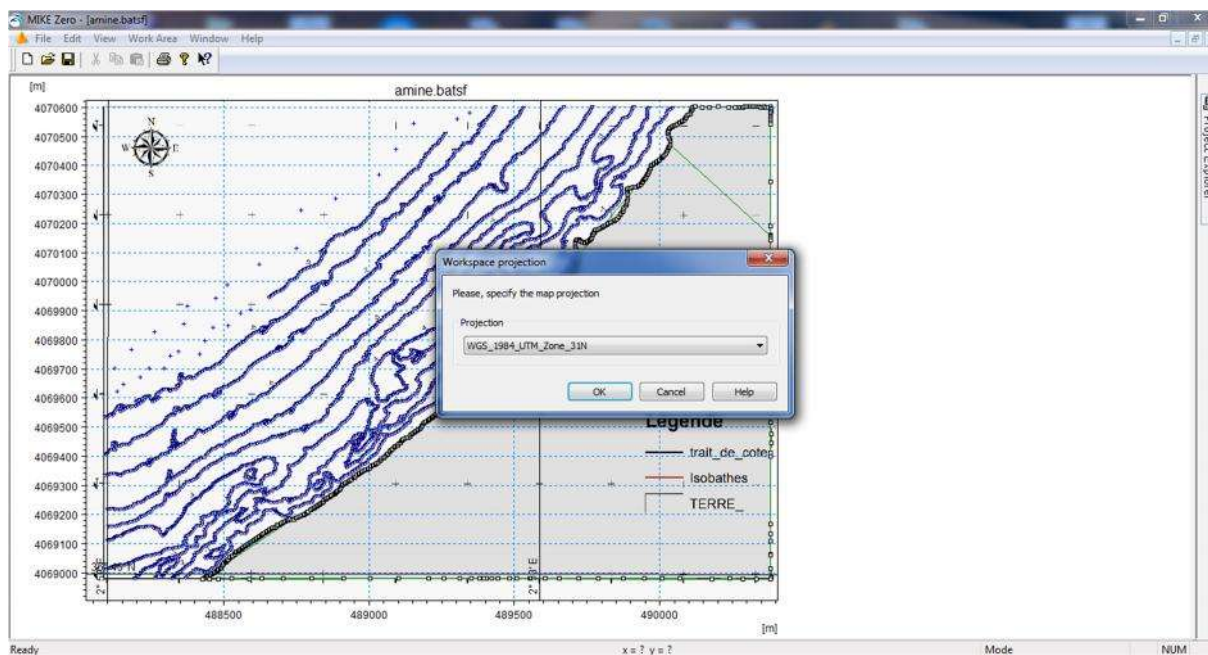


Figure 9 : Système de Projection

Pour notre cas c'est WGS1984 UTM ZONE 31

Data → manage Scatter Data →

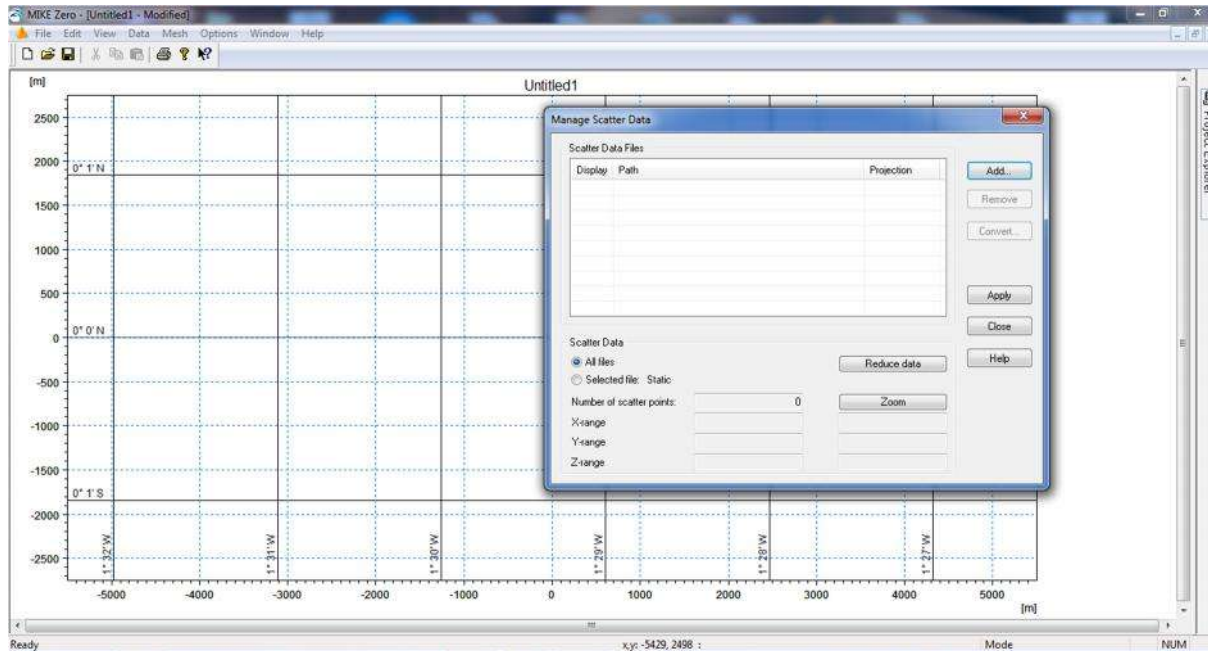


Figure 10 : Importer les données xyz

ANNEXE 1

Add → fichier xyz de la digitalisation « ...xyz » → Apply

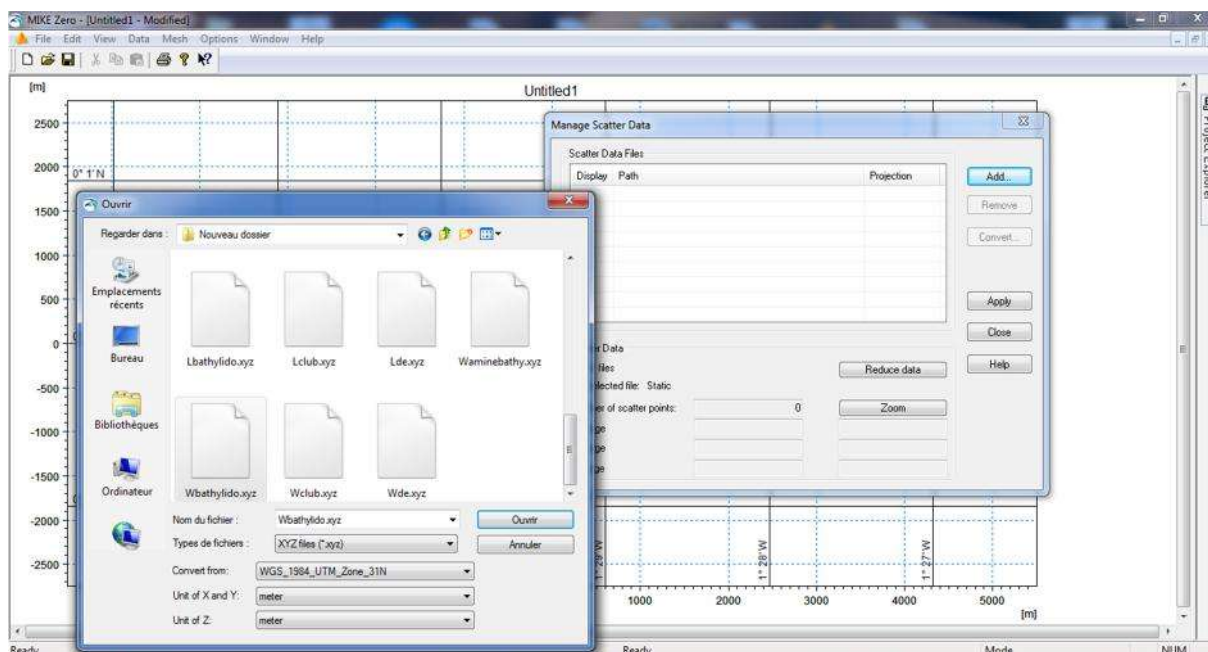


Figure 11 : Ajout données bathymétriques

Data → load boundary



Figure 12 : Import des données terre « land »

ANNEXE 1

Outil « Draw arc » pour dessiner les arcs afin de délimiter la zone de maillage

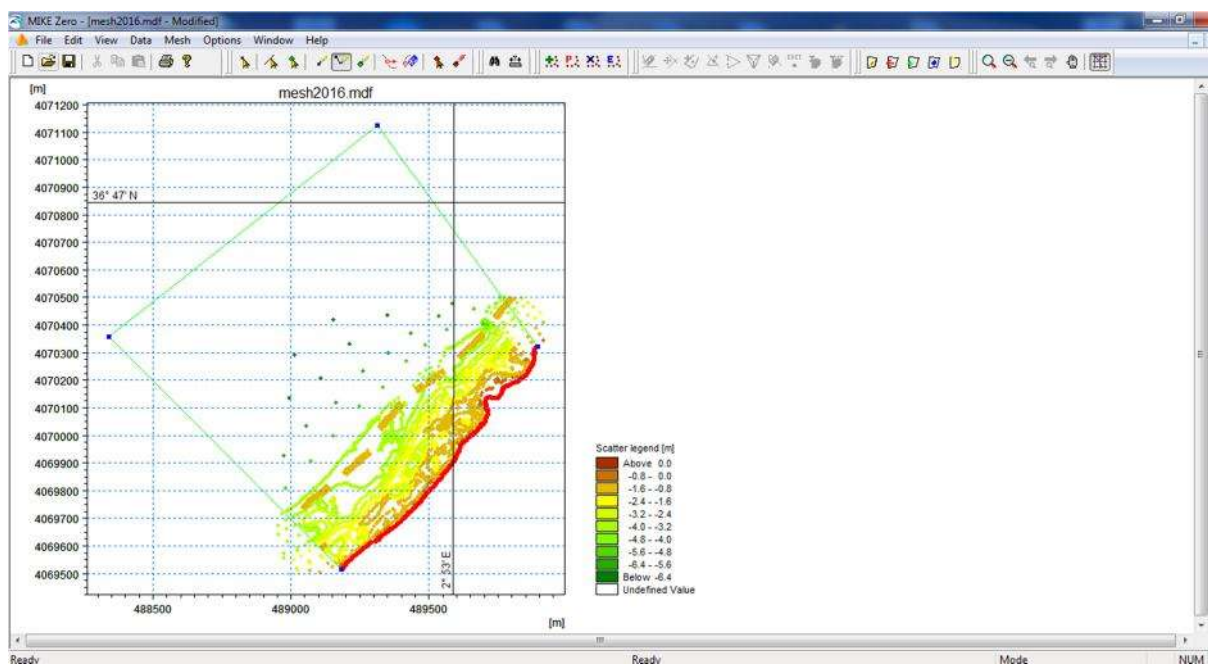


Figure 13 : Délimiter la zone de maillage

Pour déterminer les frontières marines et terrestres

Sélectionner Arc → Propriétés

Exemple : 0 et 1 pour la terre « land »

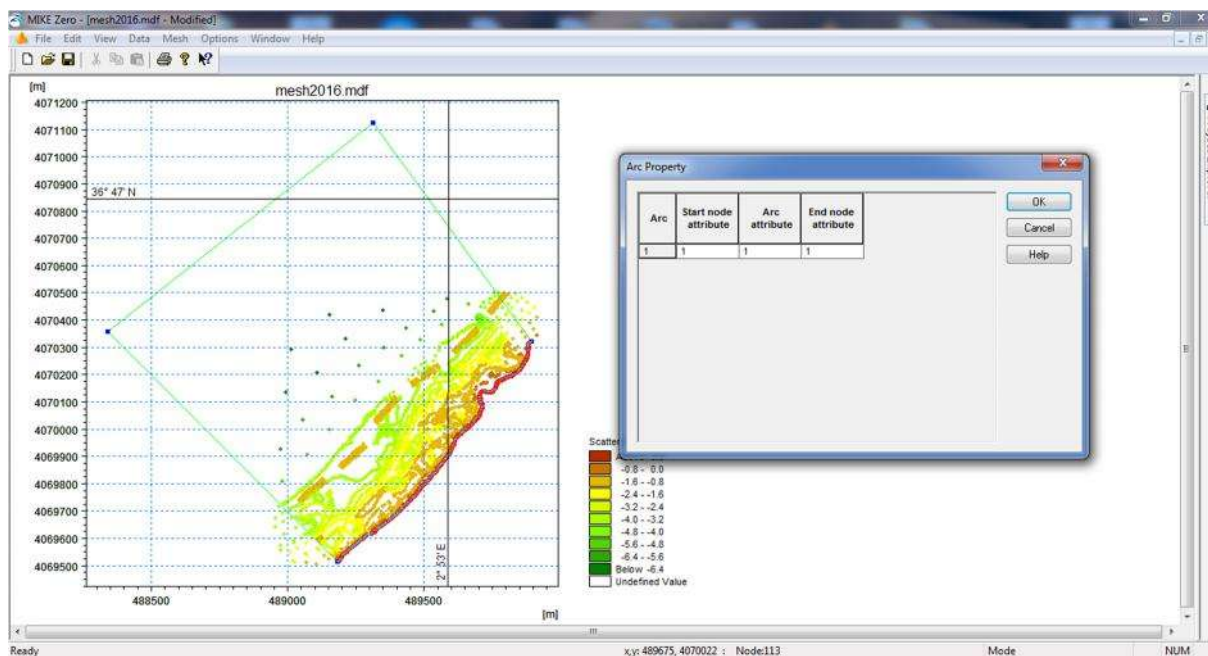


Figure 14 : Propriétés arc

Génération maillage

Mesh → generate

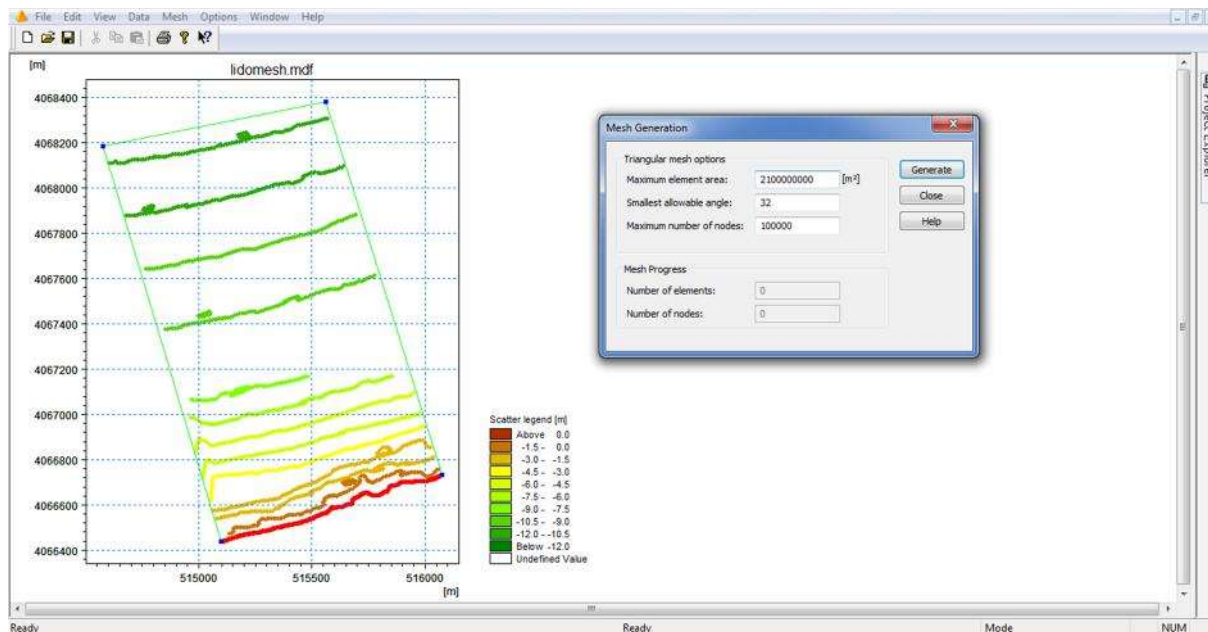


Figure 15 : Génération maillage

Résultat du maillage

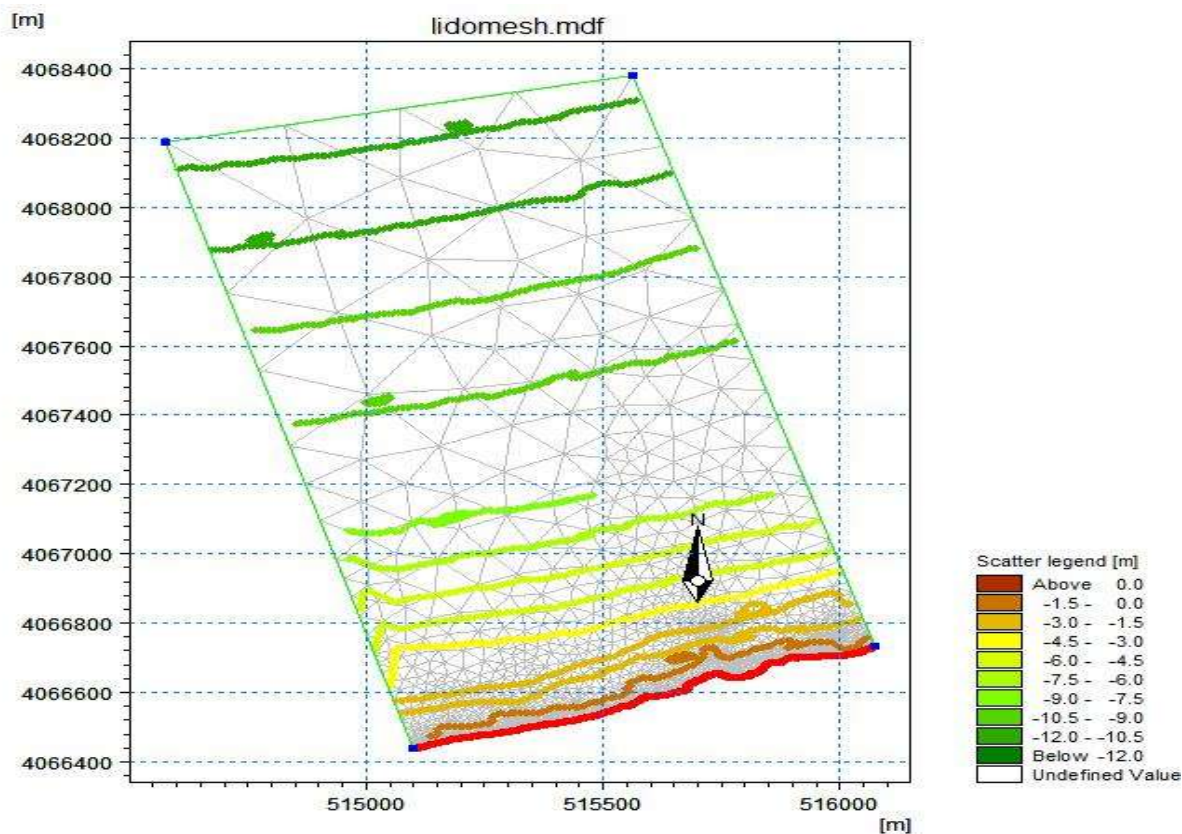


Figure 16 : Résultat d'une génération de maillage

Interpolation

Mesh → Interpolate

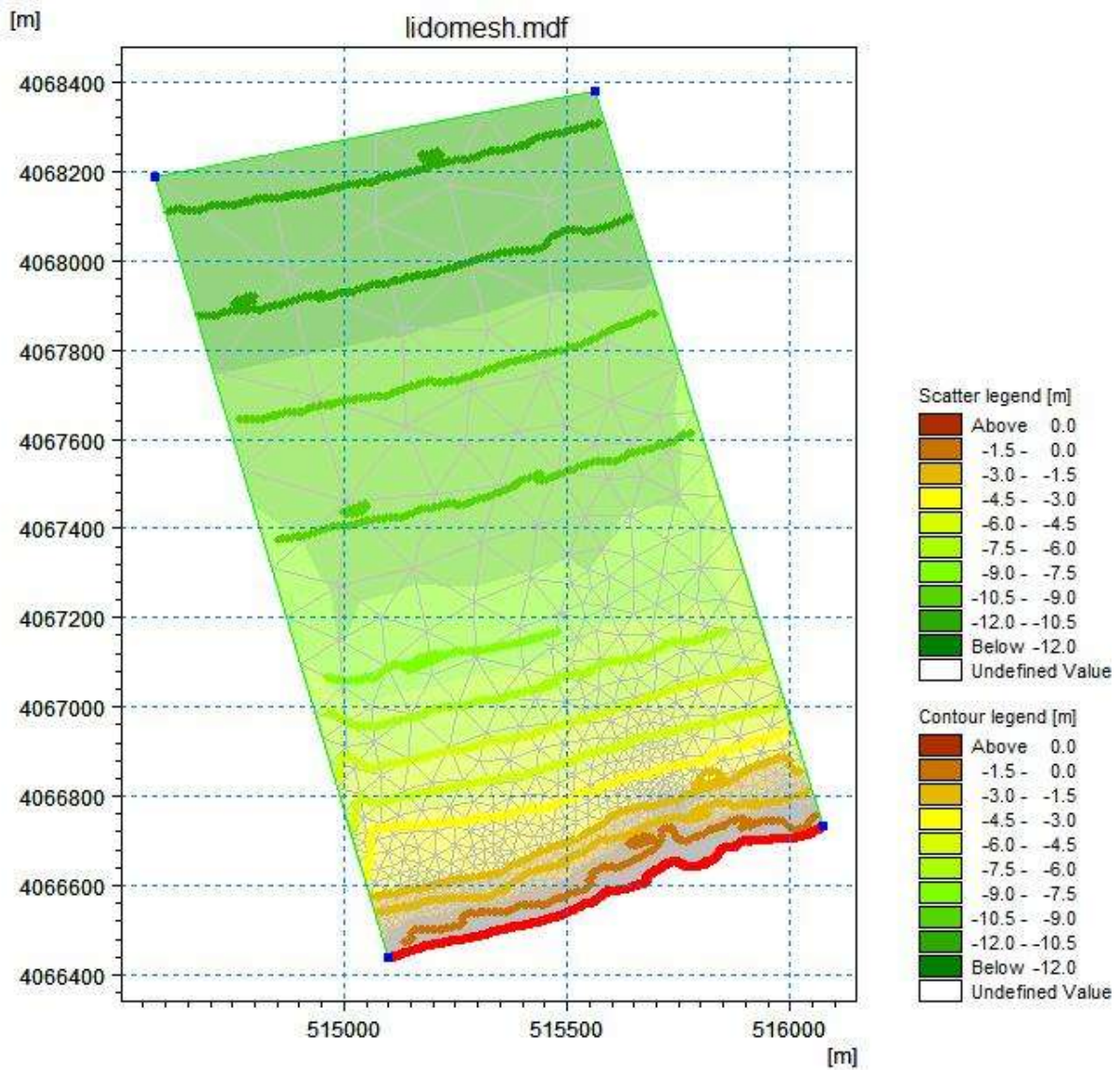


Figure 17 : Interpolation d'une bathymétrie

Exporter la mesh

Mesh → export mesh

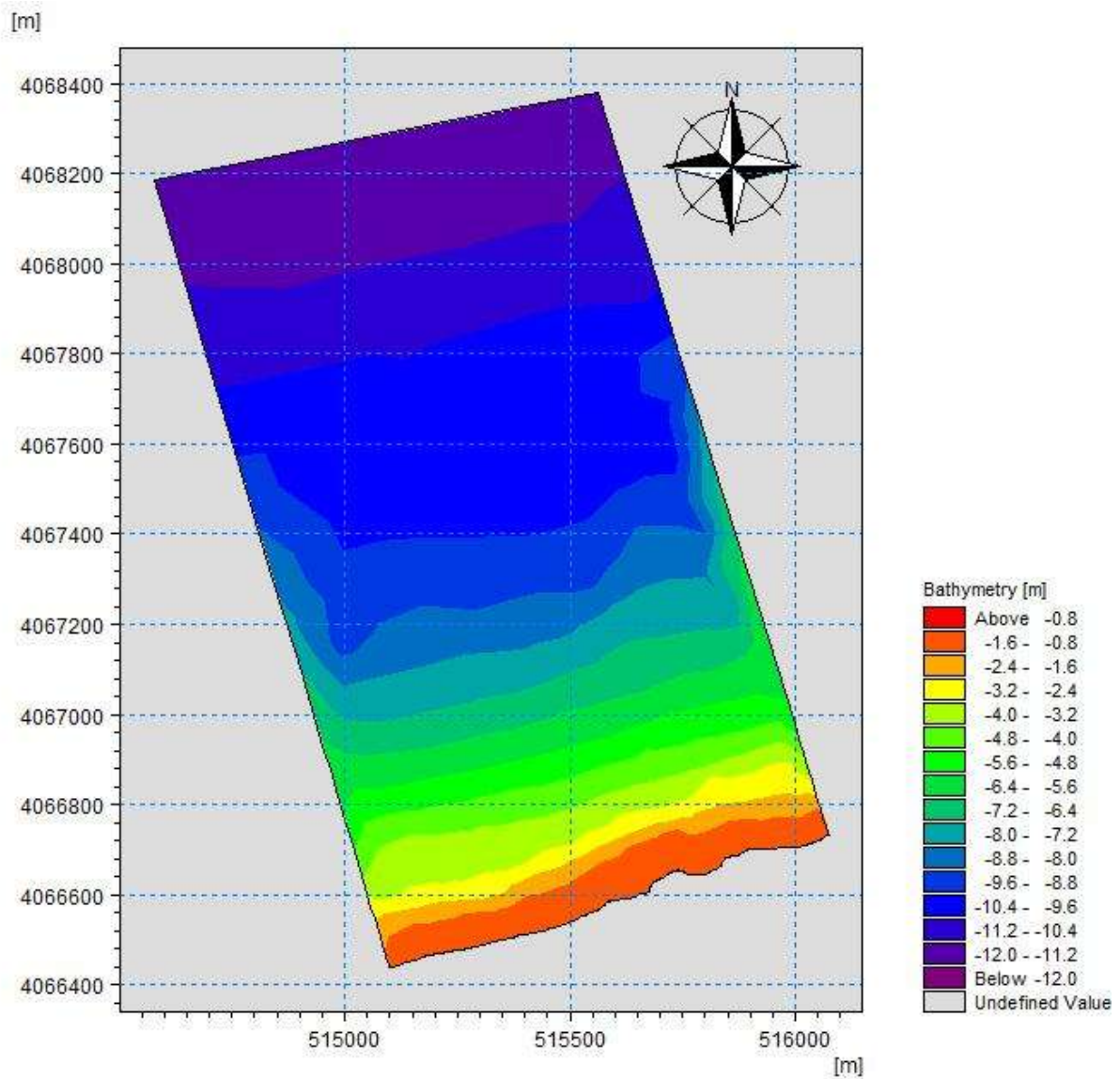


Figure 18 : Exportation du maillage

ETAPES DE LA MODELISATION SOUS MIKE 21

Model 21/3 :

Mike zero → new file → mike21/3 integrated model → coupled model FM

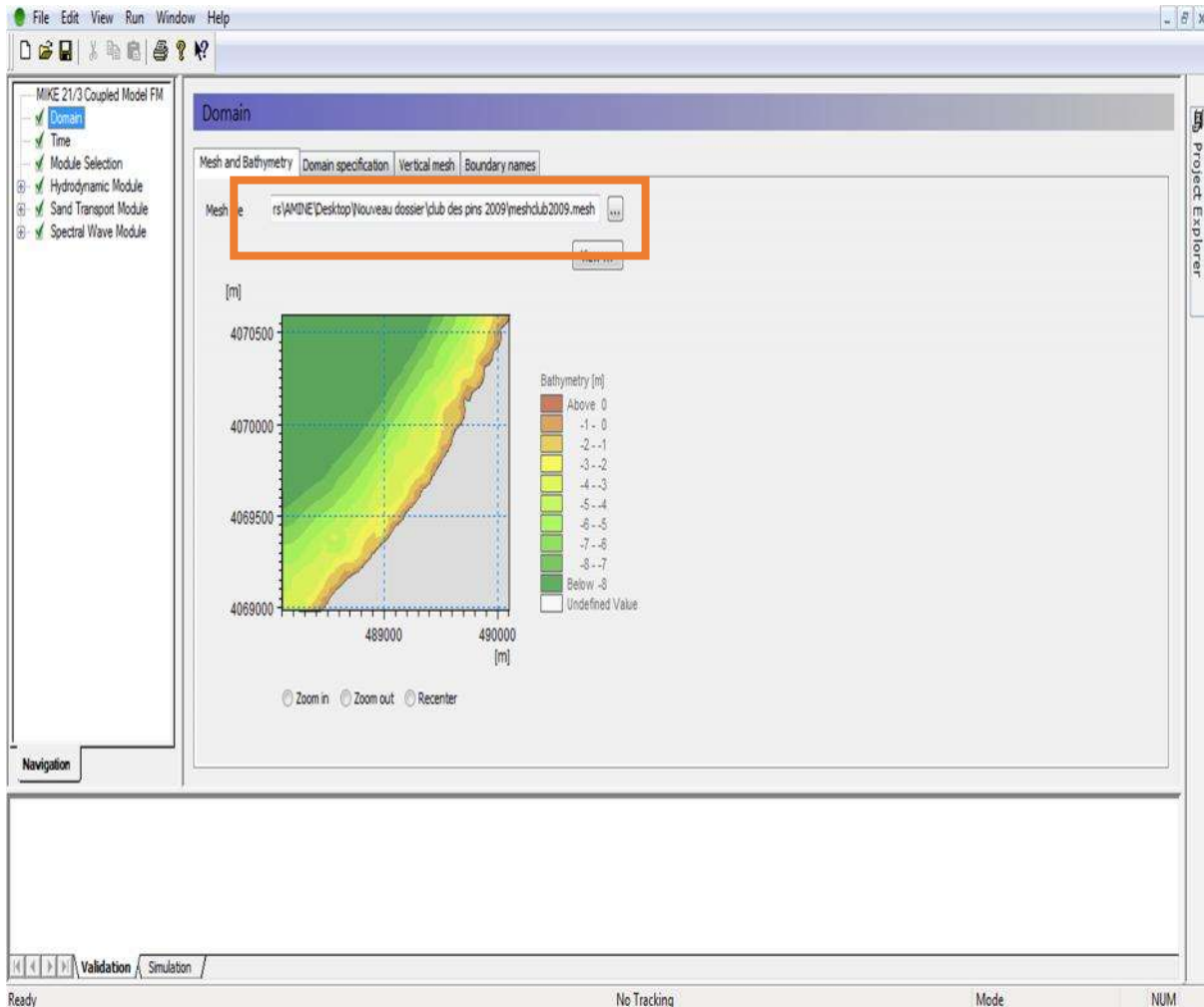


Figure 1 : Importer la génération du maillage

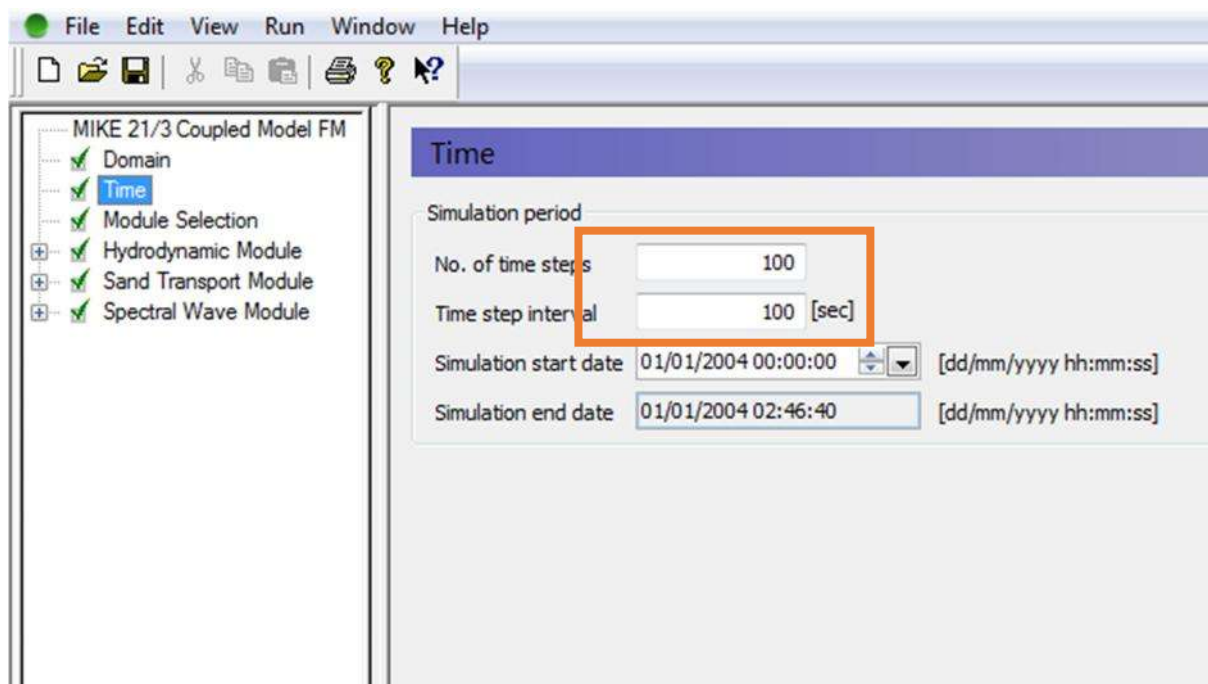


Figure 2 : Choix du temps pour chaque maille calculer

Model Hydraulique HD :

Paramètres d'entrées choisies pour le model HD

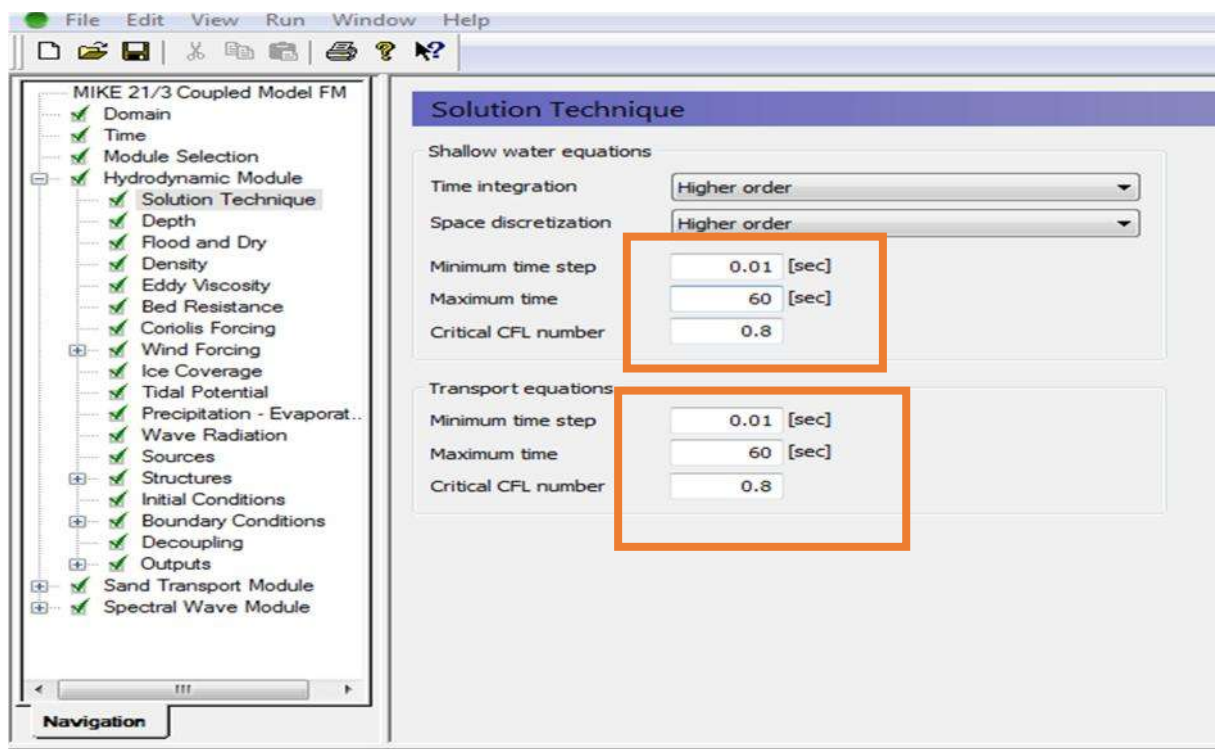


Figure 3 : Solution technique

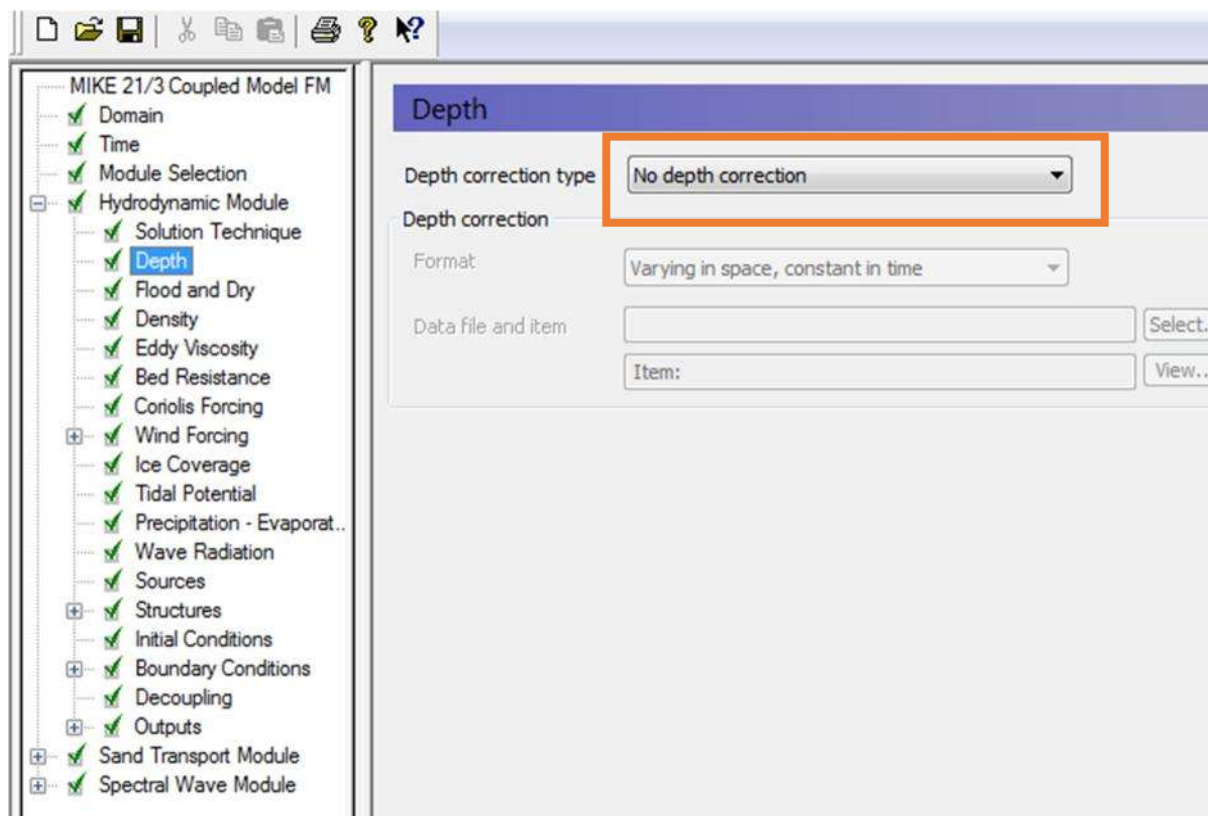


Figure 4 : Choix de la profondeur « choisie par défaut »

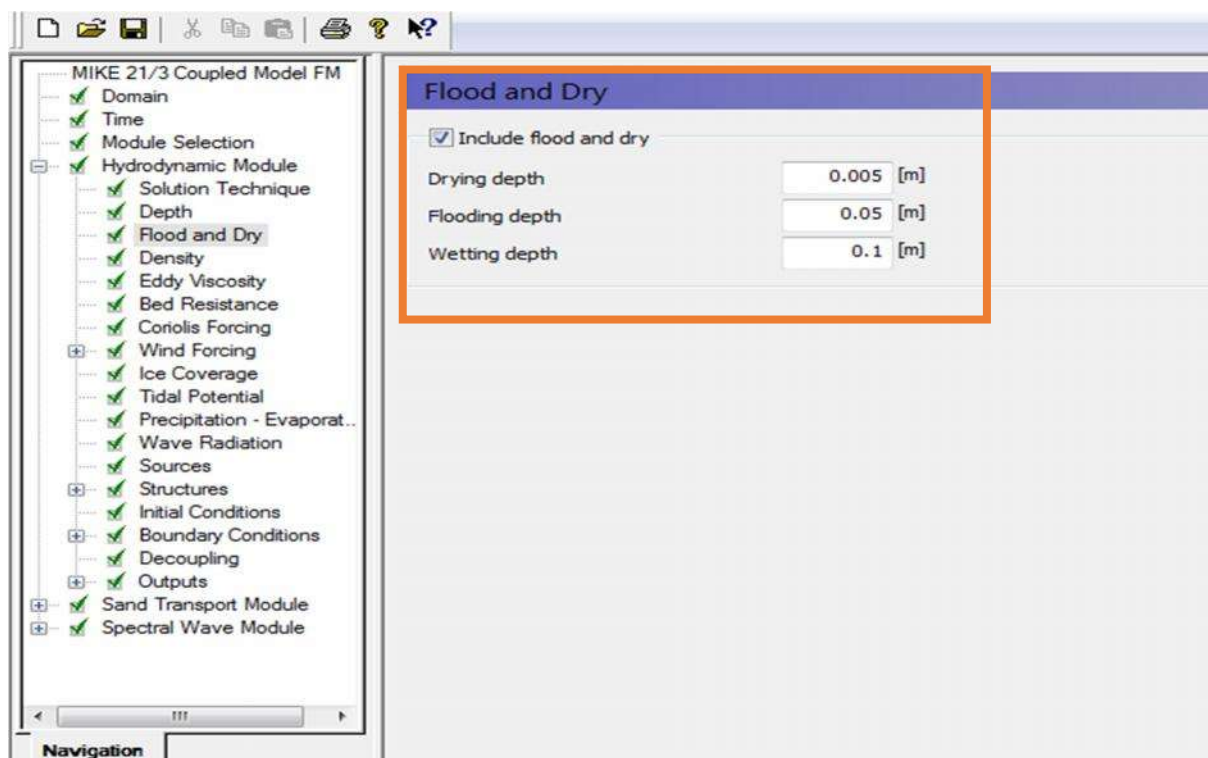


Figure 5 : Flood and dry « choisie par défaut »

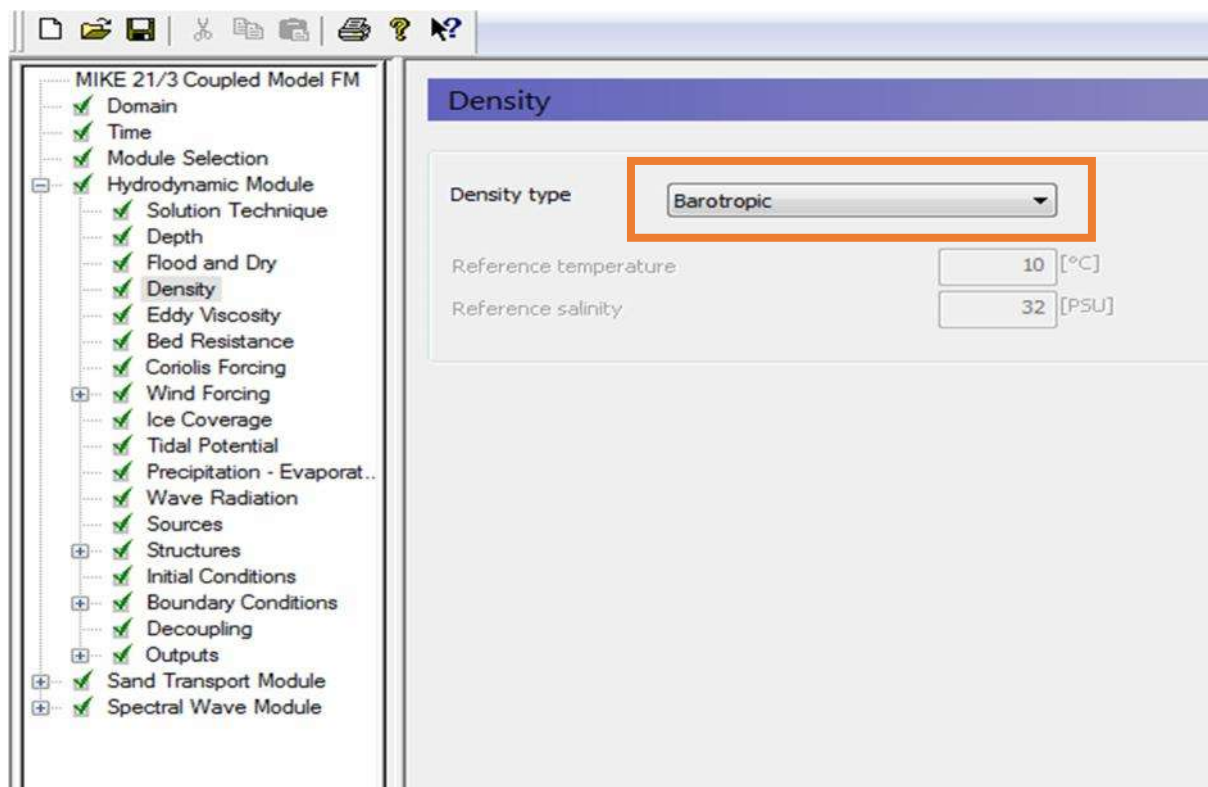


Figure 5 : Choix de la densité « choisie par défaut »

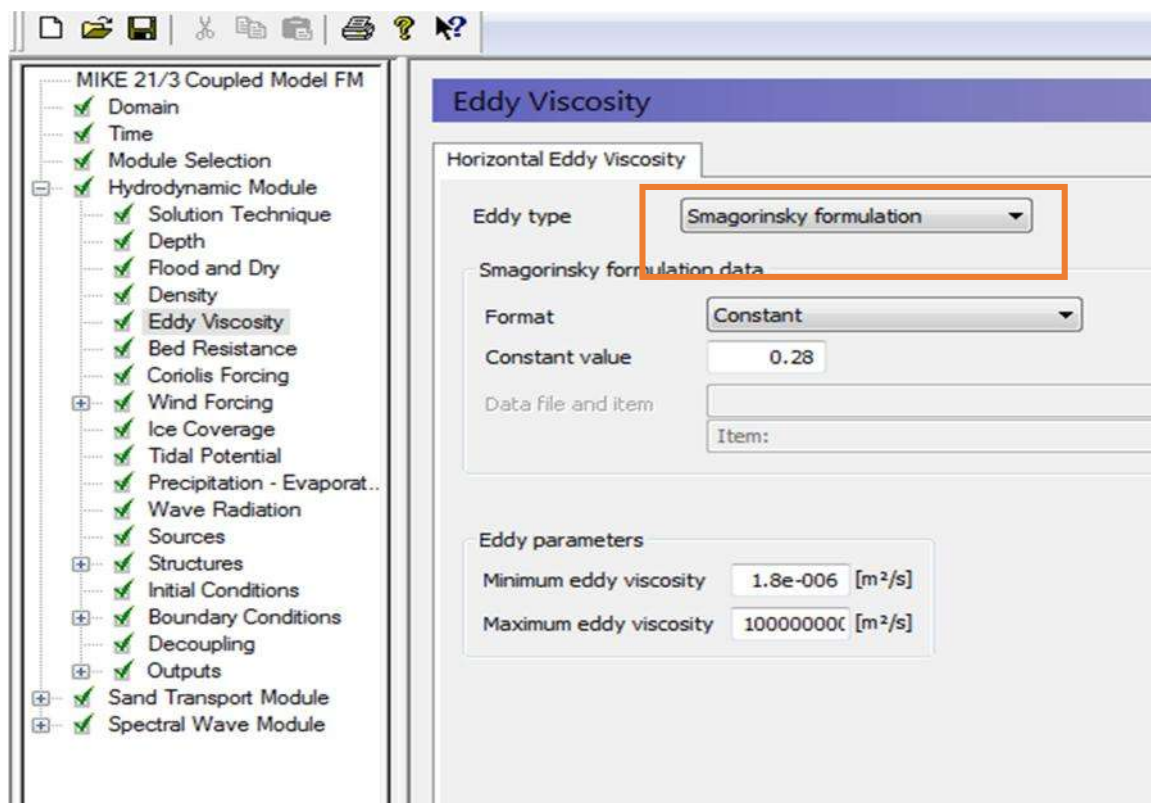


Figure 6 : Choix de la viscosité « choisie par défaut »

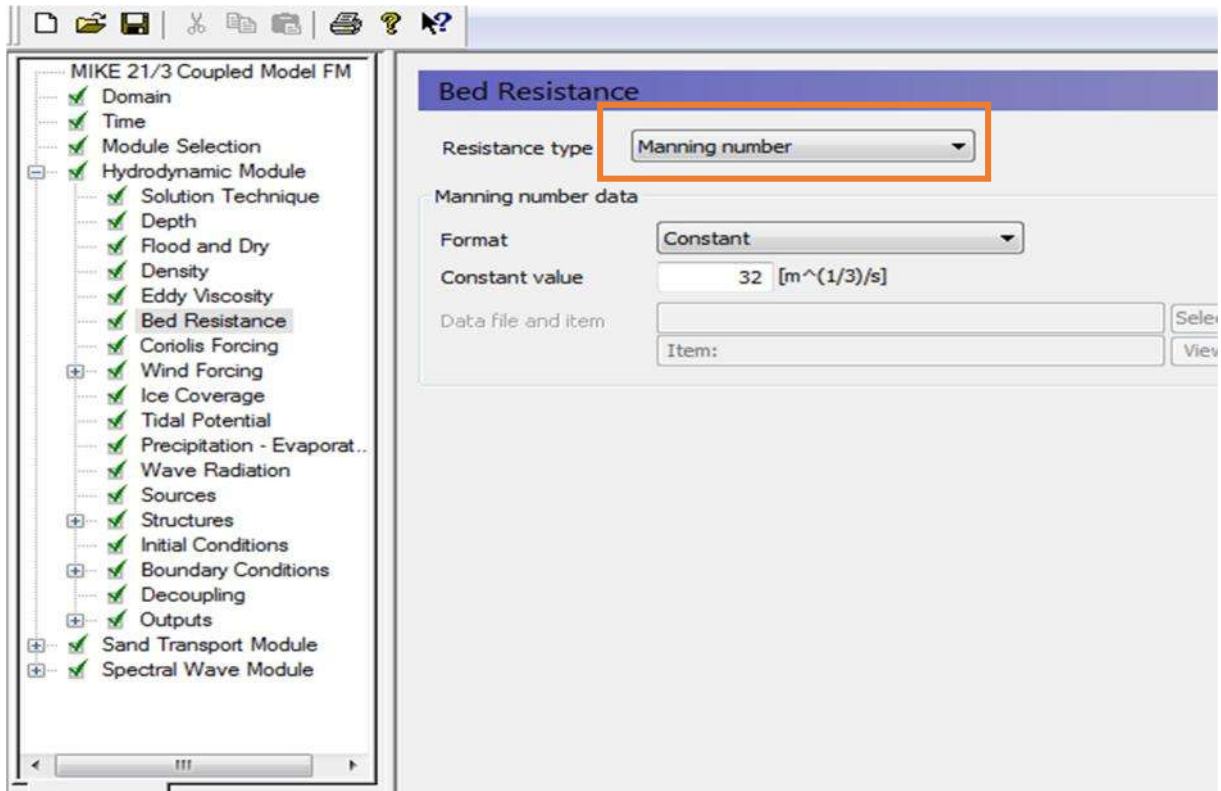


Figure 7 : Bed Resistance « choisie par défaut »

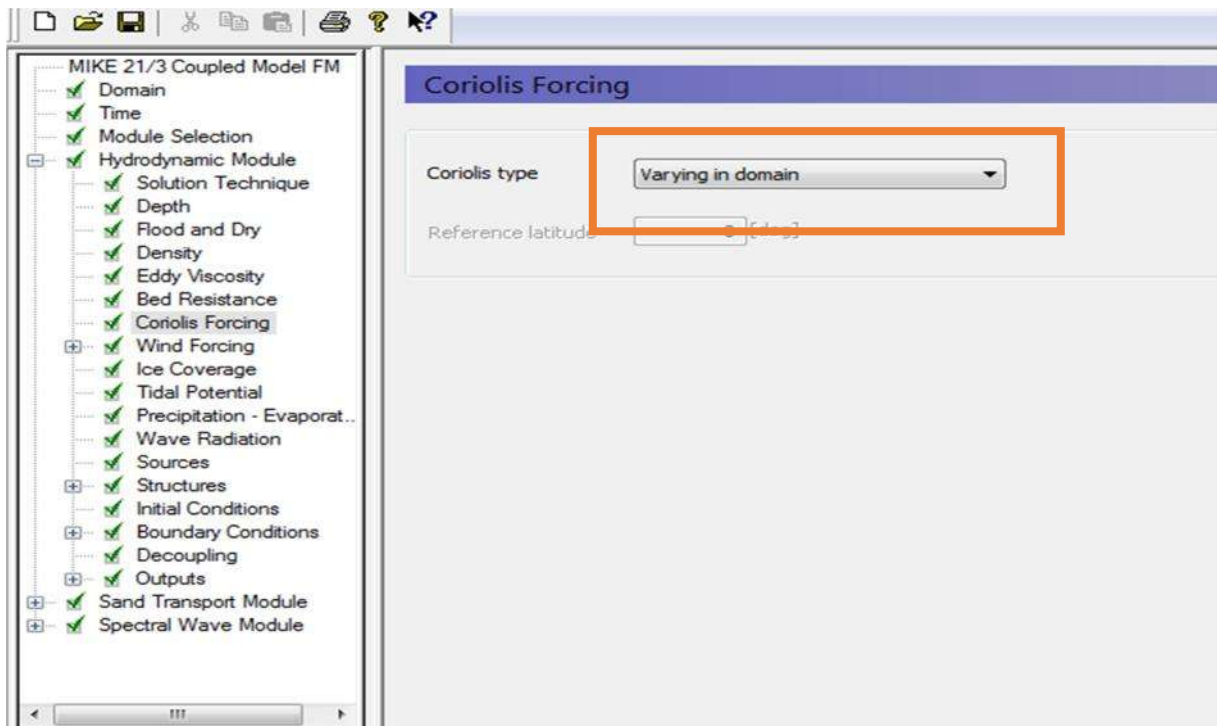


Figure 8 : Force de Coriolis « choisie par défaut »

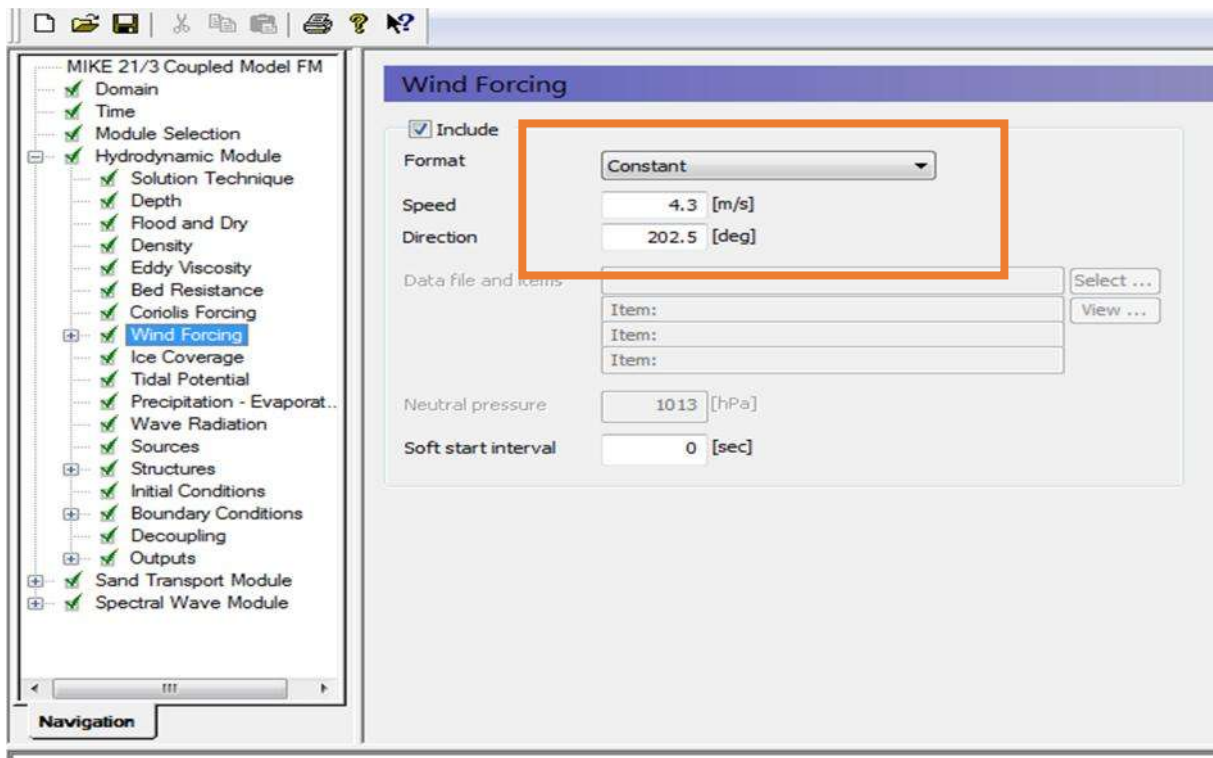


Figure 9 : Le vent

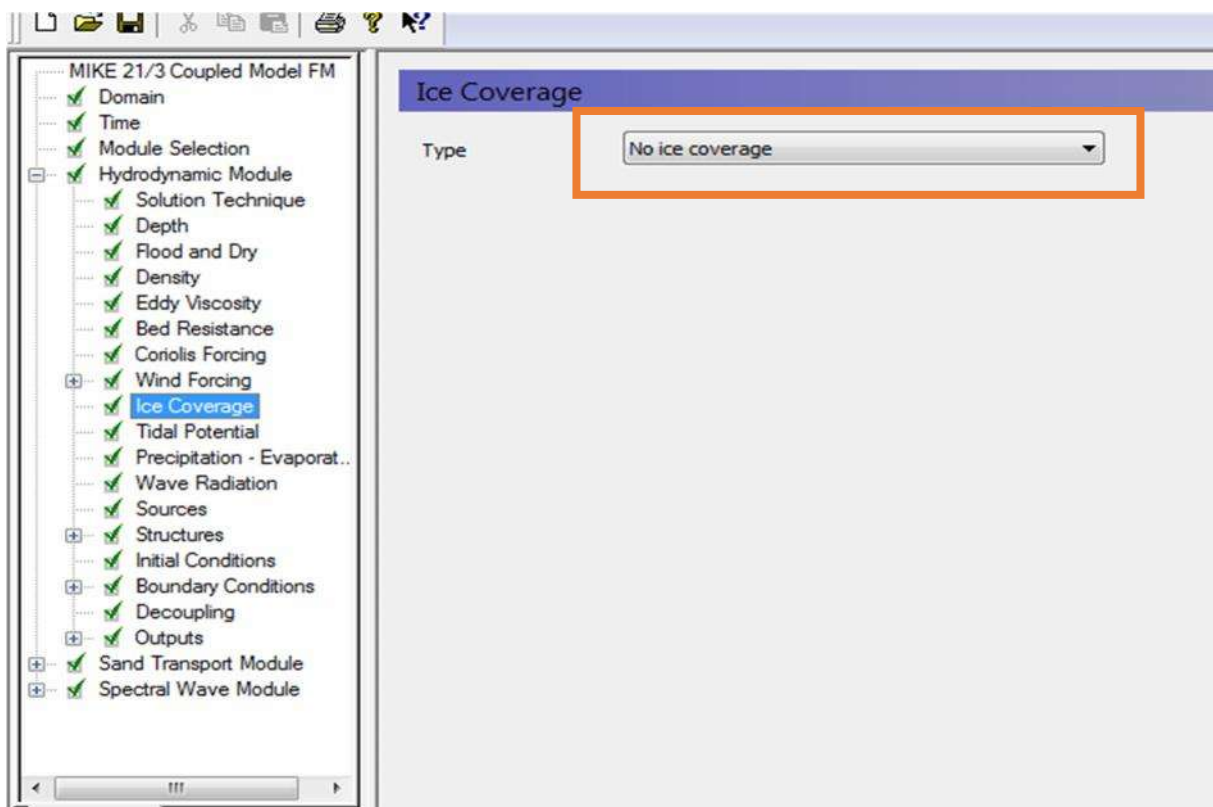


Figure 10 : Ice Convergence « choisie par défaut »

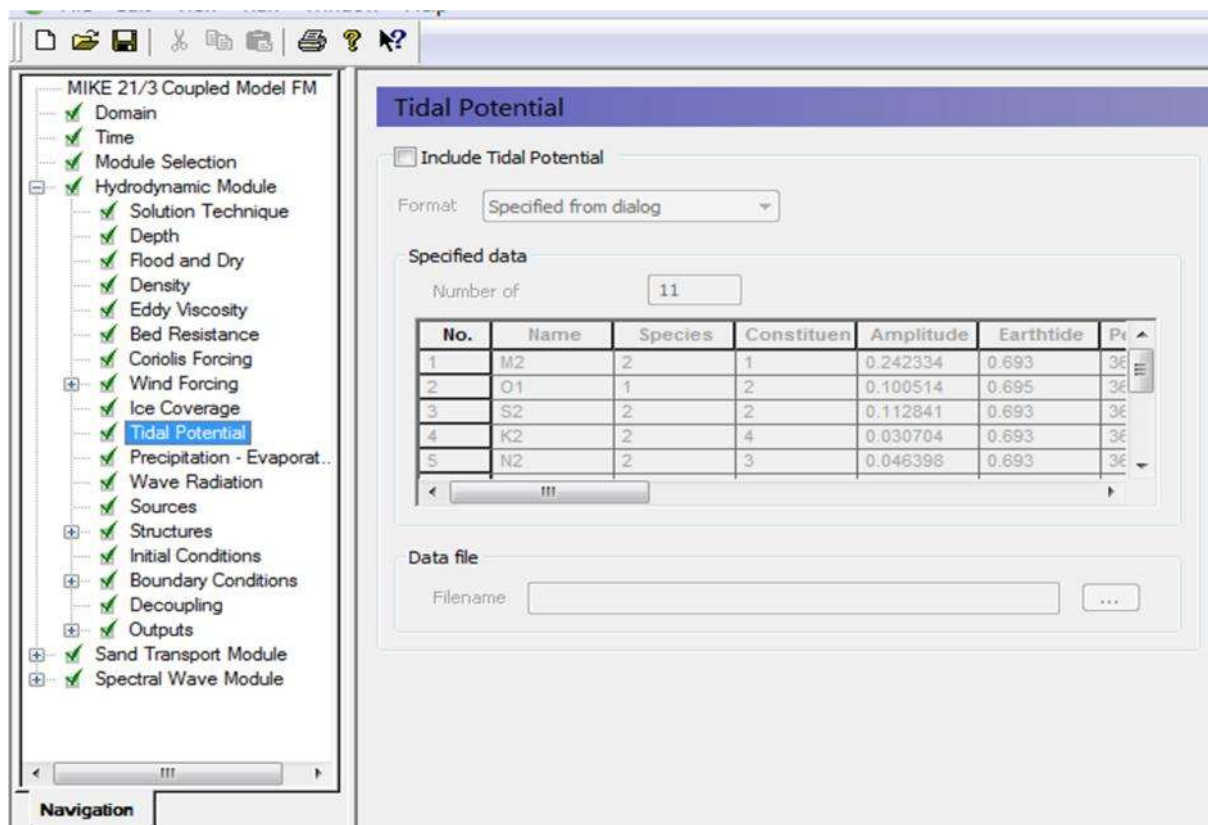


Figure 11 :Tidal potential

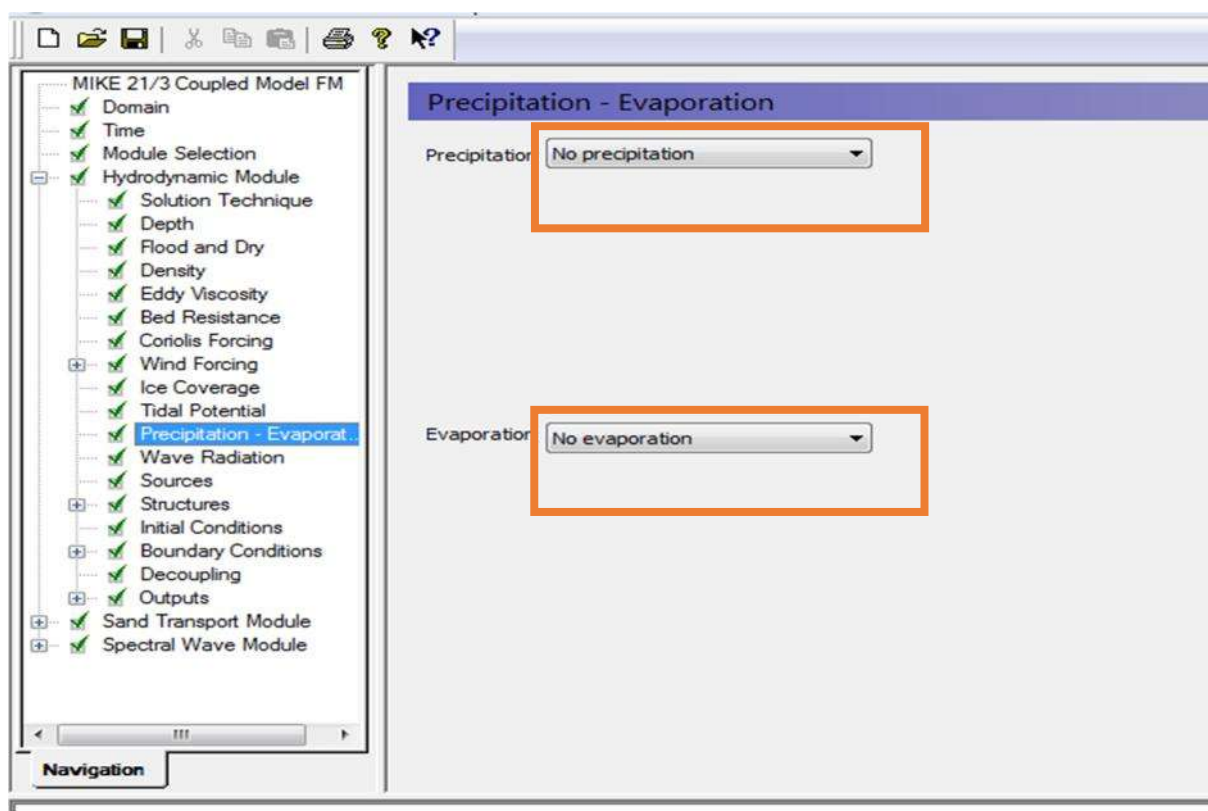


Figure 12 : Evaporation et précipitation « choisie par défaut »

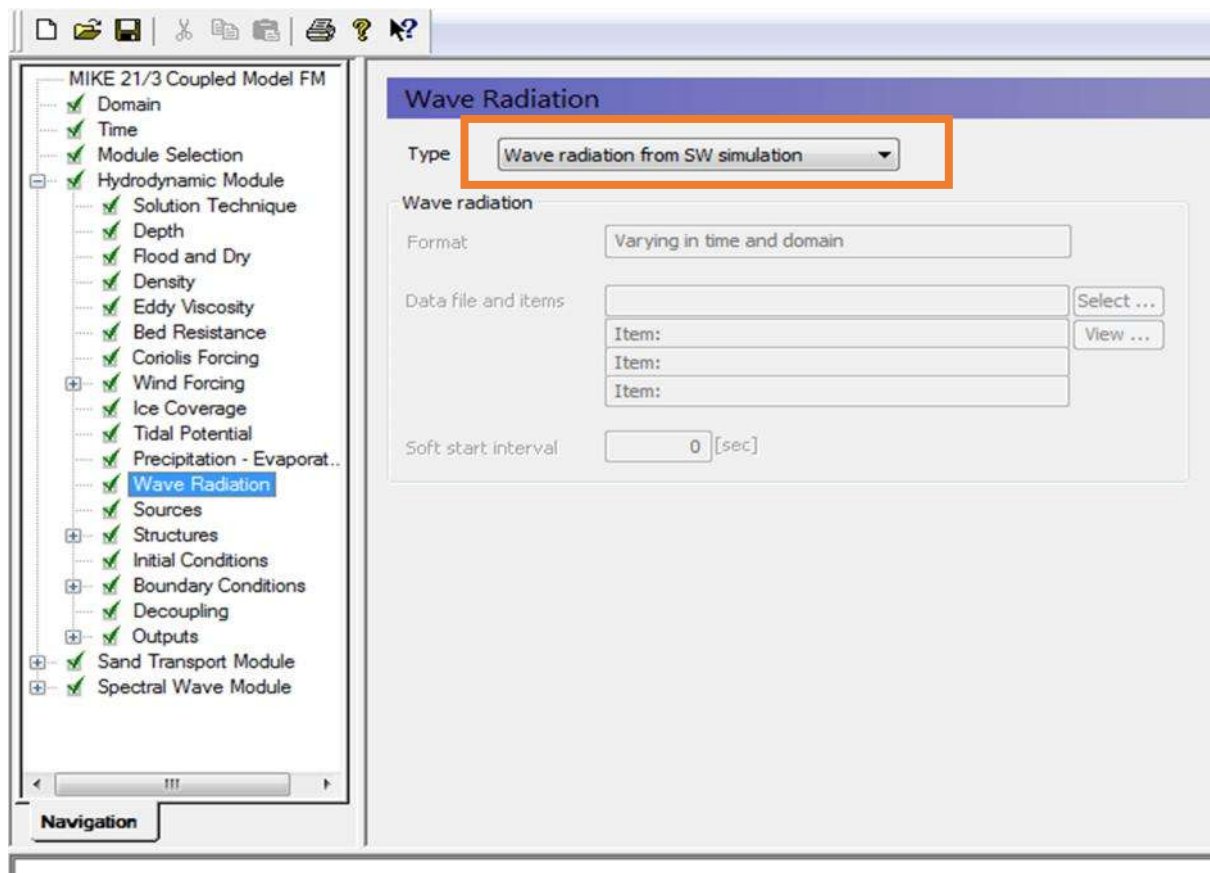


Figure 13 : Wave radiation

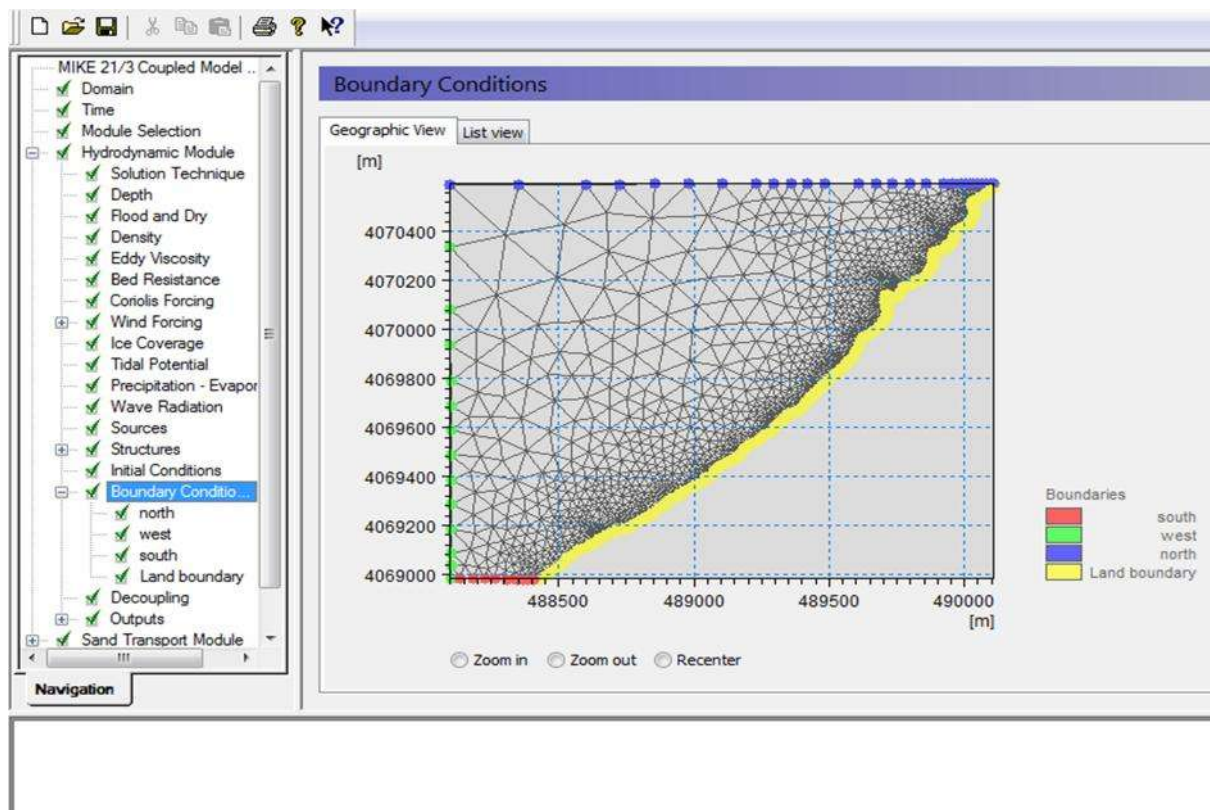


Figure 14 : Condition limites

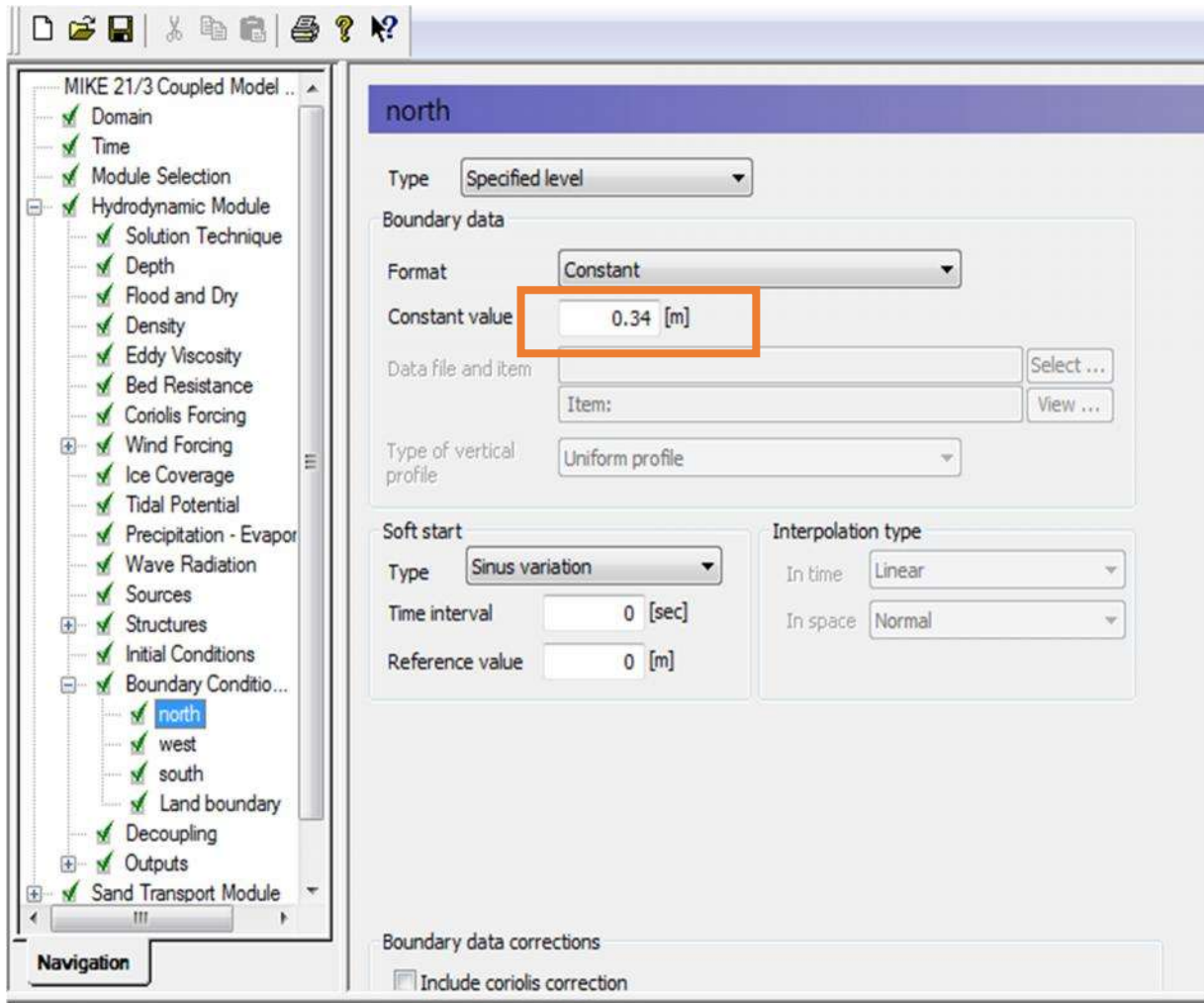


Figure 15 : Conditions limites pour chaque orientation

Model du transport sédimentaire ST :

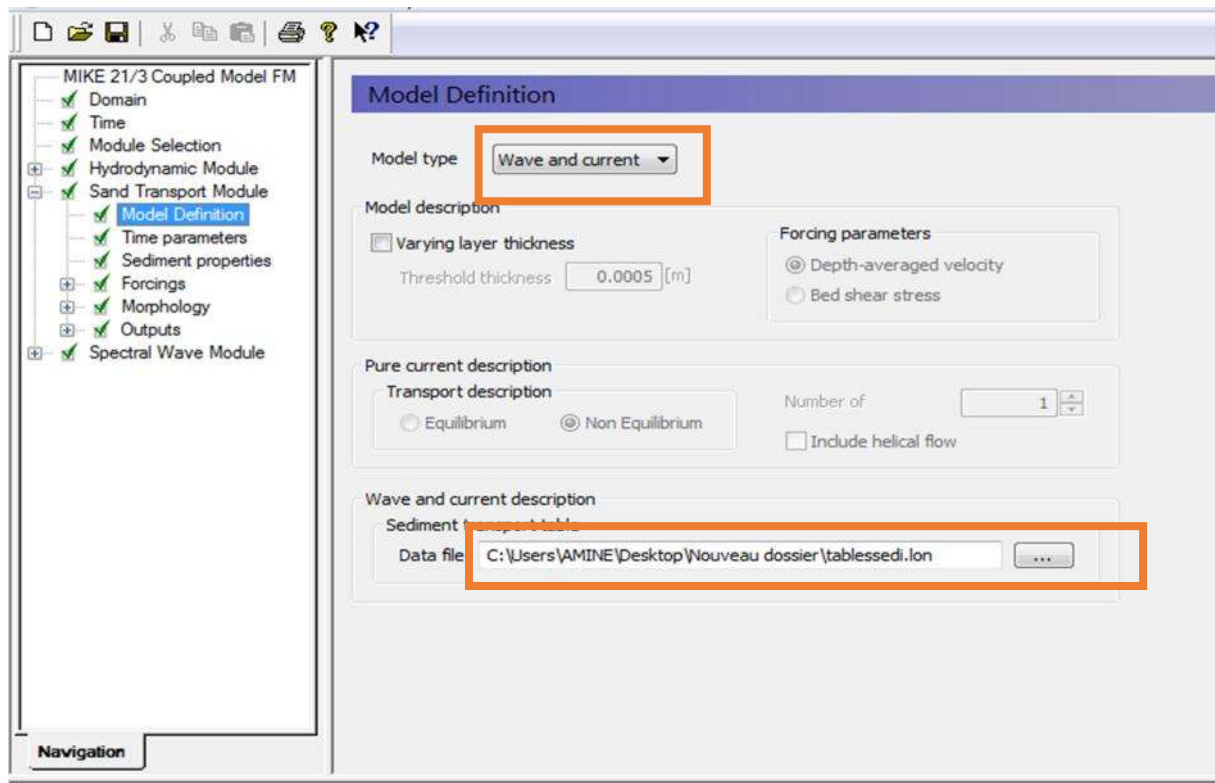


Figure 16 : Définition de la table sédimentaire

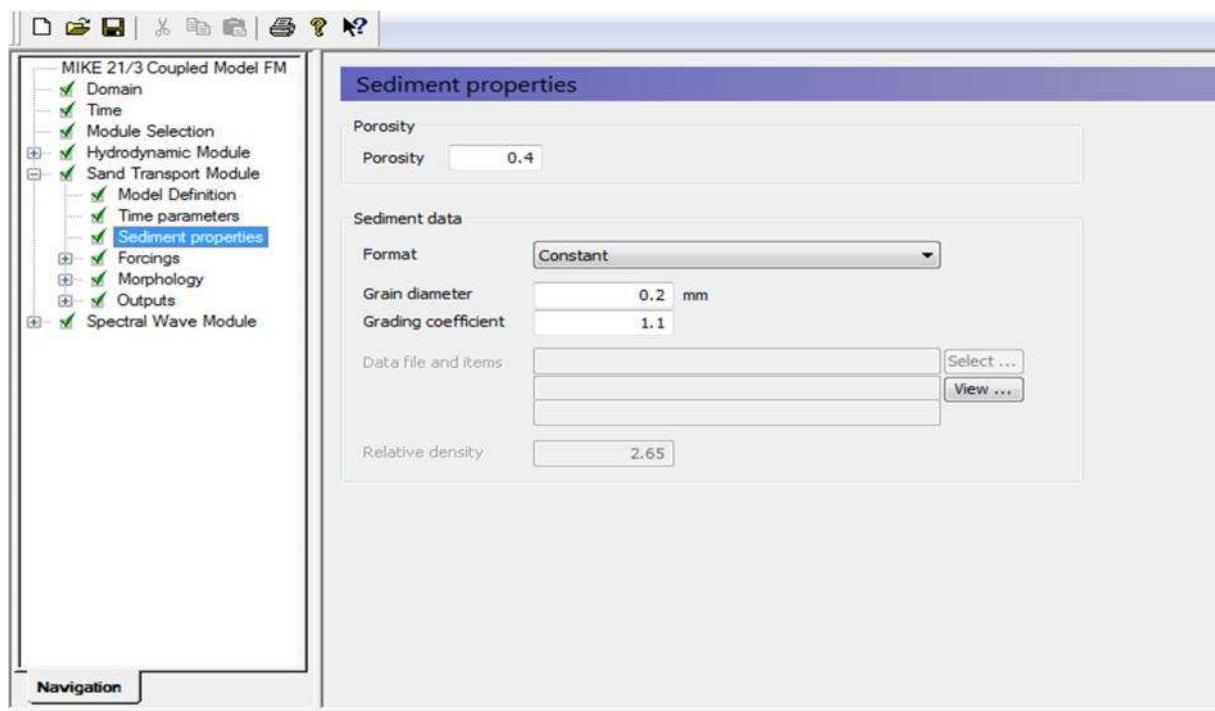


Figure 17 : Propriétés des sédiments

Model de Réfraction SW :

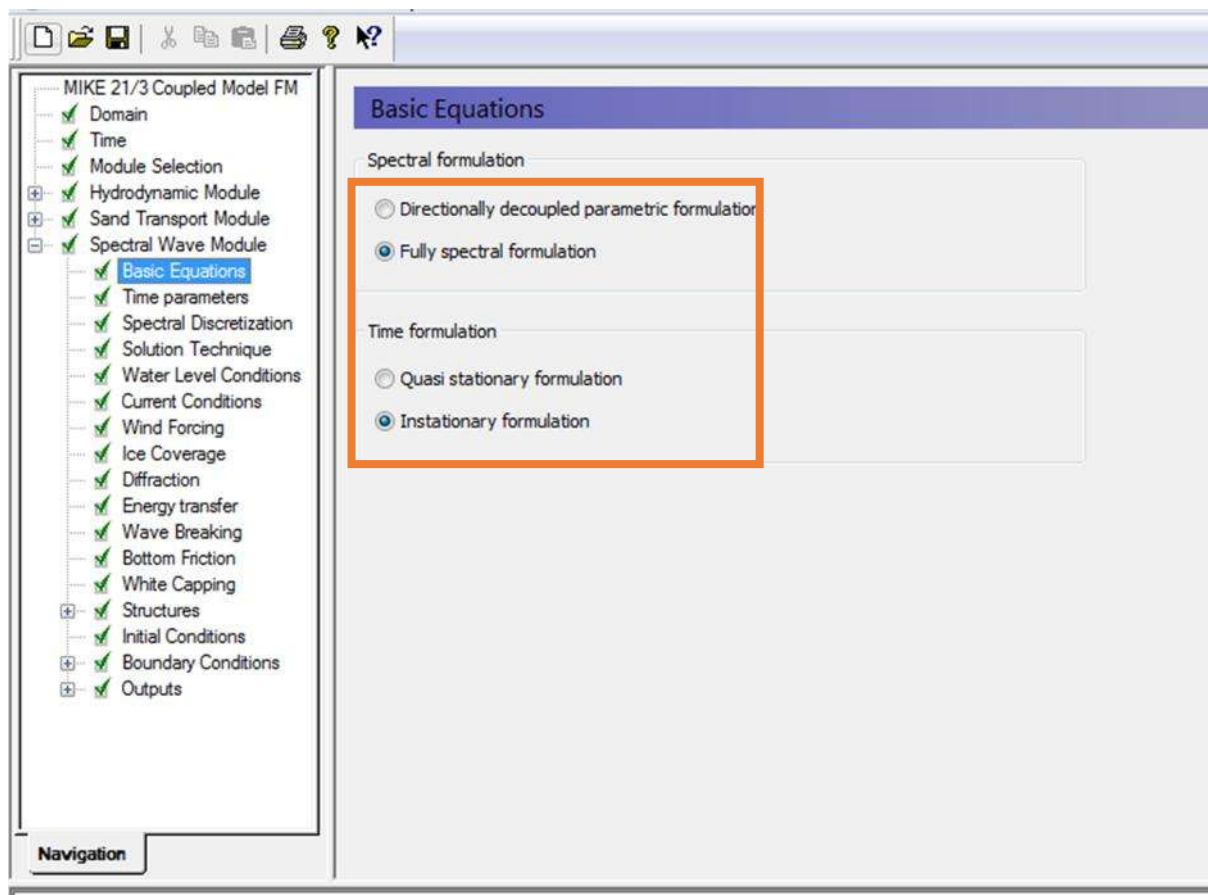


Figure 18 : Equations utilisées pour les calculs

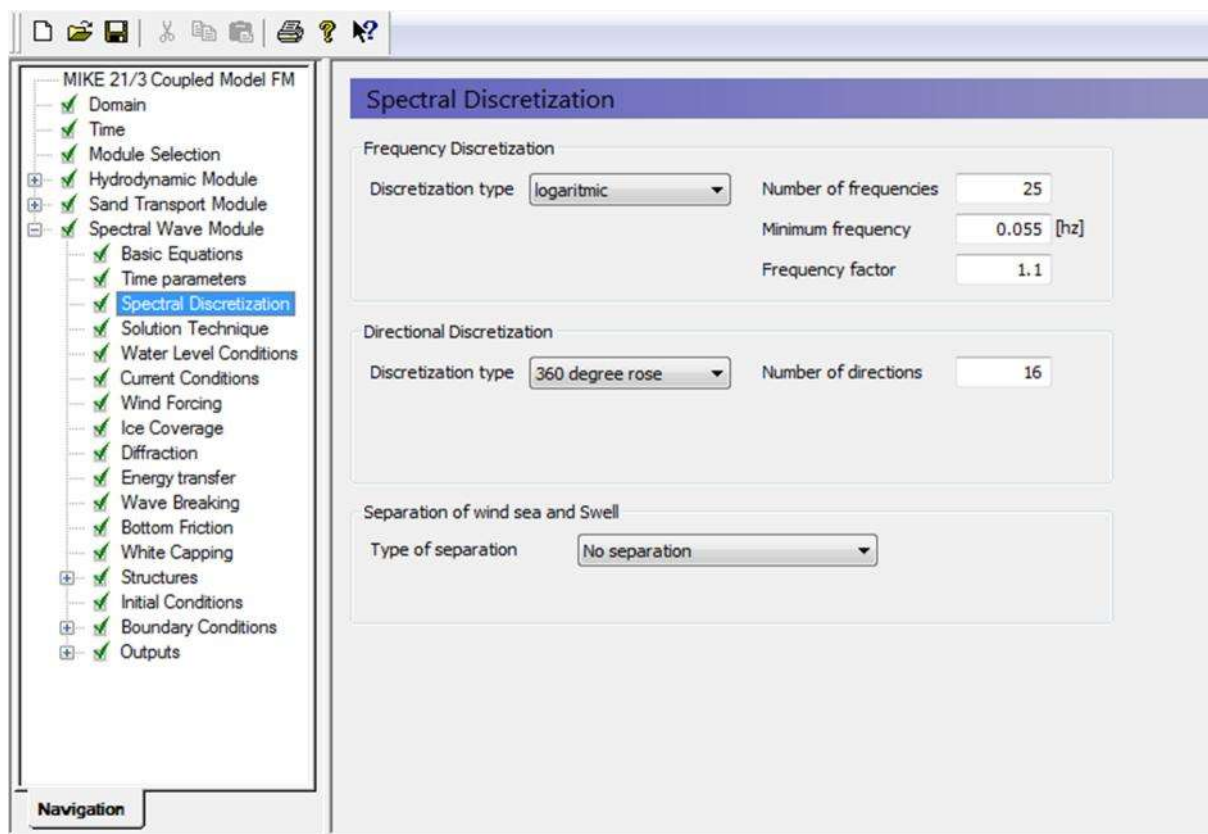


Figure 19 : Type de discrétisation « choisie par défaut »

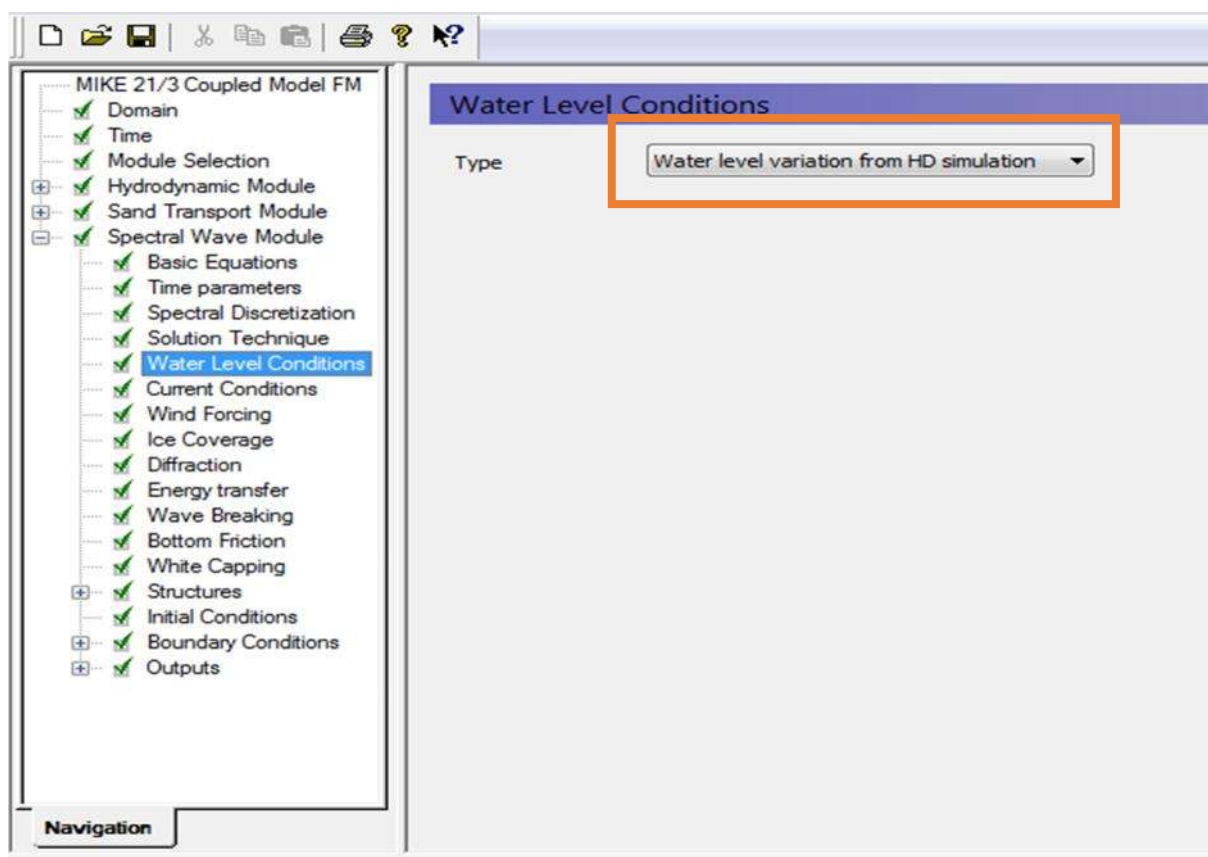


Figure 20 : Conditions niveaux des eaux

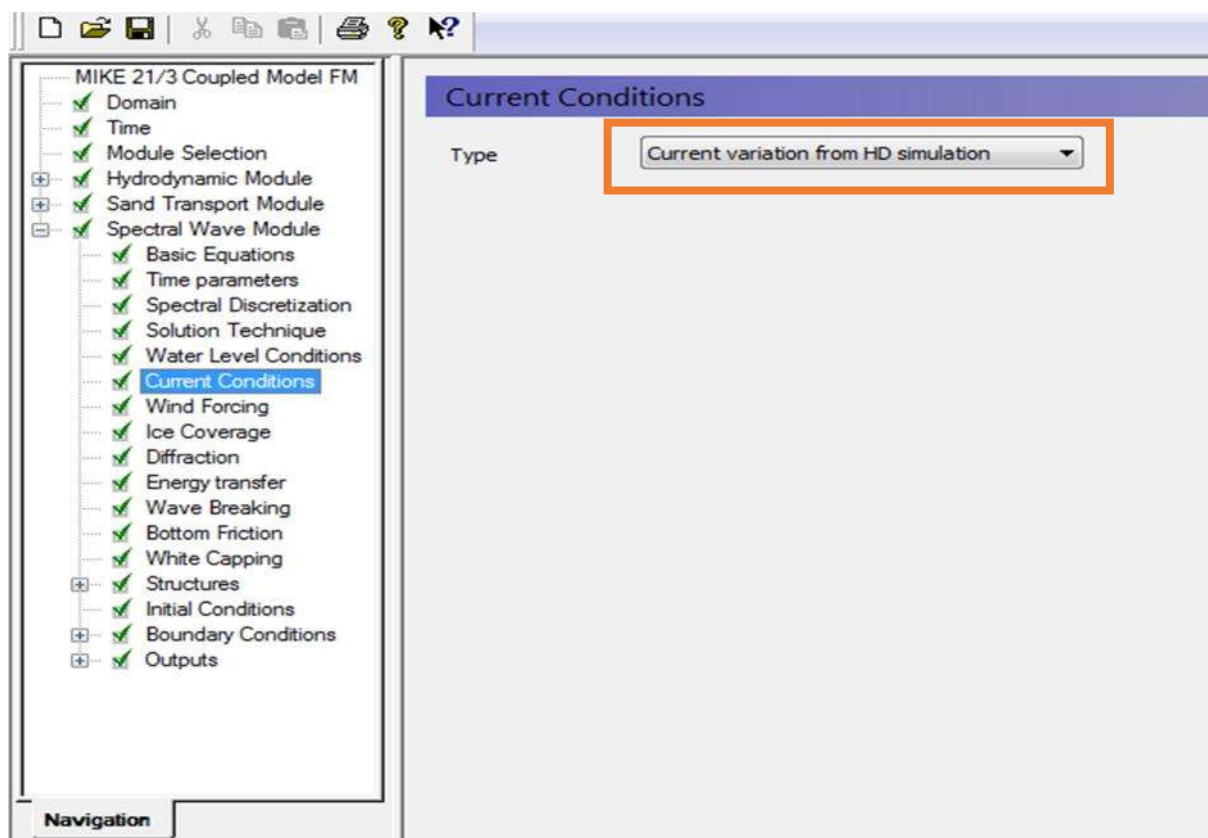


Figure 21 : Conditions des courants

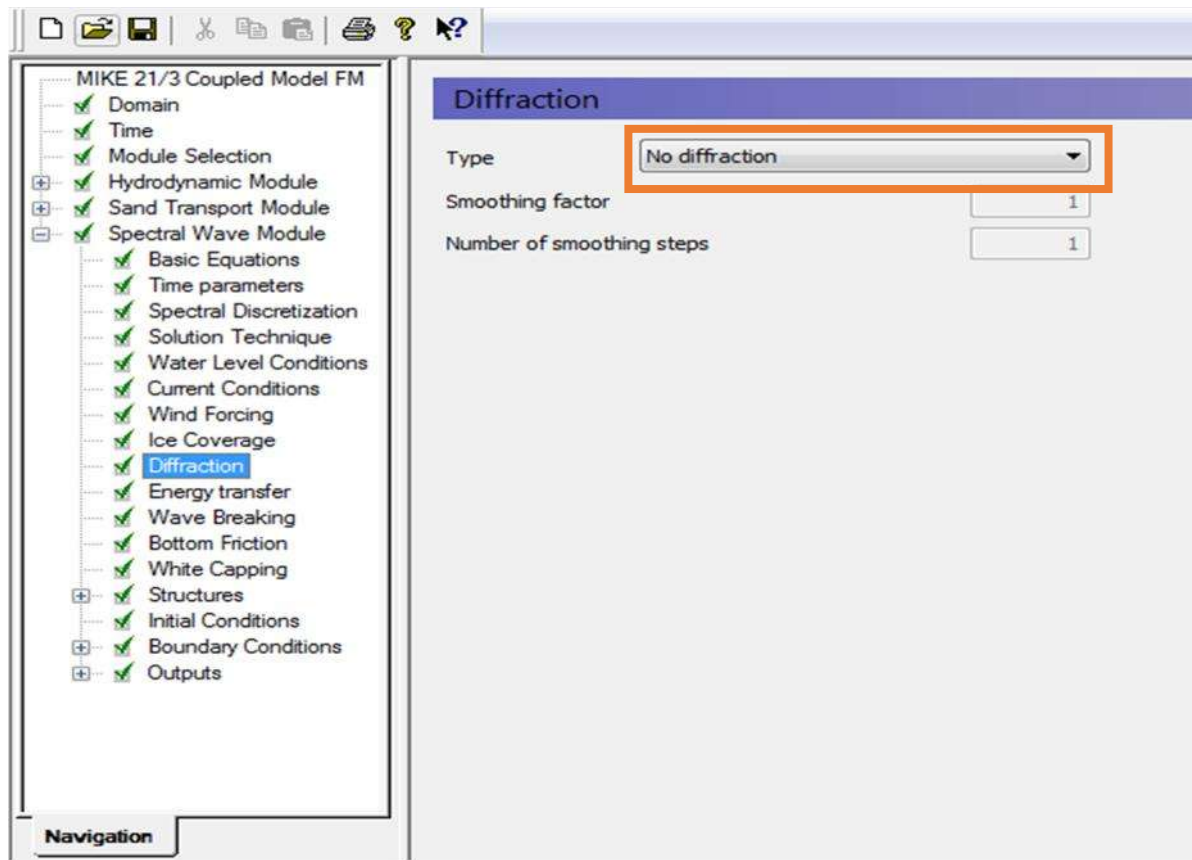


Figure 22 : Diffraction « Choisie par défaut »

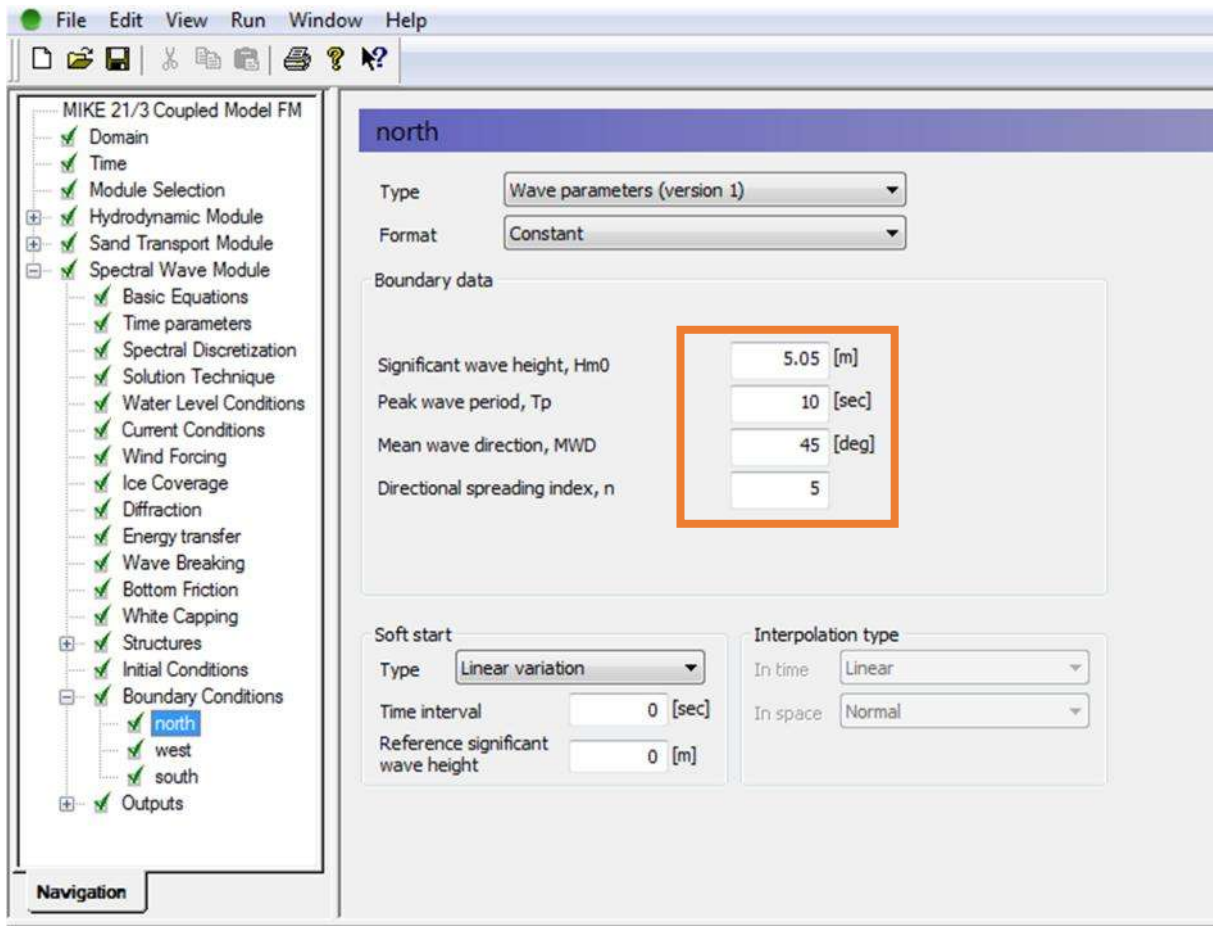


Figure 23 : Conditions limites

Les étapes de calcul statistique d'évolution de trait de cote via l'extension DSAS :

Les calculs statistiques à l'aide de l'extension DSAS réalisés selon les étapes suivants :

1. Digitalisation des traits de cote

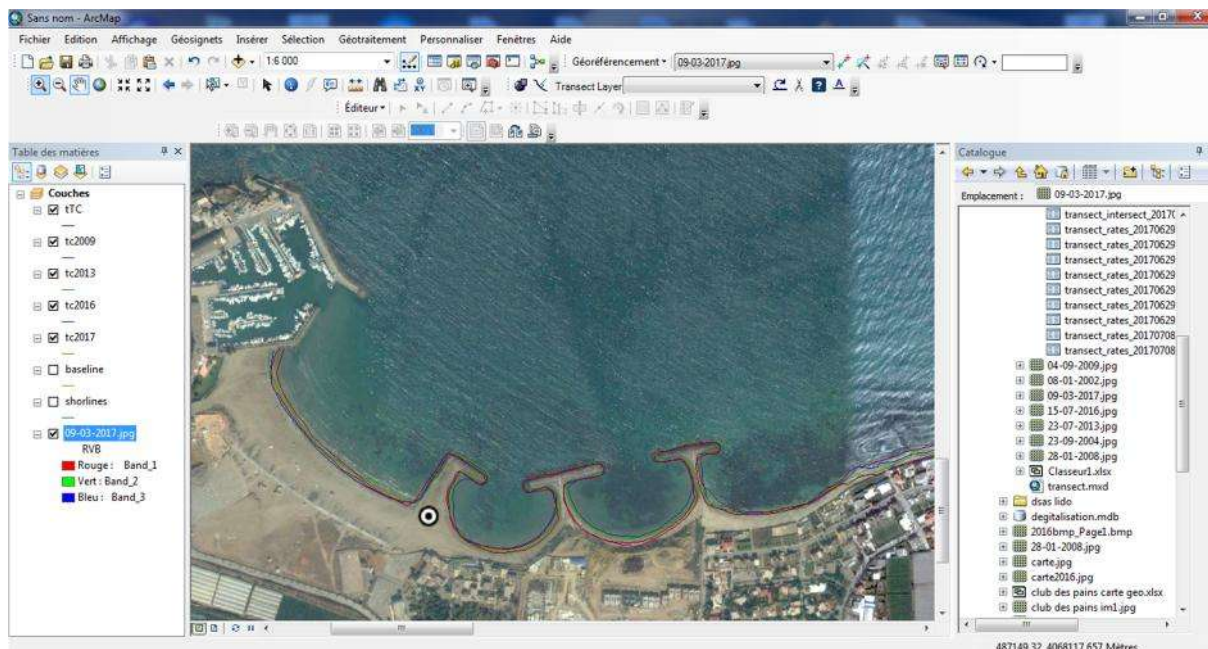


Figure 1 : les traits de cote digitalisés

2. Donner la date et l'incertitude pour chaque trait de cote

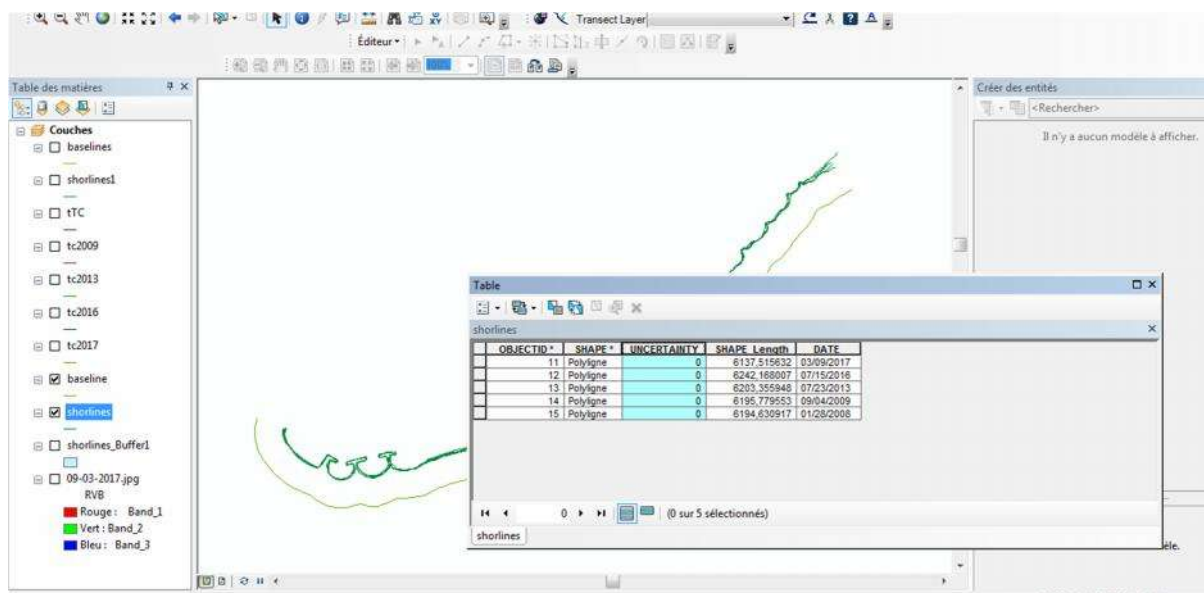


Figure 2 : définir la date et l'incertitude des traits de cote

3. La combinaison des traits de cote

Géotraitement → combiner

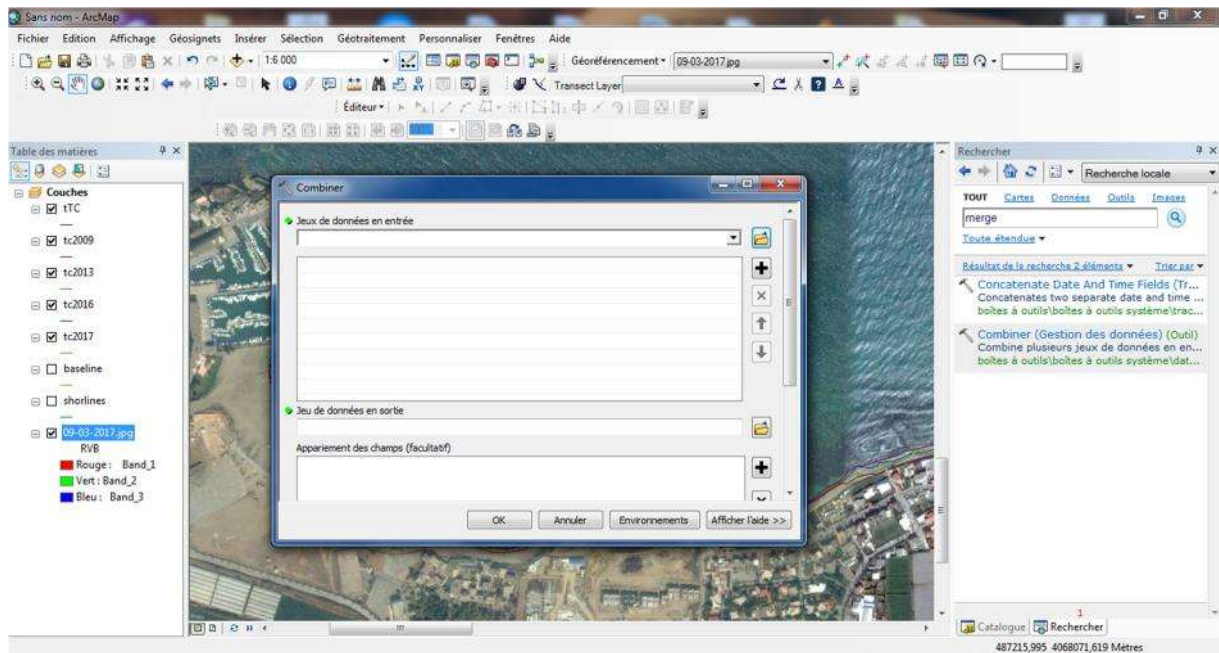


Figure 3 : la combinaison des traits de cotes

) Introduire tout les traits de cotes

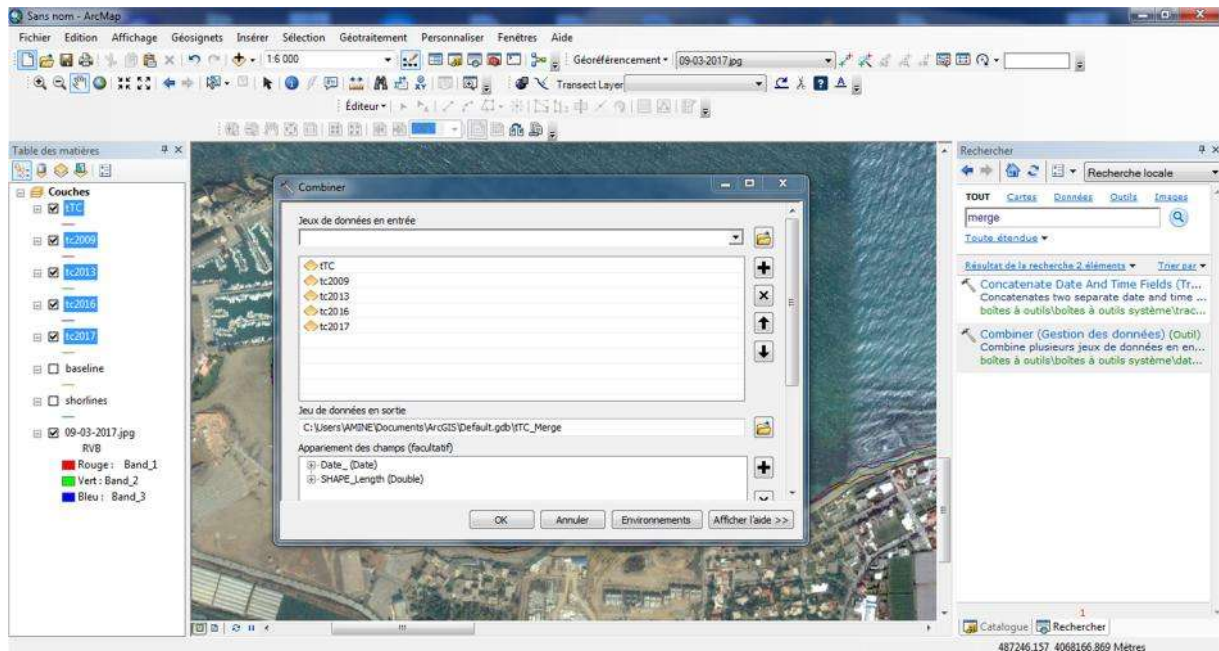


Figure 4 : le choix des traits de cote à combiner

Definir le nom des traits de cotes combinés

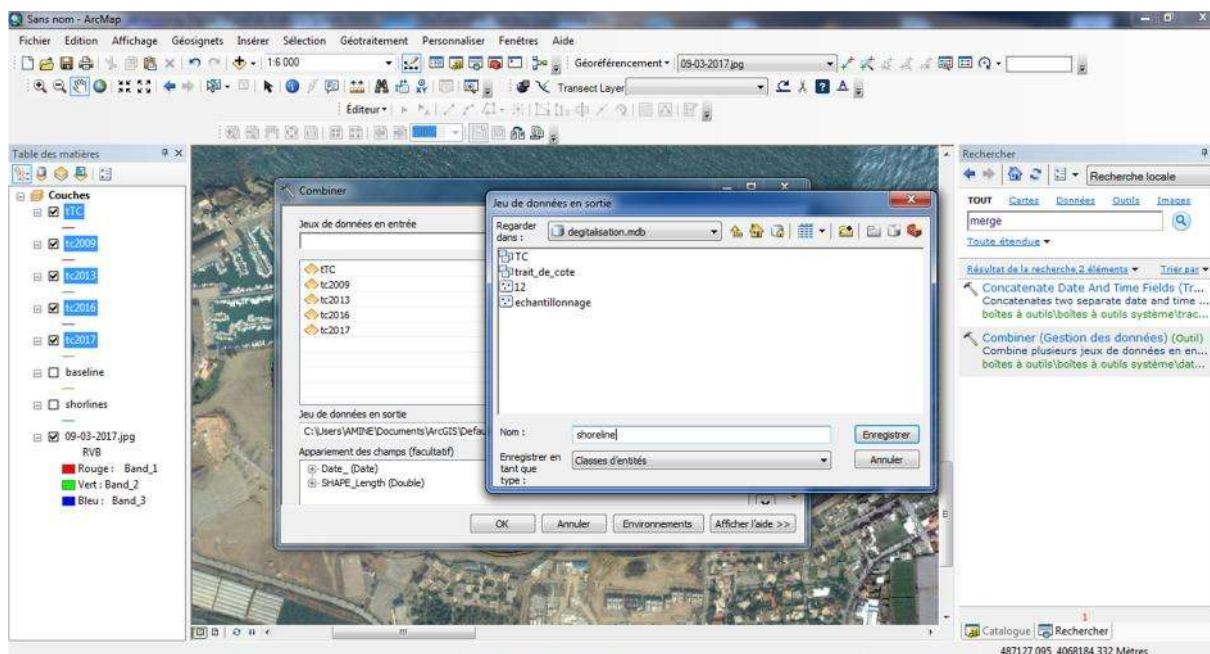


Figure 5 : nommer la couche et choisir son emplacement

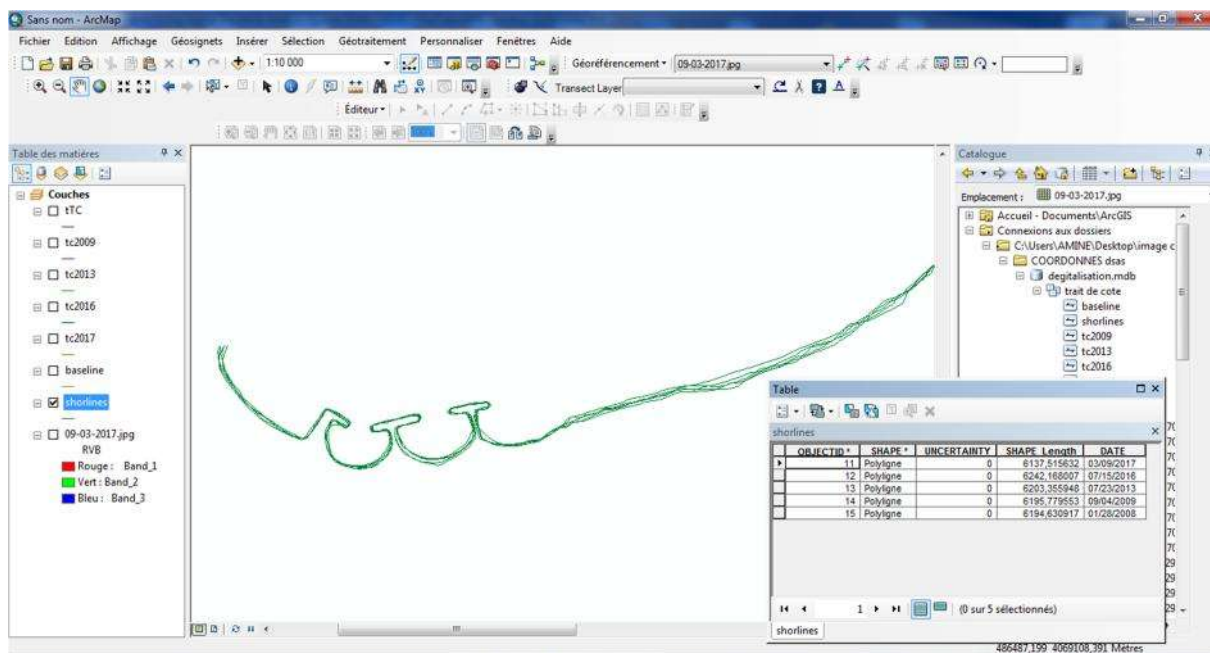


Figure 6 : les traits de cote combinées

4. Création de la zone tampon

Géotraitement → zone tampon

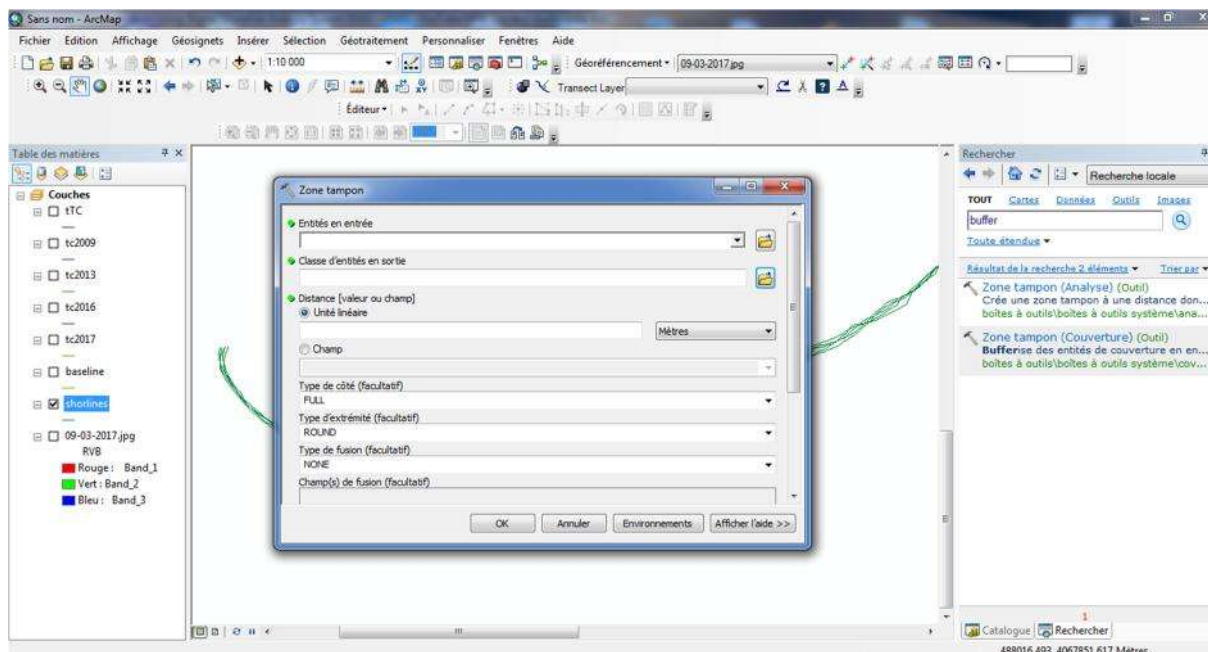


Figure 7 : crée la zone tampon

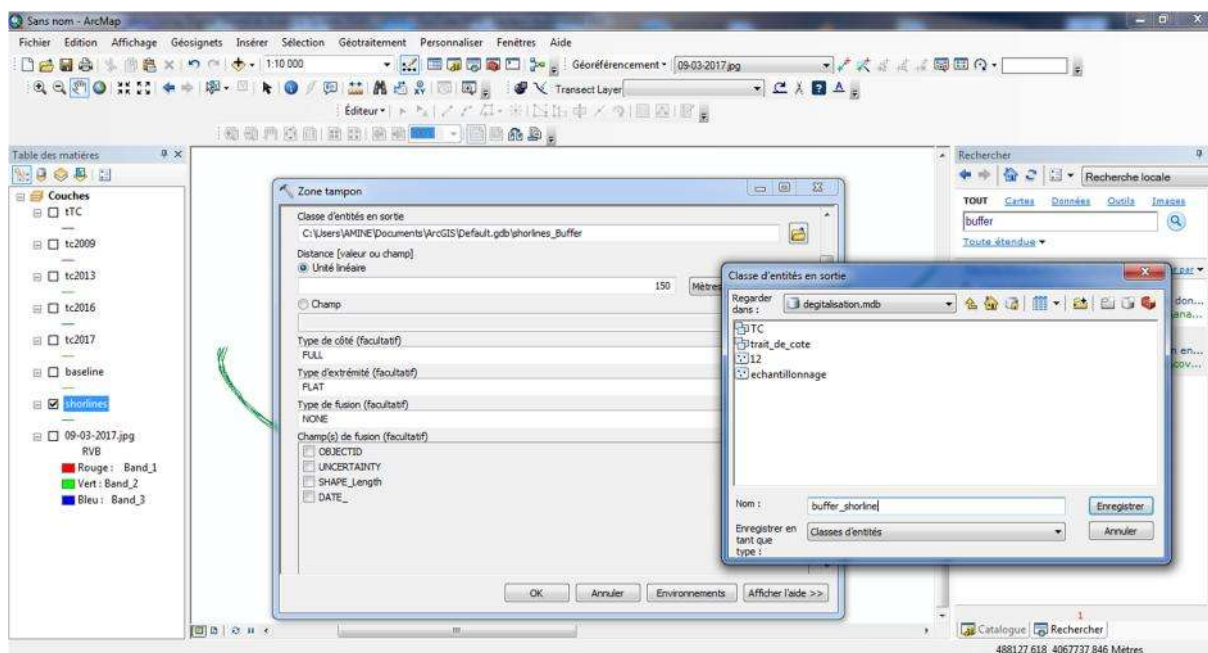


Figure 7 : nommer la zone tampon et définir son emplacement et sa distance ^par rapport au trait de cote

ANNEXE 3

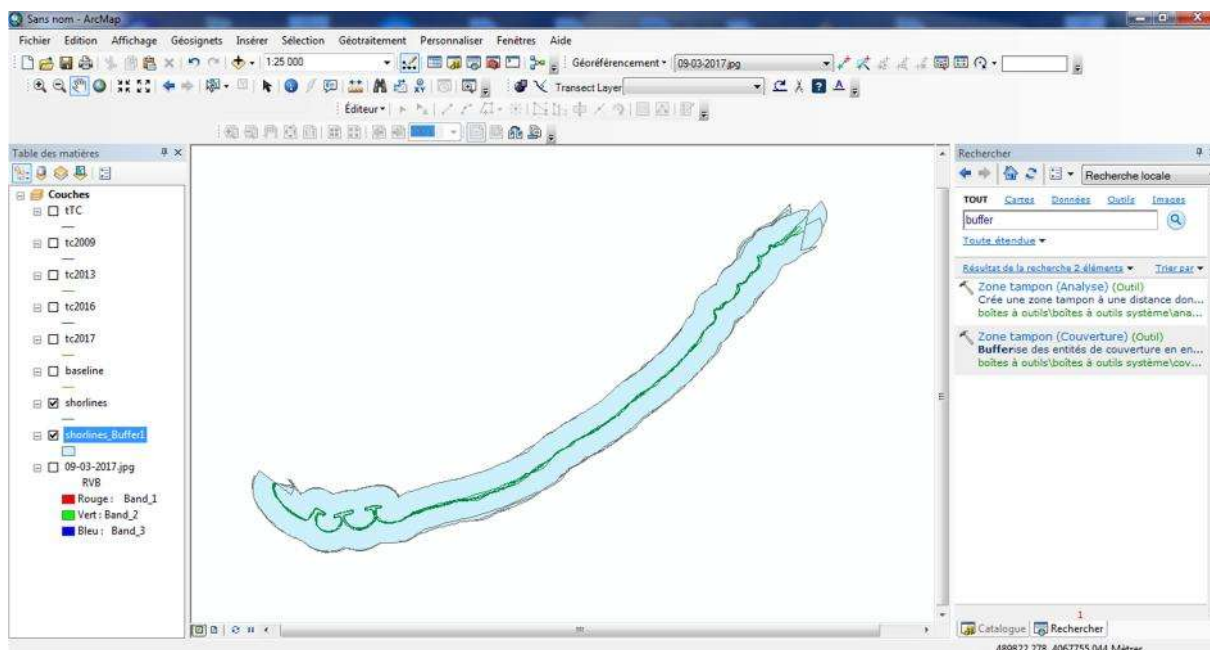


Figure 8 : la zone tampon

5. Création de la ligne de base

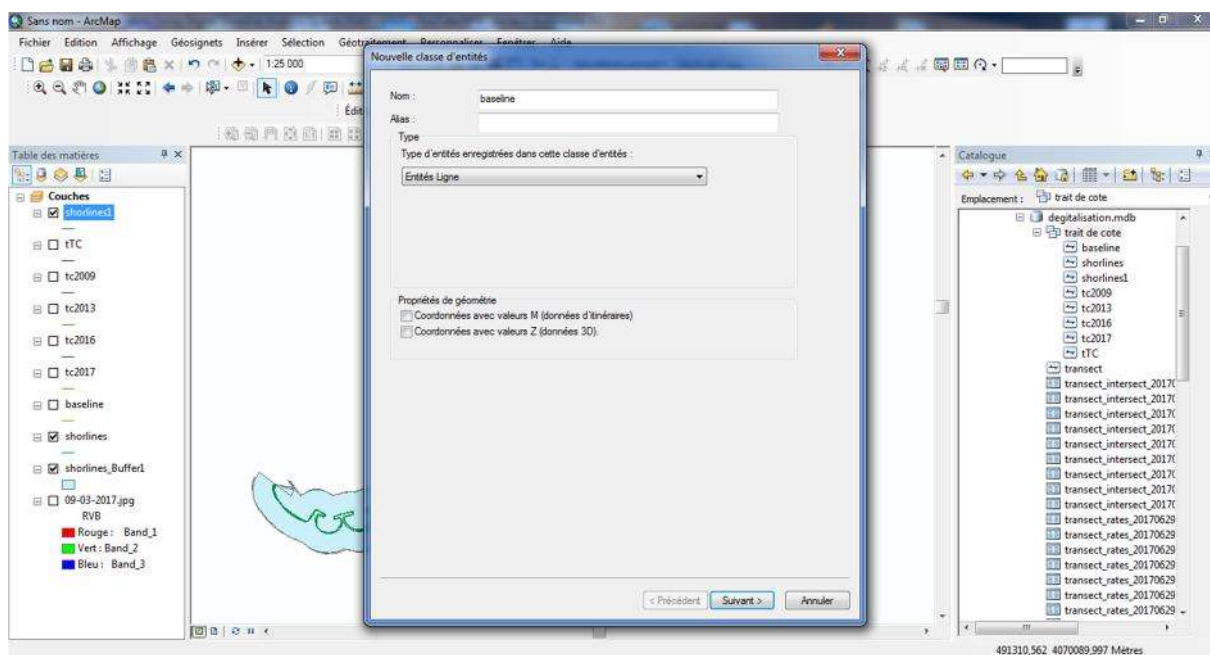


Figure 9 : Création l'entité Baseline

ANNEXE 3

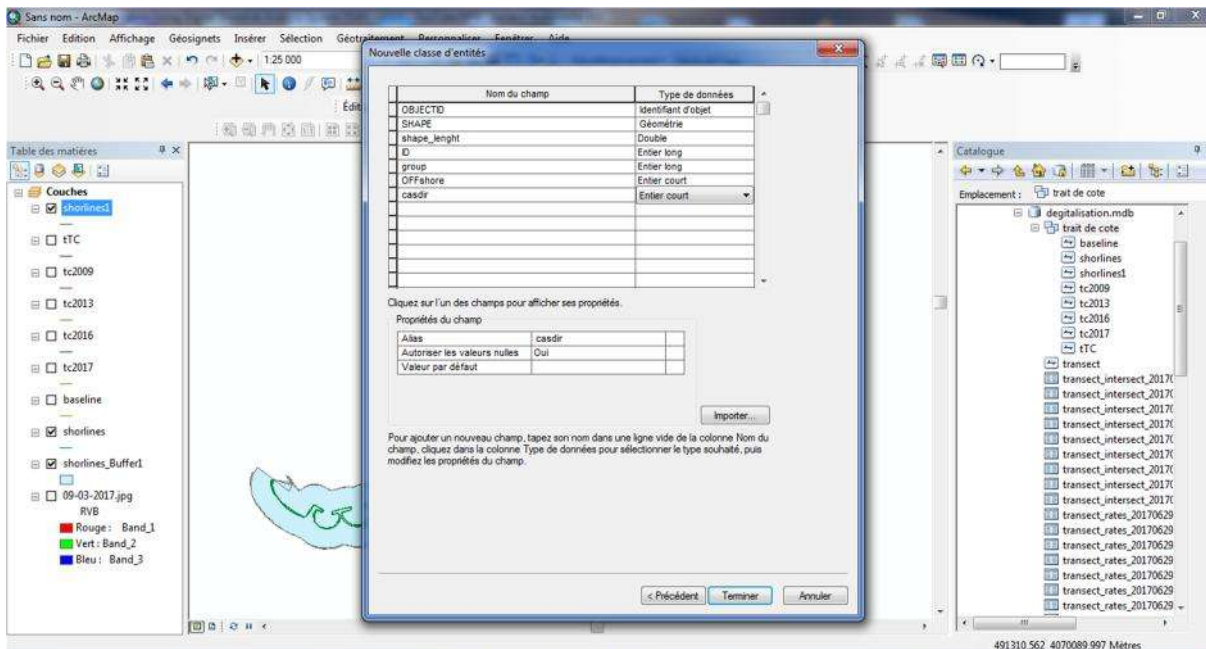


Figure 10 : ajouter des caractéristiques (ID, Group, Offshore, CastDir) à la table des attributs de la ligne de base

) Digitalisé la Baseline partir de la limite inferieure du la zone tampon « Buffer »

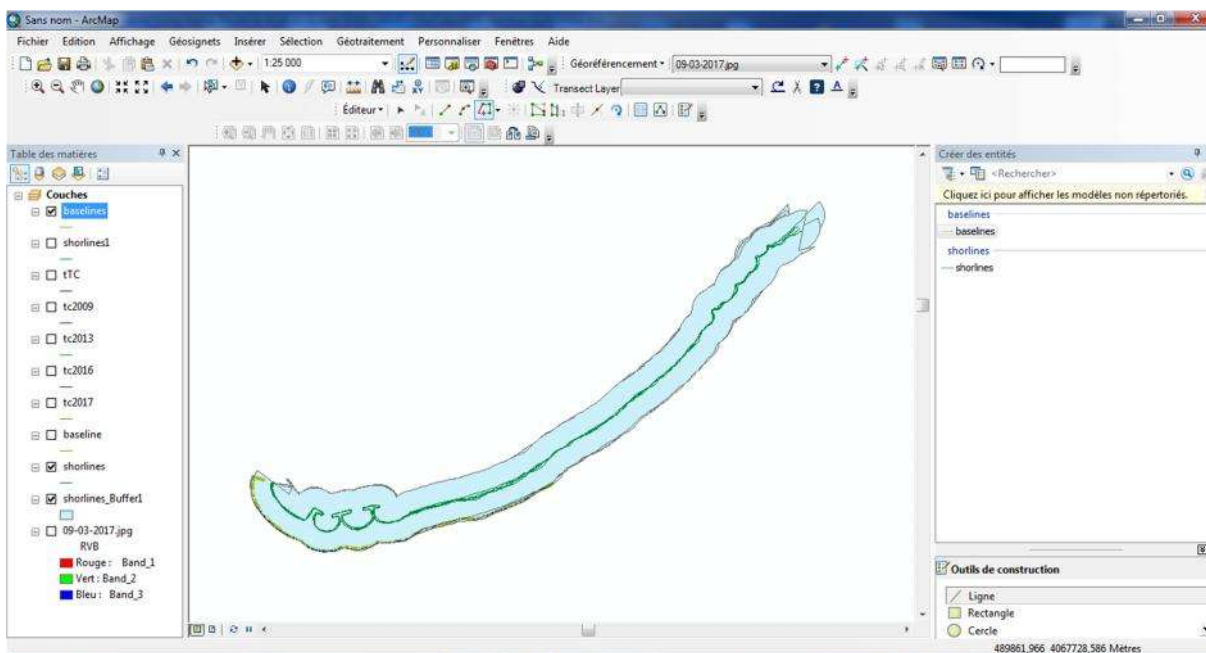


Figure 11 : le traçage de la ligne de base

ANNEXE 3

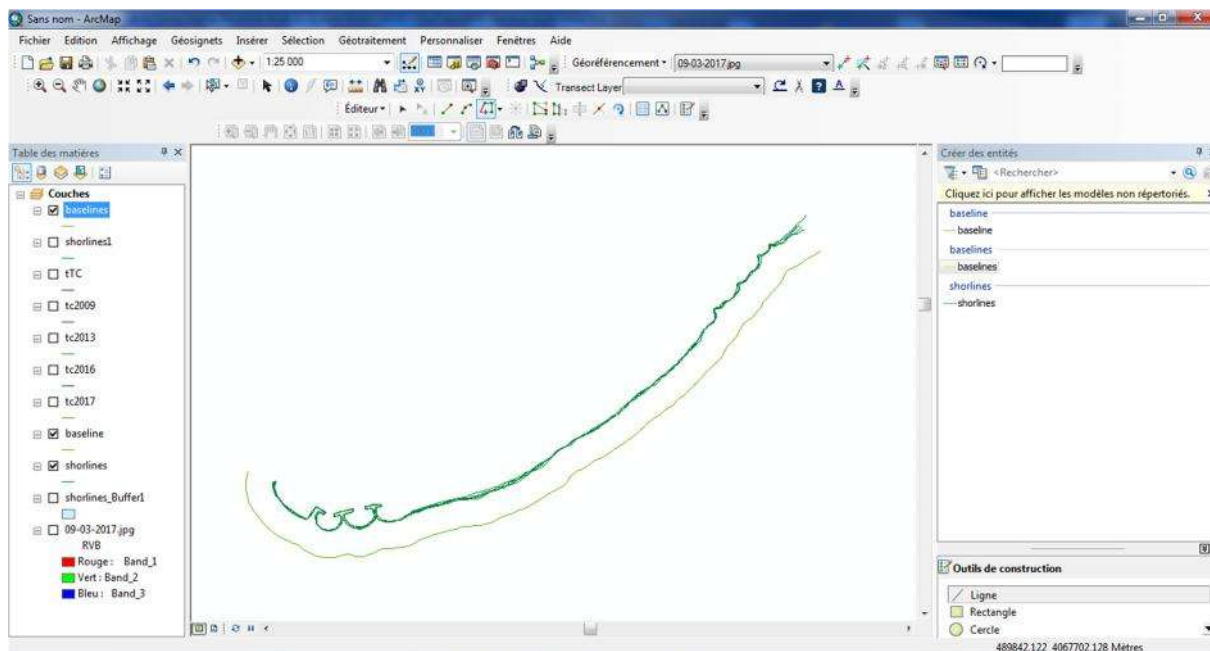


Figure 12 : la ligne de base et les traits de cote combinés

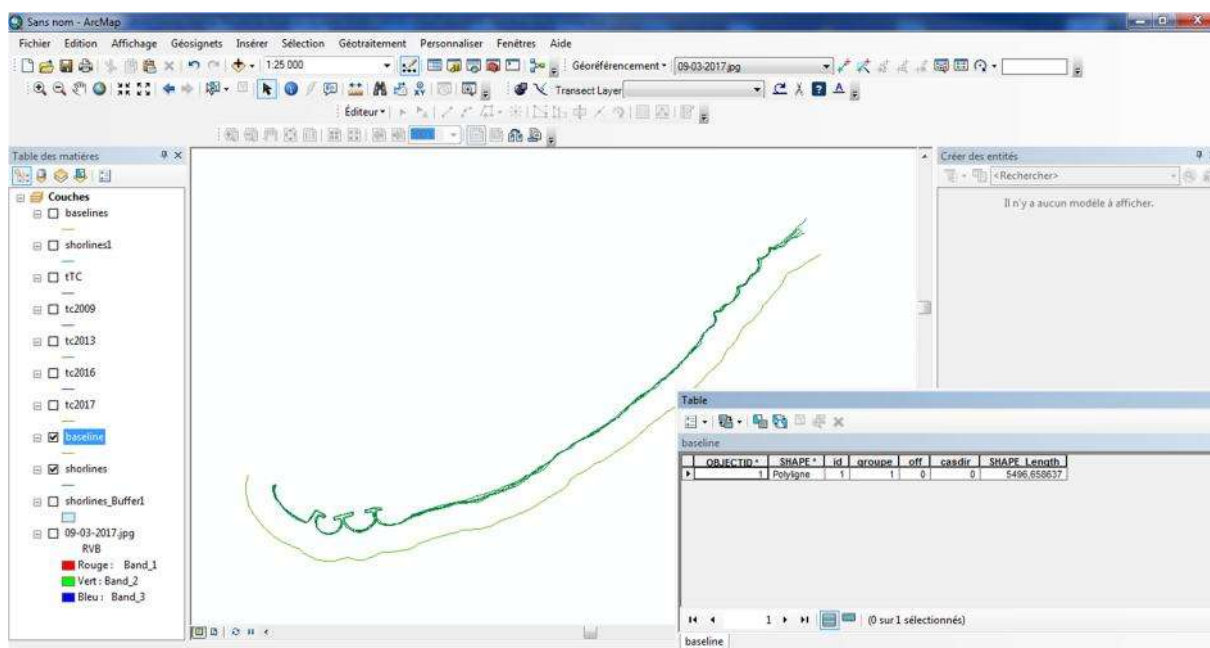


Figure 13 : définir les caractéristiques de la ligne de base

6. Définir et modifier les paramètres de la ligne de base et des traits de cote pour lancer les calculs statistiques

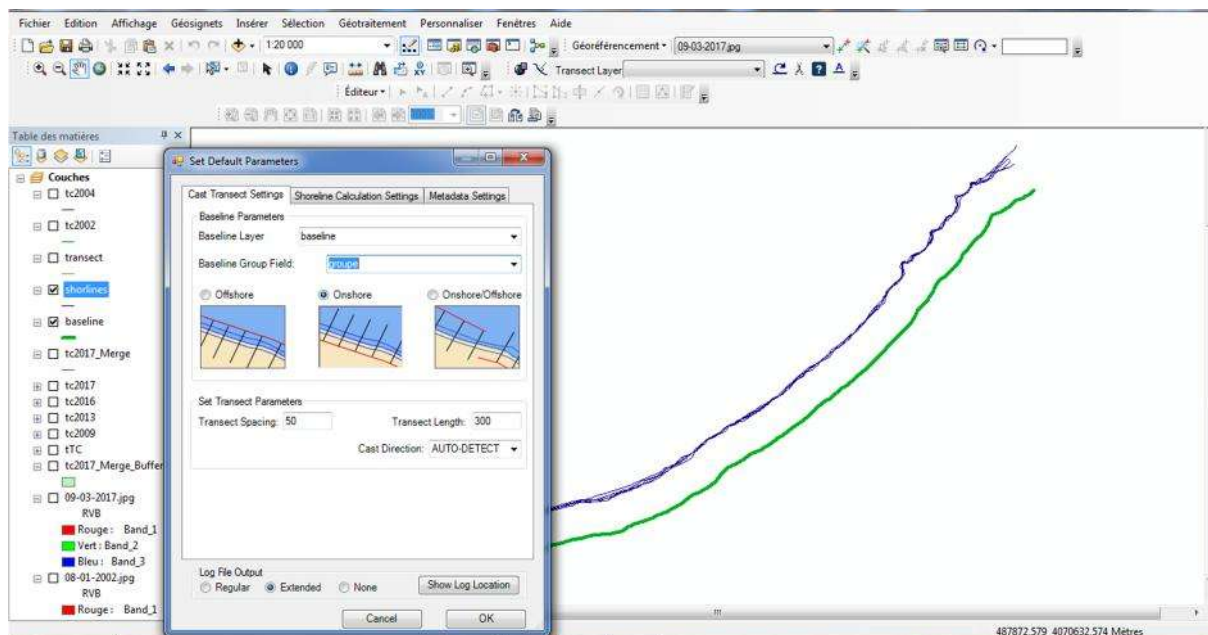


Figure 14 : choisir la ligne de base

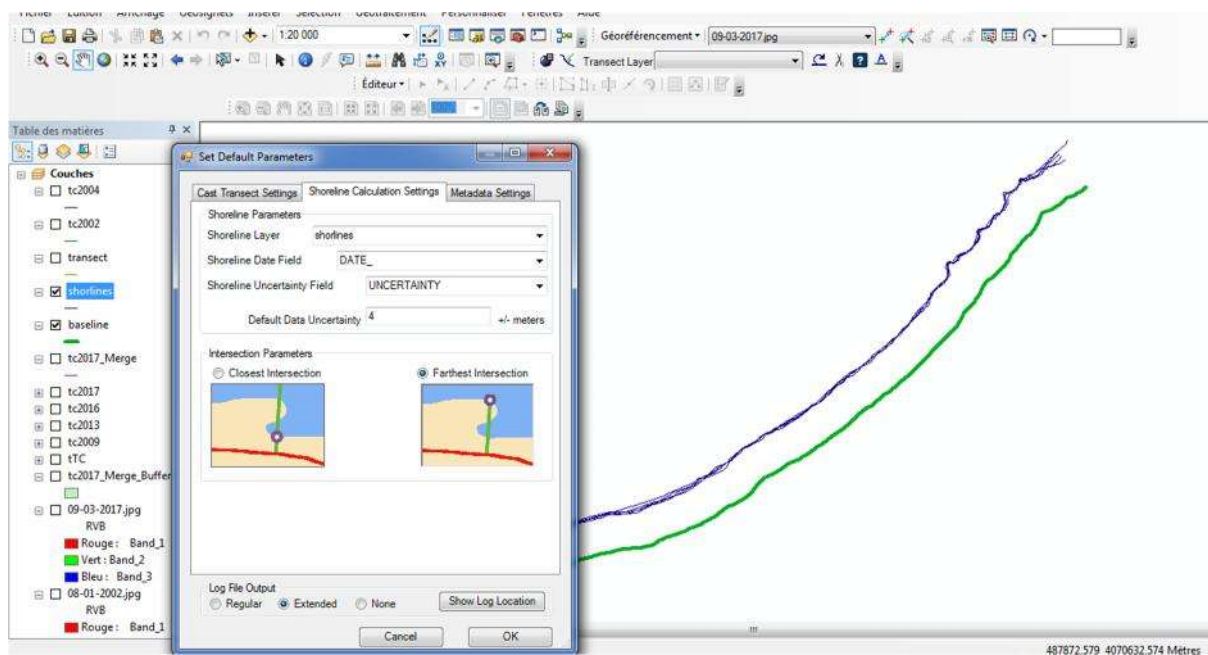


Figure 15 : choisir les traits de cote combinés

ANNEXE 3

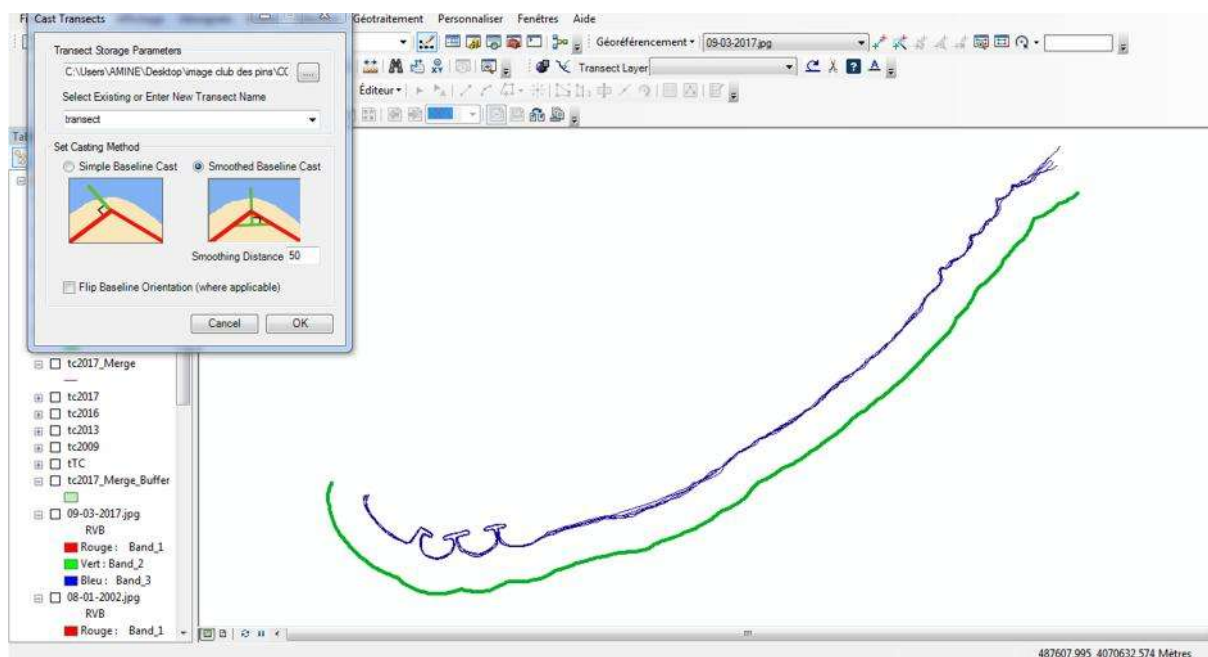


Figure 16 : tracer les transects

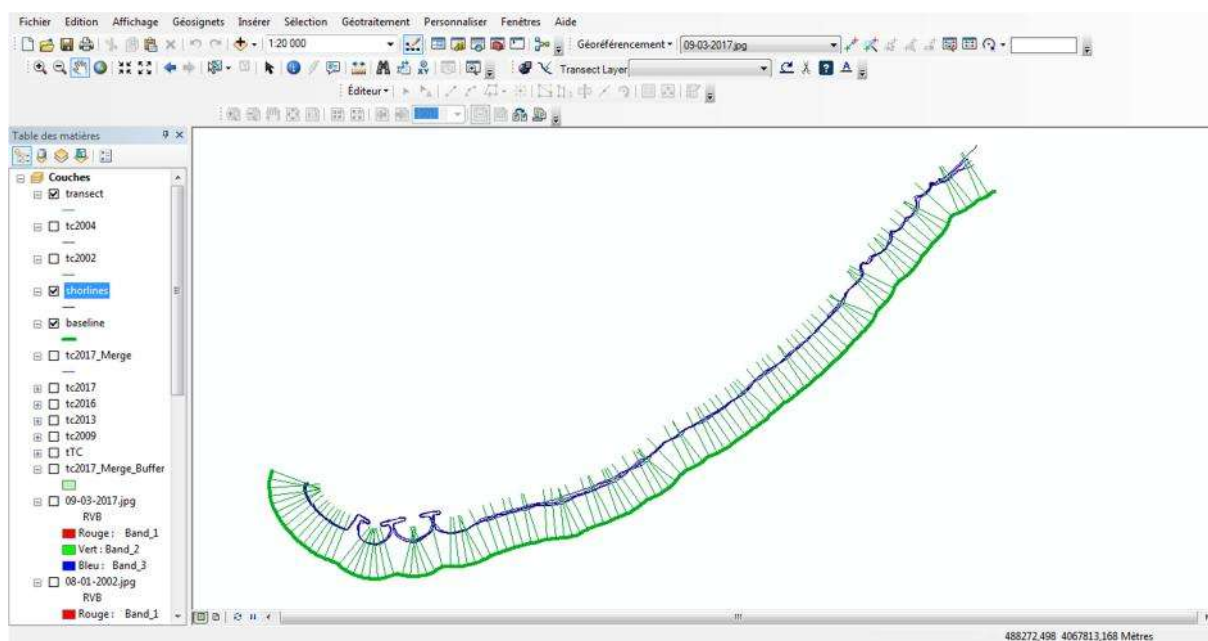


Figure 17 : les transects générés

ANNEXE 3

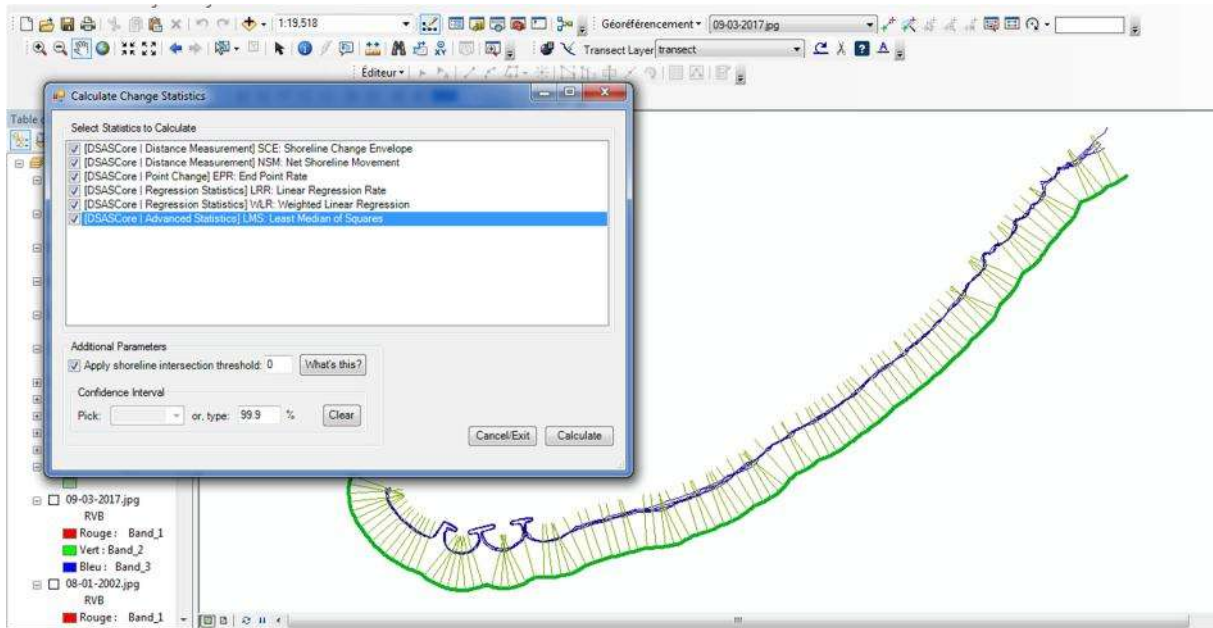


Figure 18 : lancer le calcul statistique

Cartes Modélisation Numérique

1- Modélisation de la réfraction de la houle :

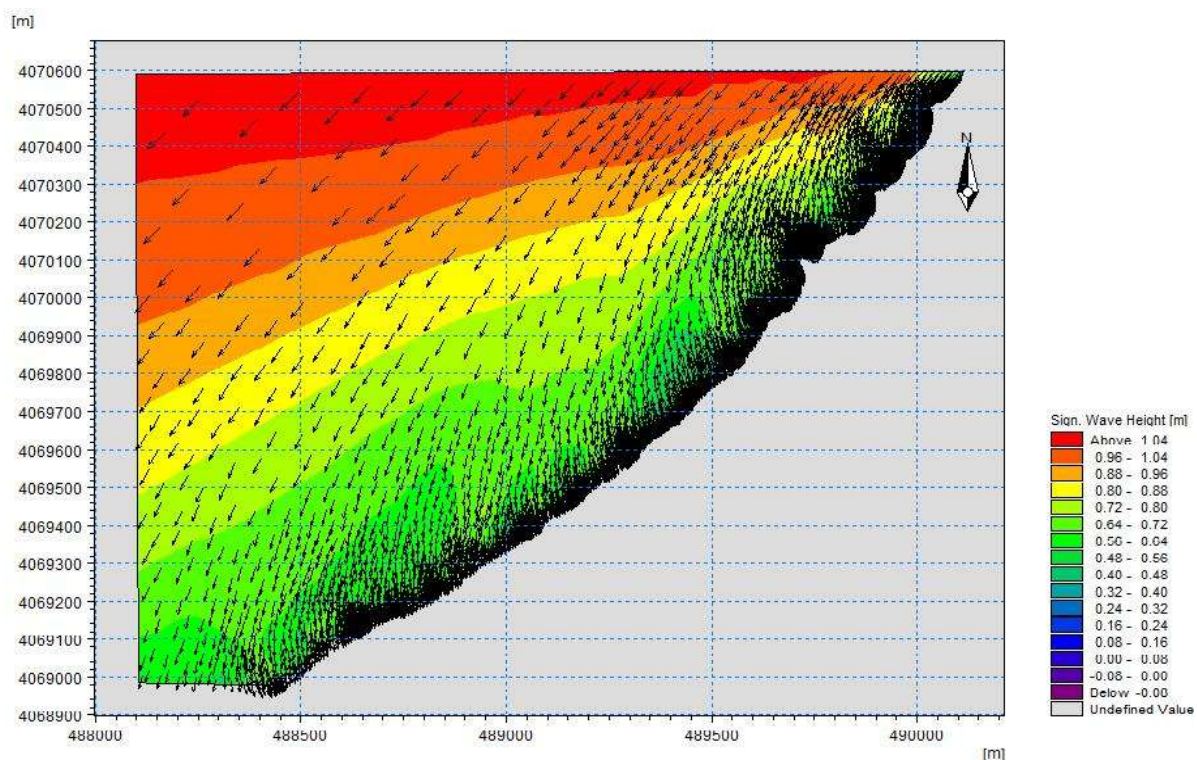


Figure 1 : Modélisation d'une réfraction de houle pour une direction de 45°N , $T_p=6\text{s}$ et $H_s=1.09\text{m}$ Club des pins 2009

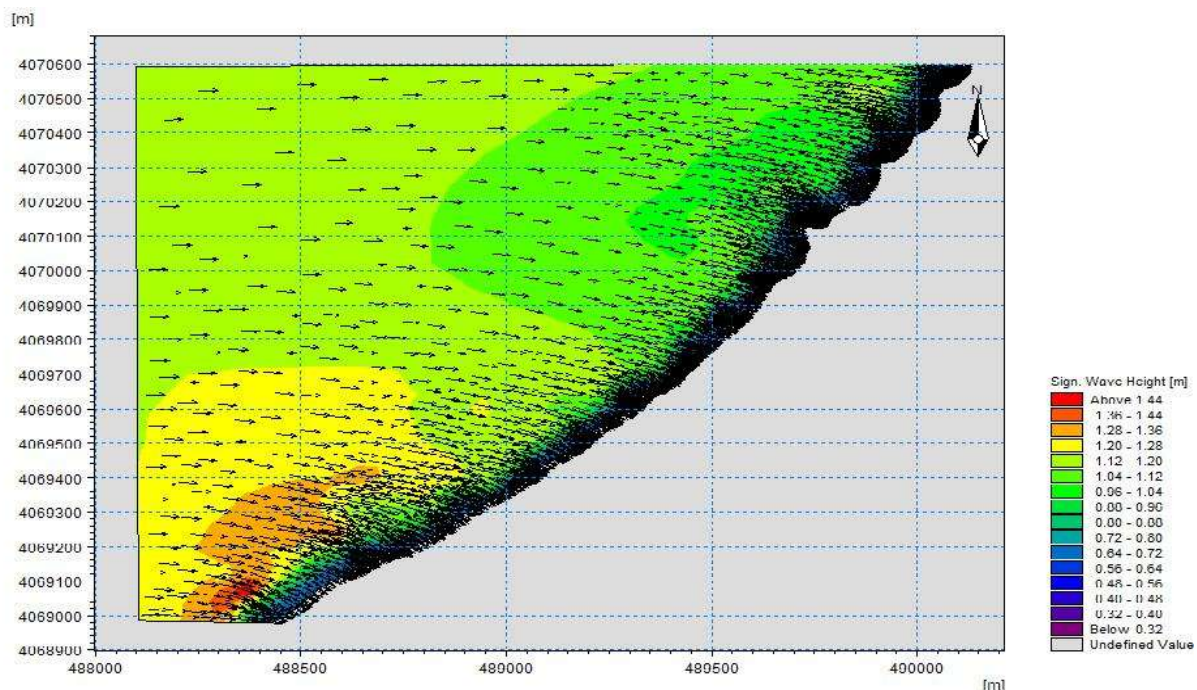


Figure 2 : Modélisation d'une réfraction de houle pour une direction de 270°N , $T_p=6\text{s}$ et $H_s=1.19\text{m}$ club des pins 2009

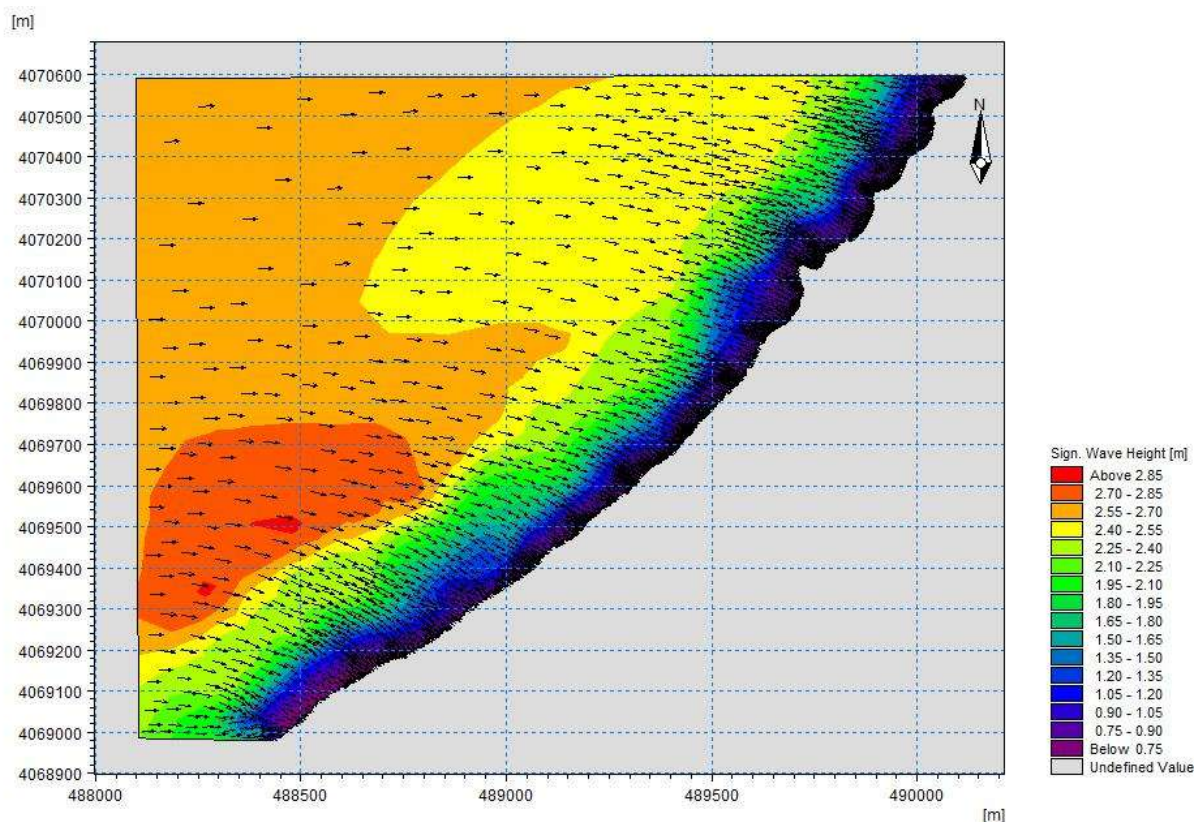


Figure 3 : Modélisation d'une réfraction de houle pour une direction de 270°N, $T_p=8s$ et $H_s=2.67m$ club des pins 2009

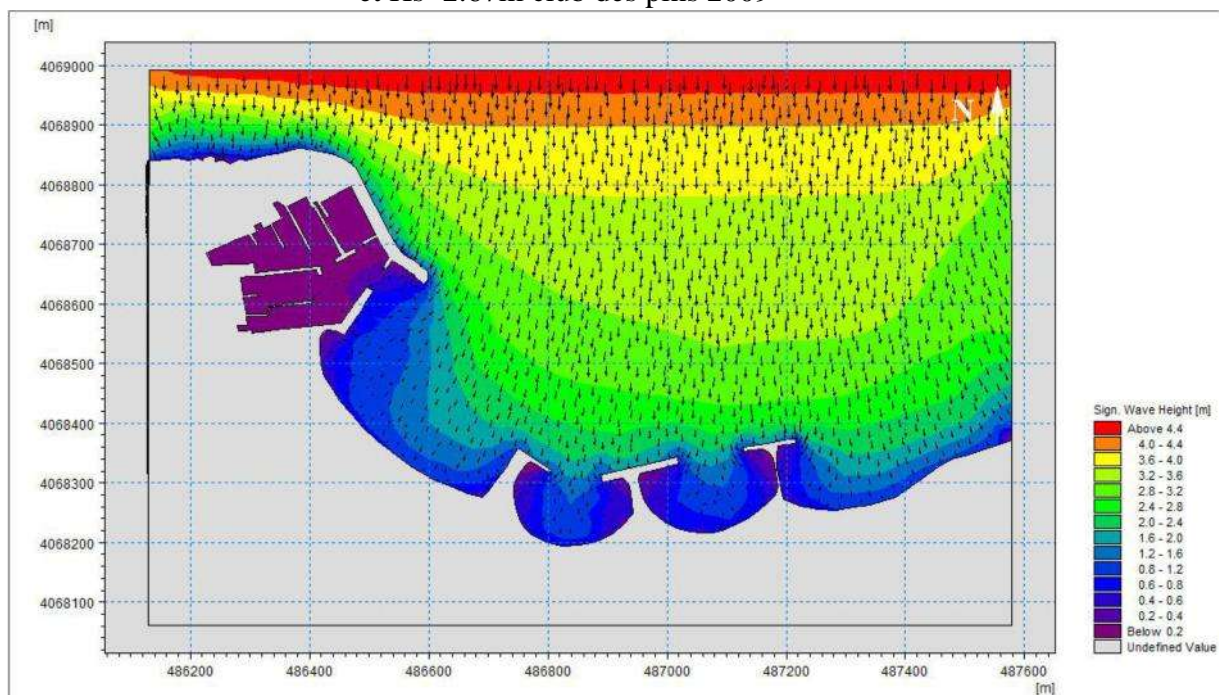


Figure 4 : Modélisation de réfraction de la houle pour N360° et $T=10s$ Sidi Fredj

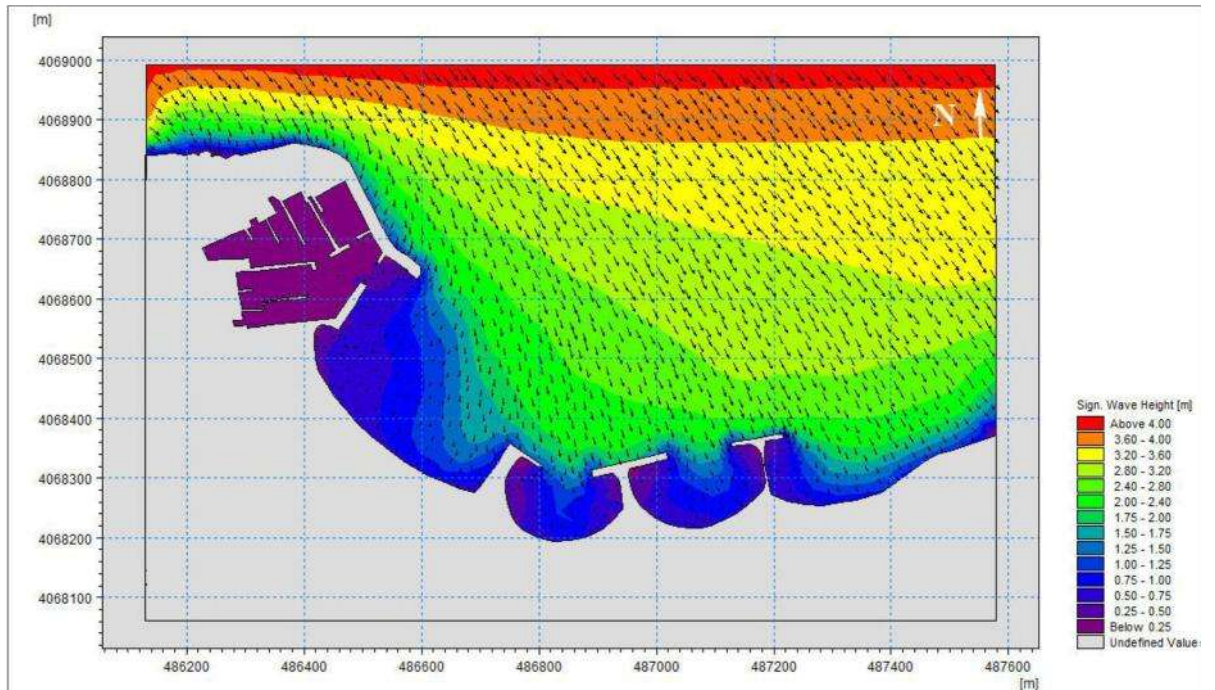


Figure 5 : Modélisation de réfraction de la houle pour $N315^\circ$ et $T=10s$ Sidi Fredj

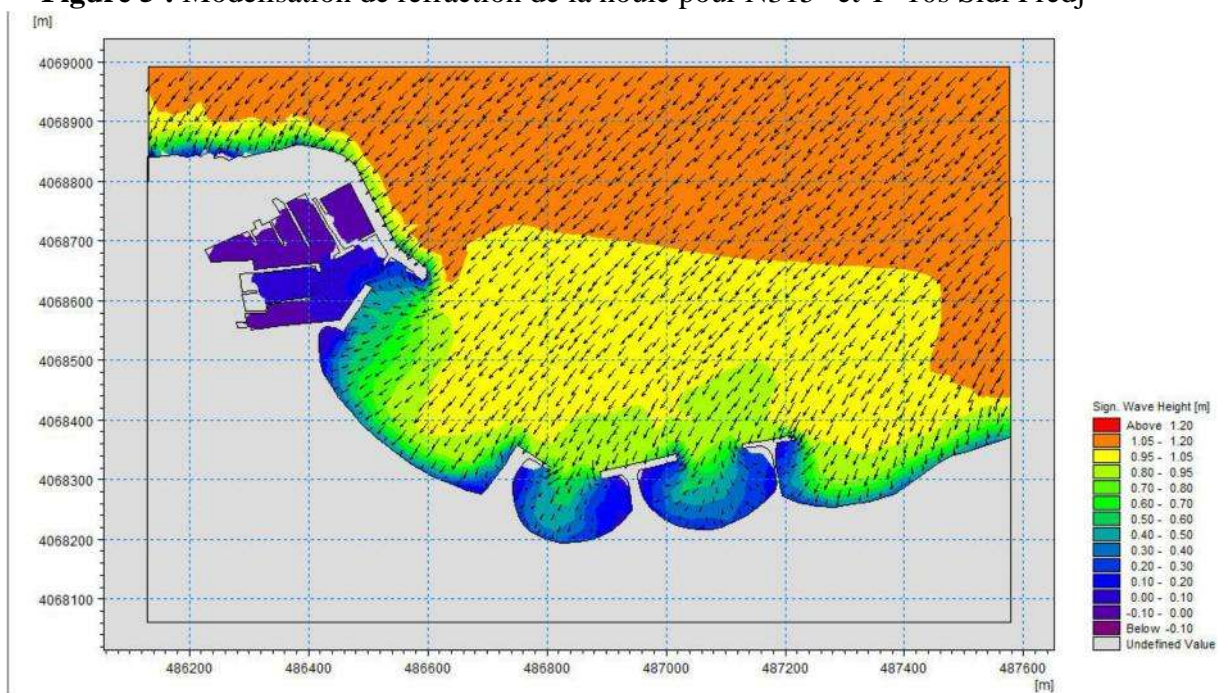


Figure 6 : Modélisation de réfraction de la houle pour 45° et $T=6s$ Sidi Fredj

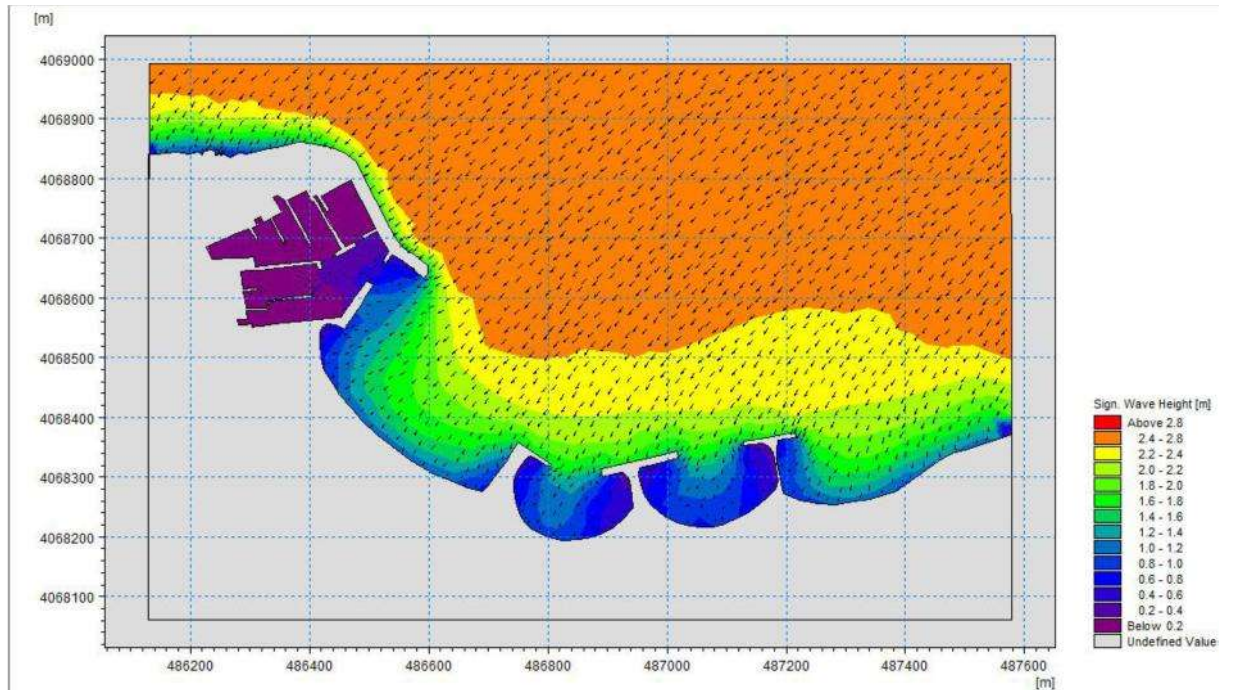


Figure 7 : Modélisation de réfraction de la houle pour 45° et $T=8s$ Sidi Fredj

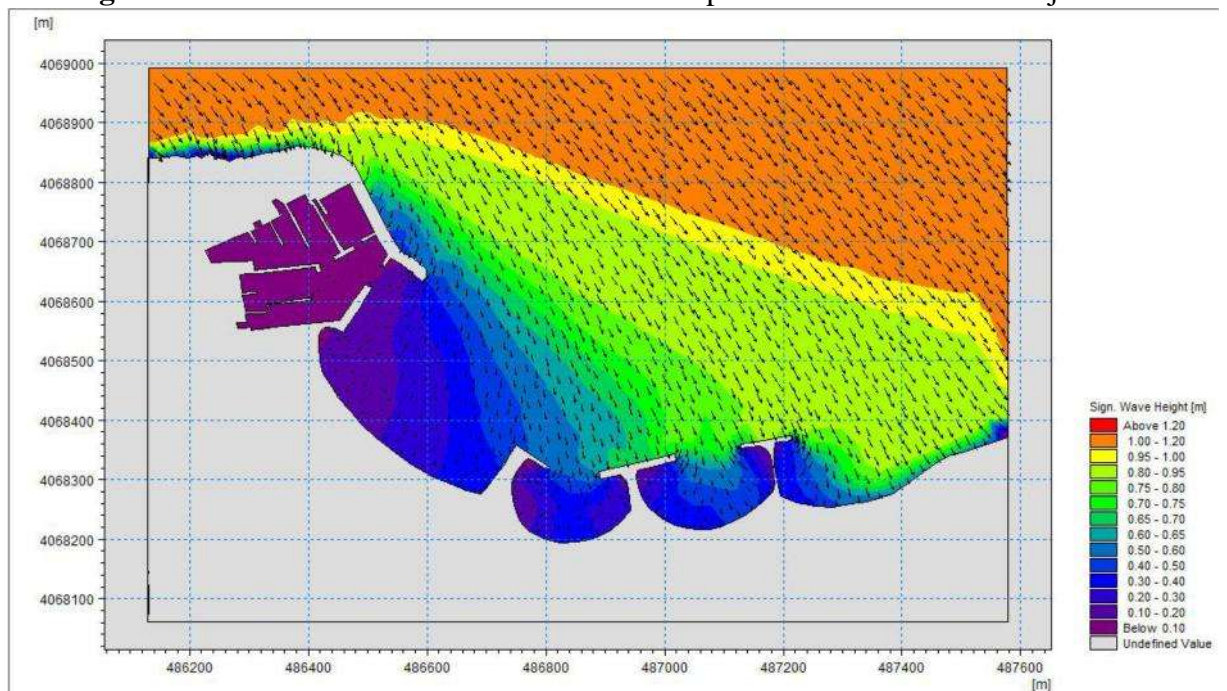


Figure 8 : Modélisation de réfraction de la houle pour 315° et $T=6s$ Sidi Fredj

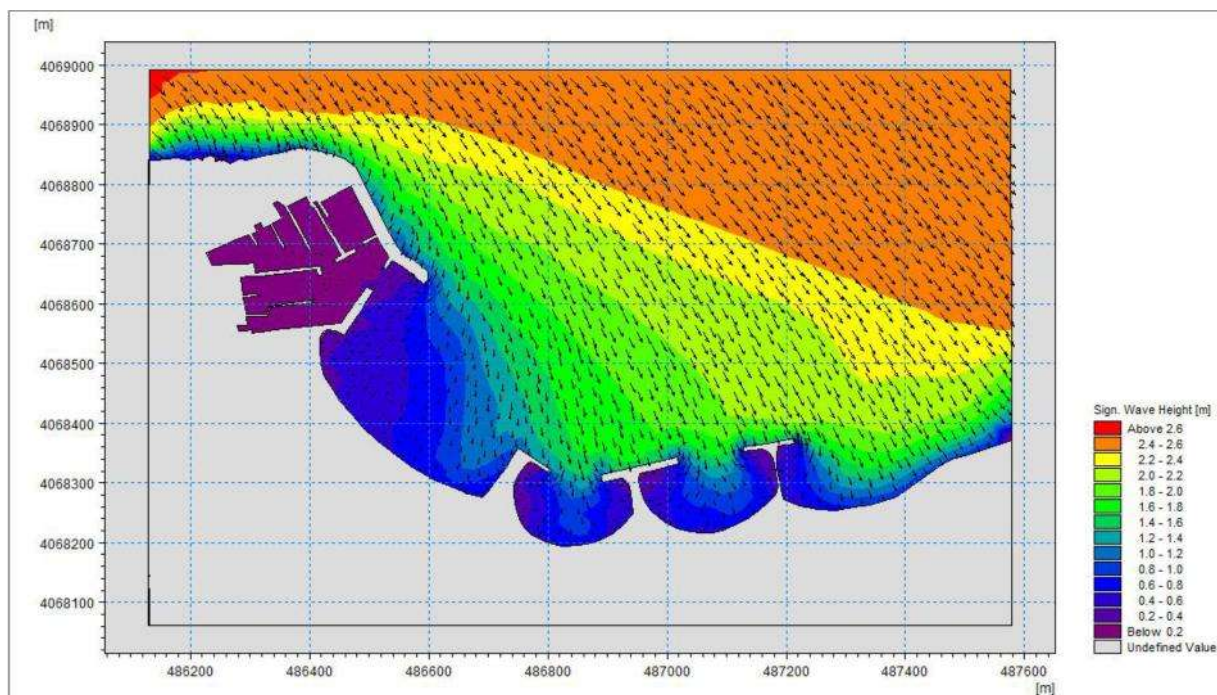


Figure 9 : Modélisation de réfraction de la houle pour 315° et T=8s Sidi Fredj

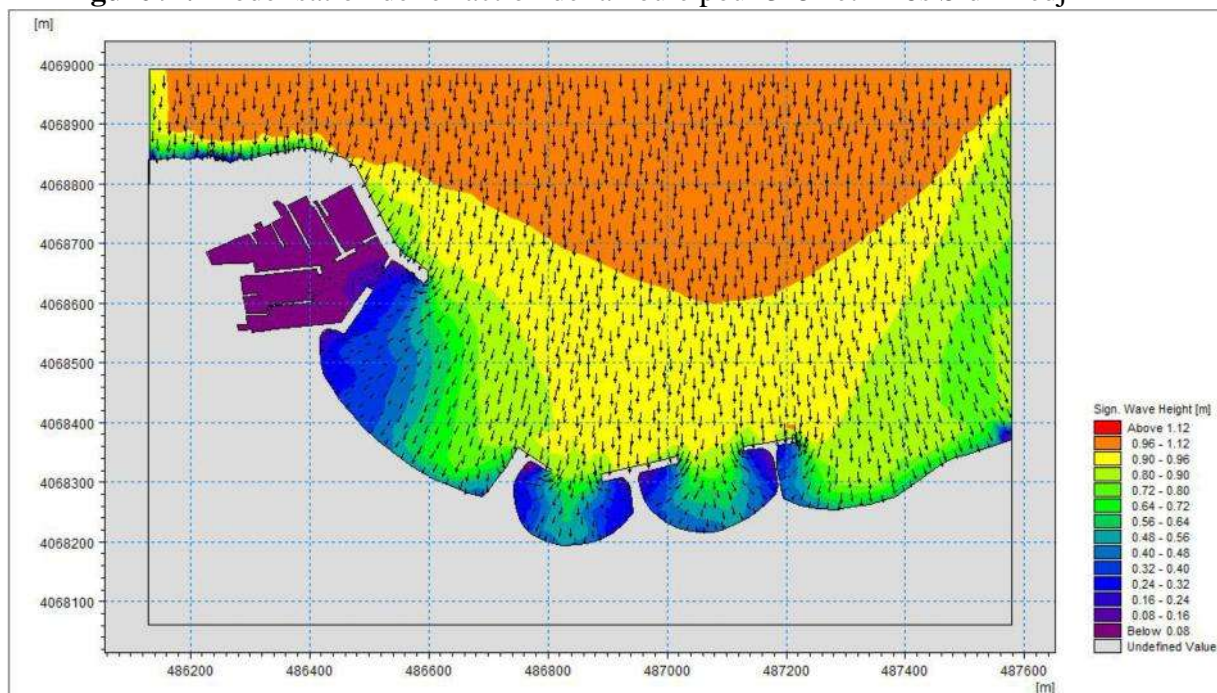


Figure 10 : Modélisation de réfraction de la houle pour 360° et T=6s Sidi Fredj

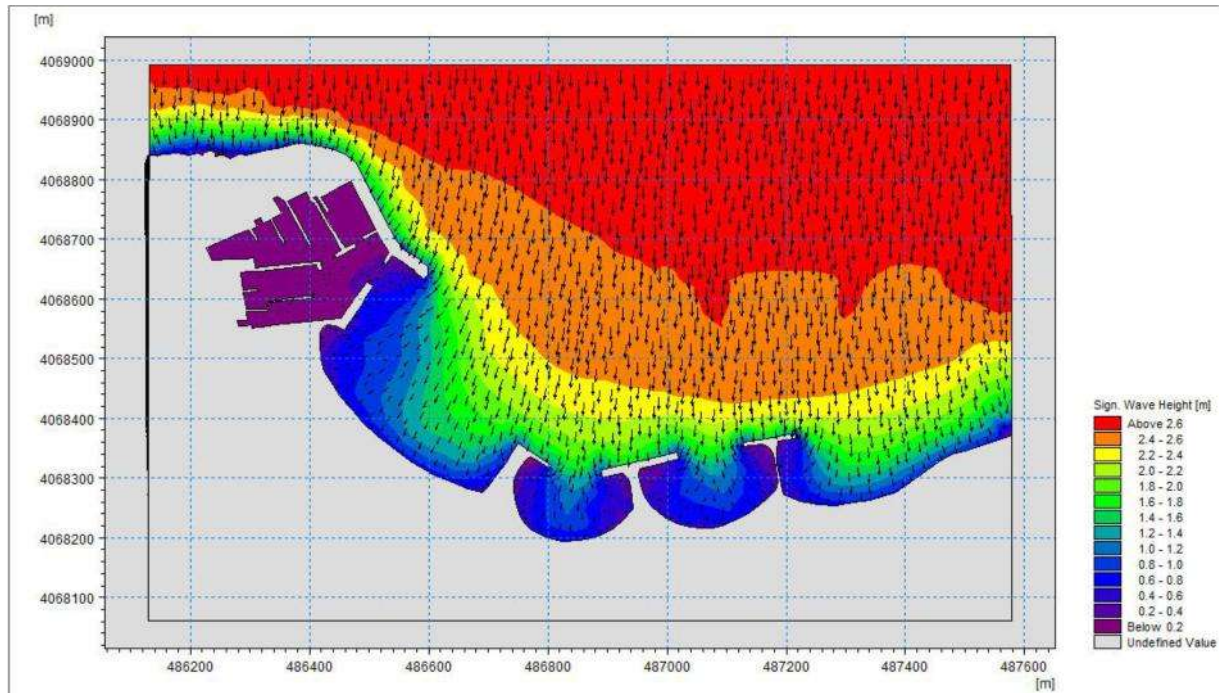


Figure 11 : Modélisation de réfraction de la houle pour 360° et $T=8s$ Sidi Fredj

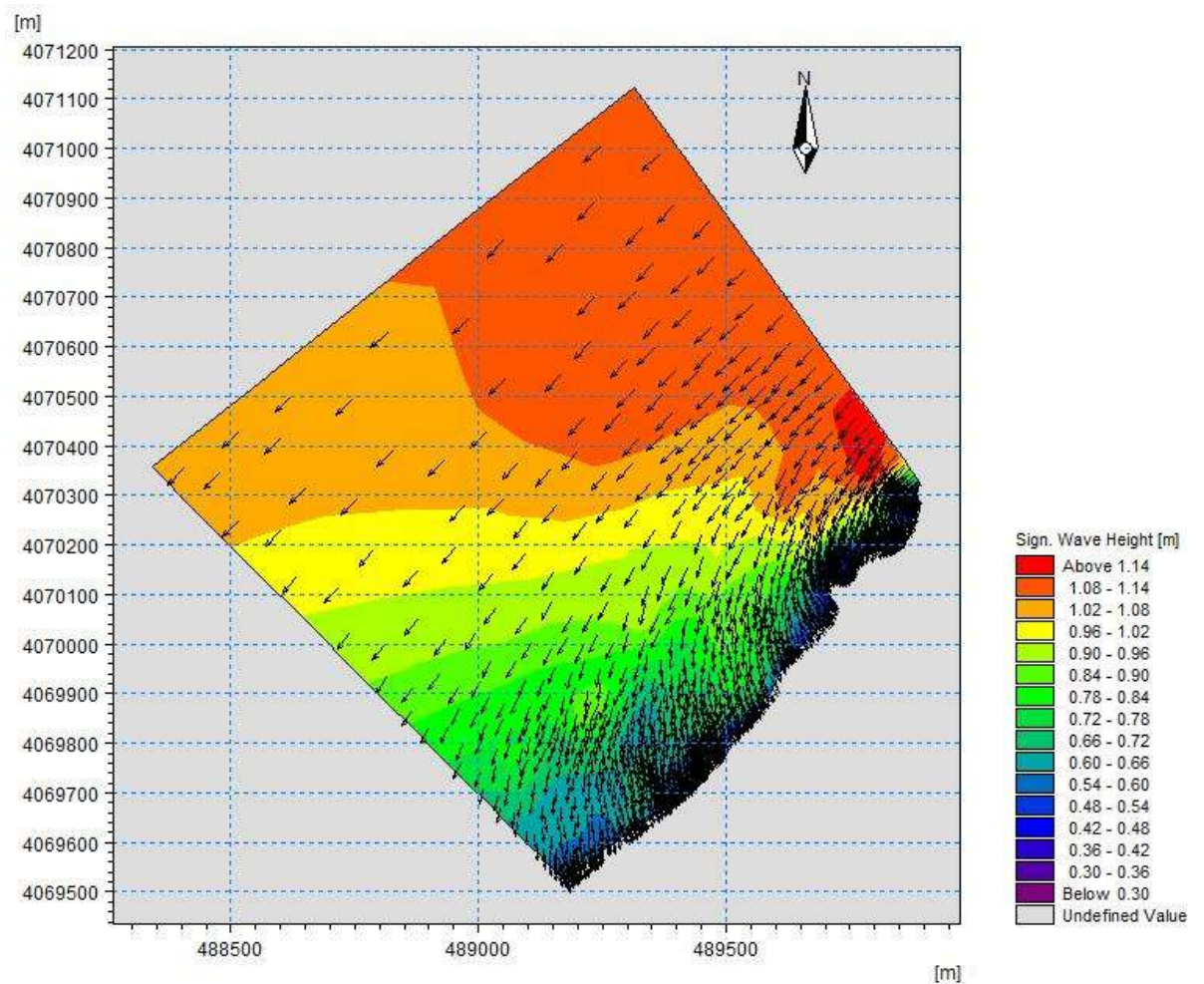


Figure 12 : Modélisation d'une réfraction de houle pour une direction de 45°N, $T_p=6s$ et $H_s=1.09m$ Club des pins 2016

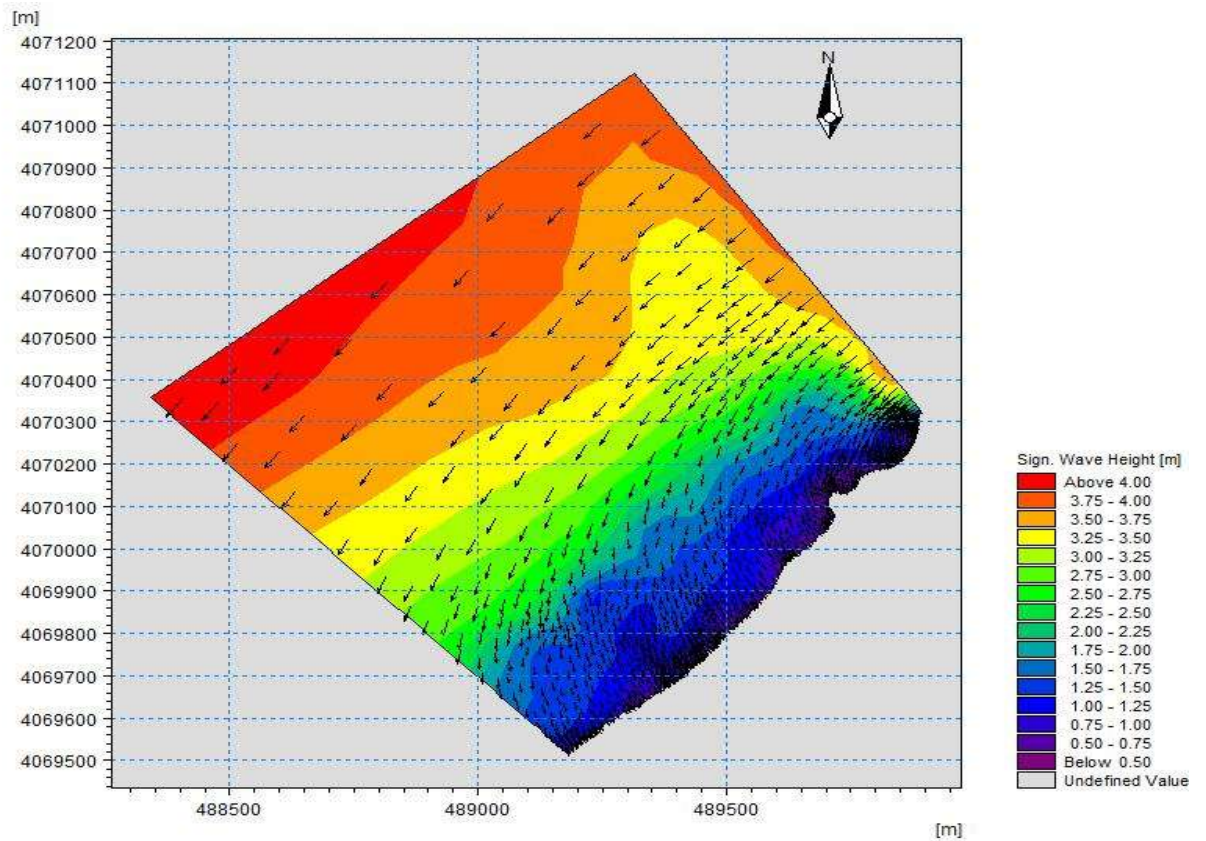


Figure 13 : Modélisation d’une réfraction de houle pour une direction de 45°N, $T_p=10s$ et $H_s=5.05m$ Club des pins 2016

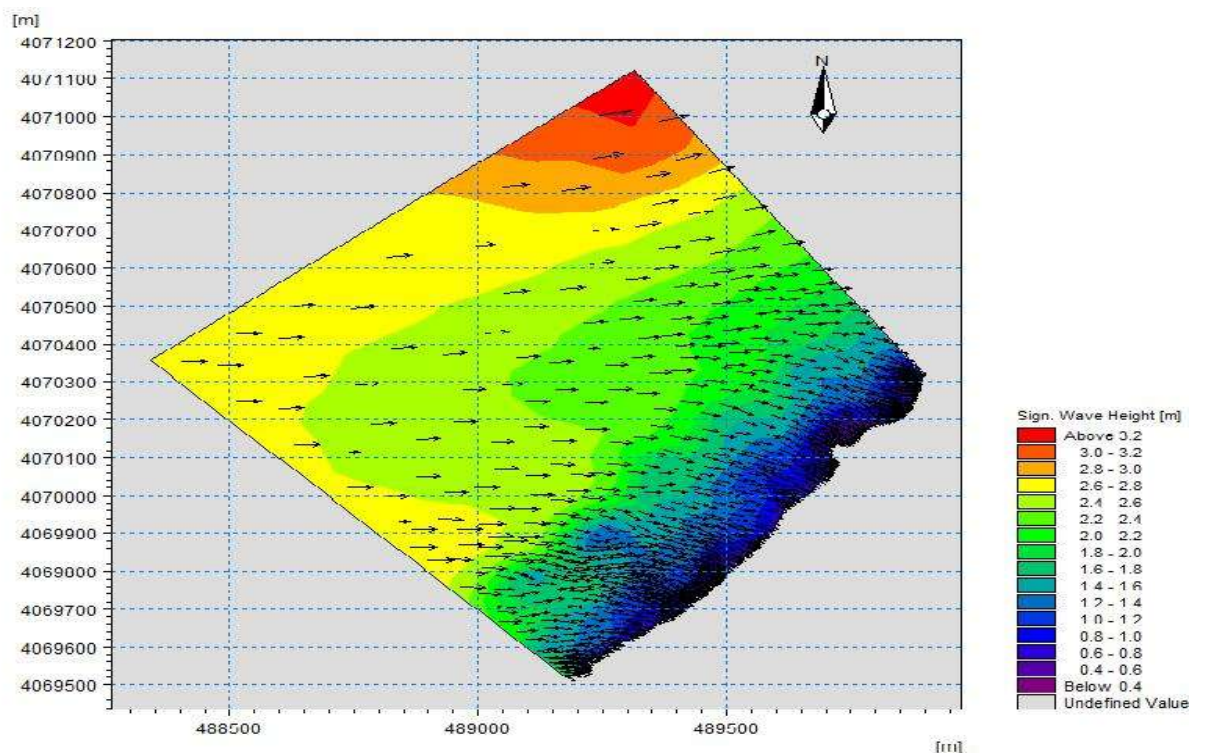


Figure 14 : Modélisation d’une réfraction de houle pour une direction de 270°N, $T_p=8s$ et $H_s=2.67m$ Club des pins 2016.

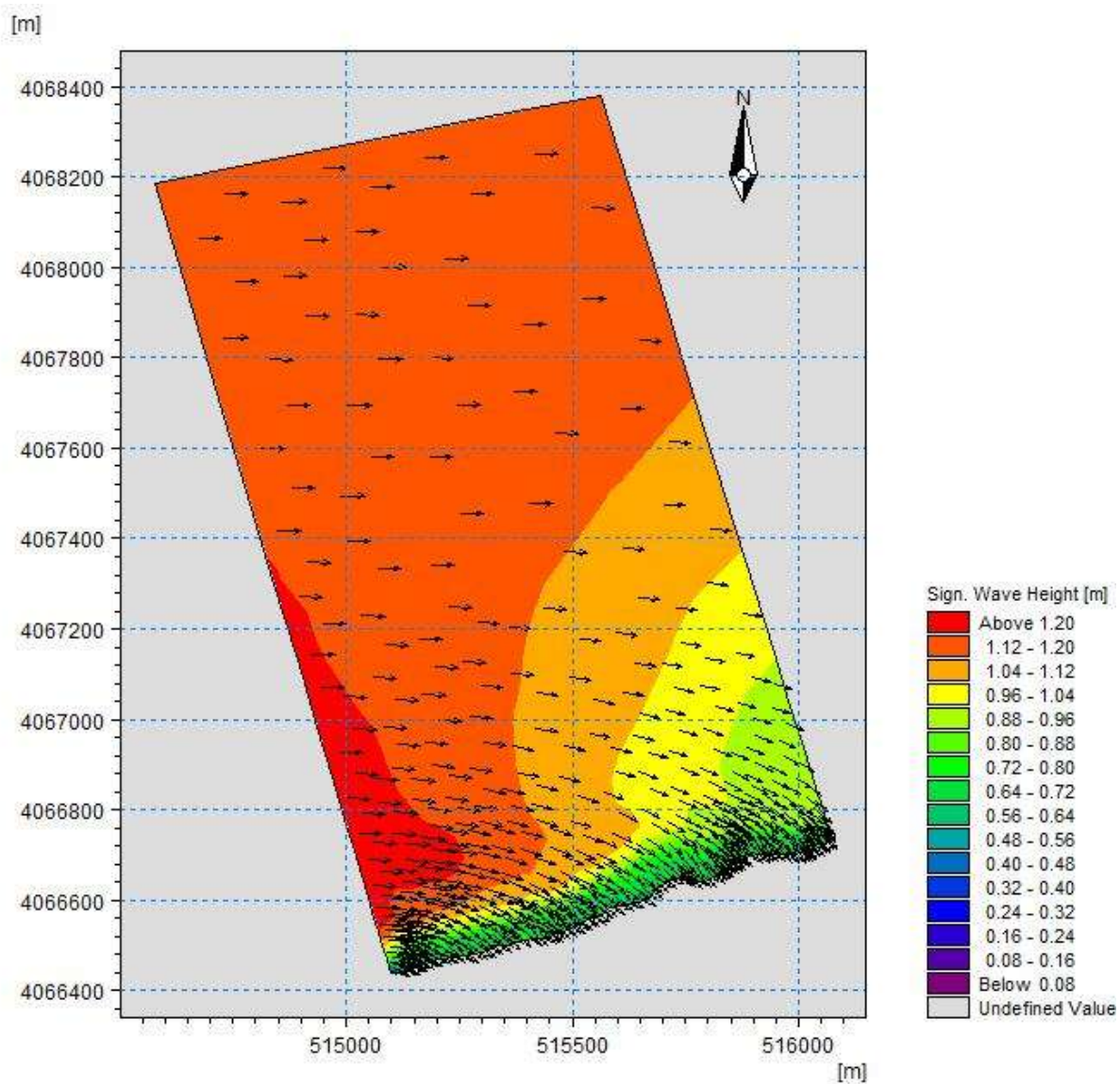


Figure 15 : Modélisation d'une réfraction de houle pour une direction de 270°N, $T_p=6s$ et $H_s=1.19m$ Sirène II.

2- Modélisation des courants :

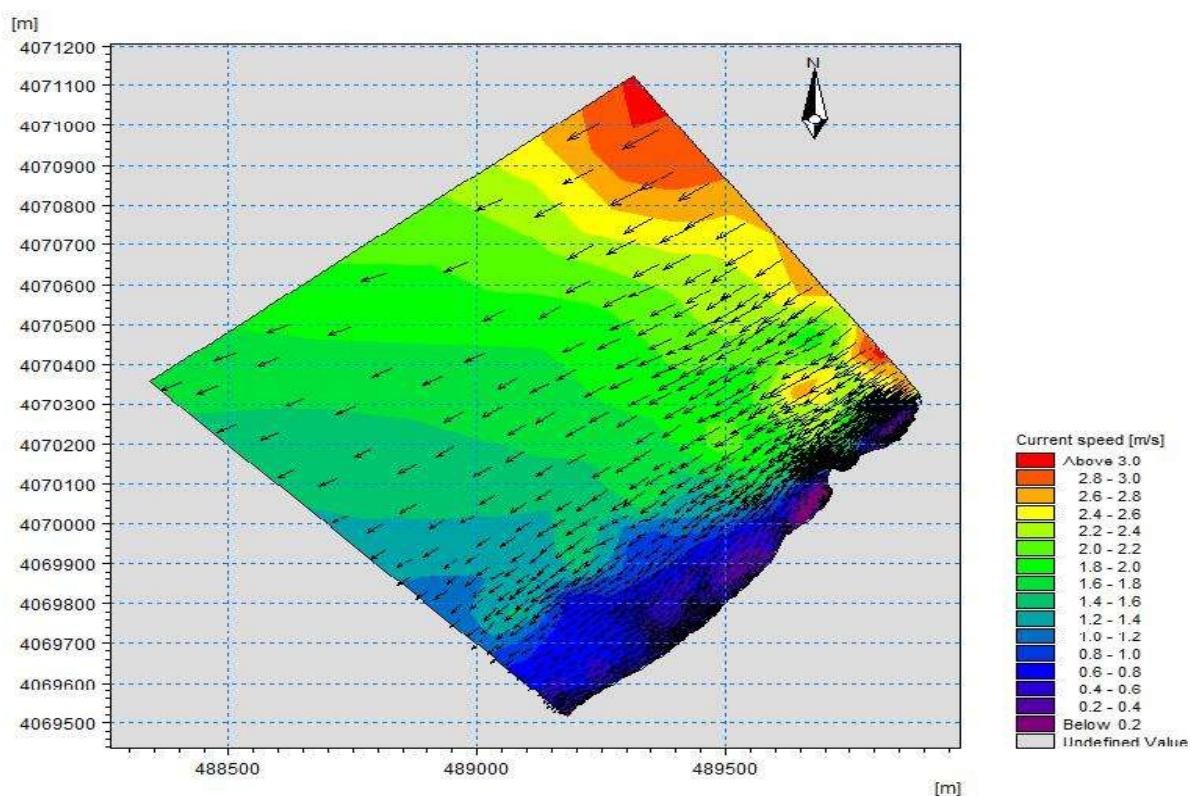


Figure 16 : Modélisation des courants pour une direction de 45°N , $T_p=10\text{s}$ et $H_s=5.05\text{m}$ Club des pins 2016

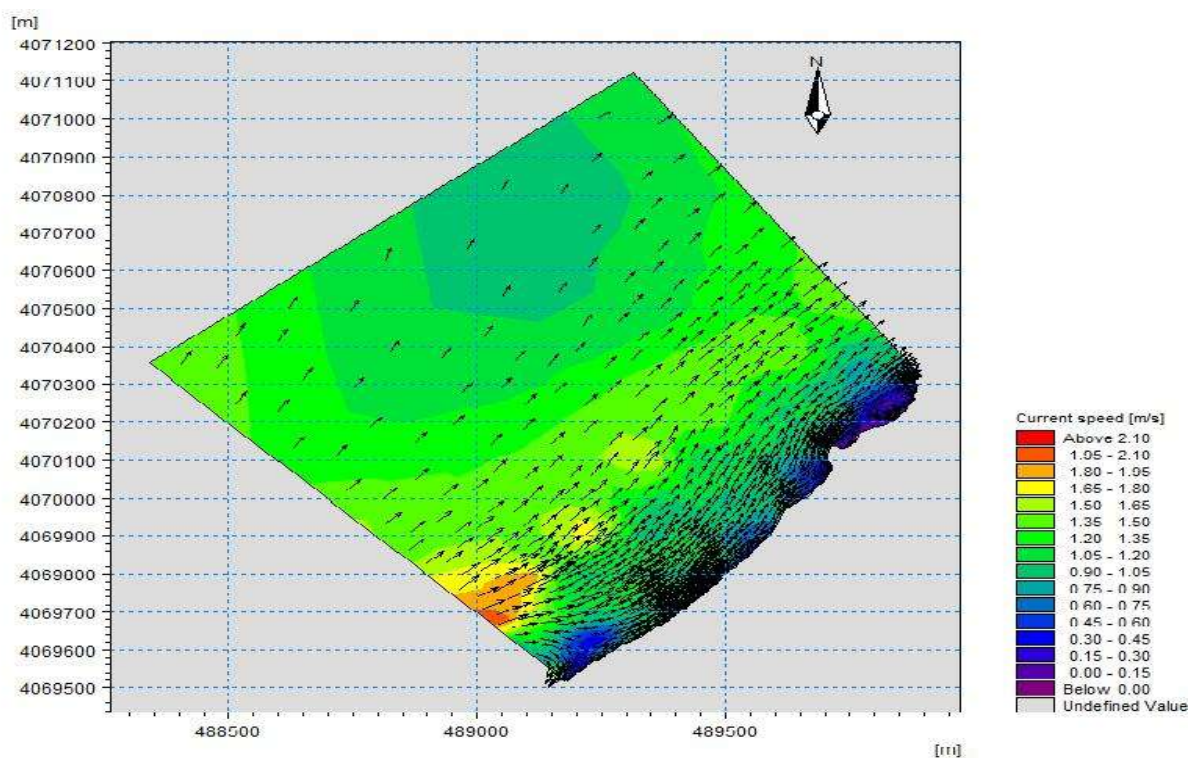


Figure 17 : Modélisation des courants pour une direction de 270°N , $T_p=10\text{s}$ et $H_s=5.54\text{m}$ Club des pins 2016

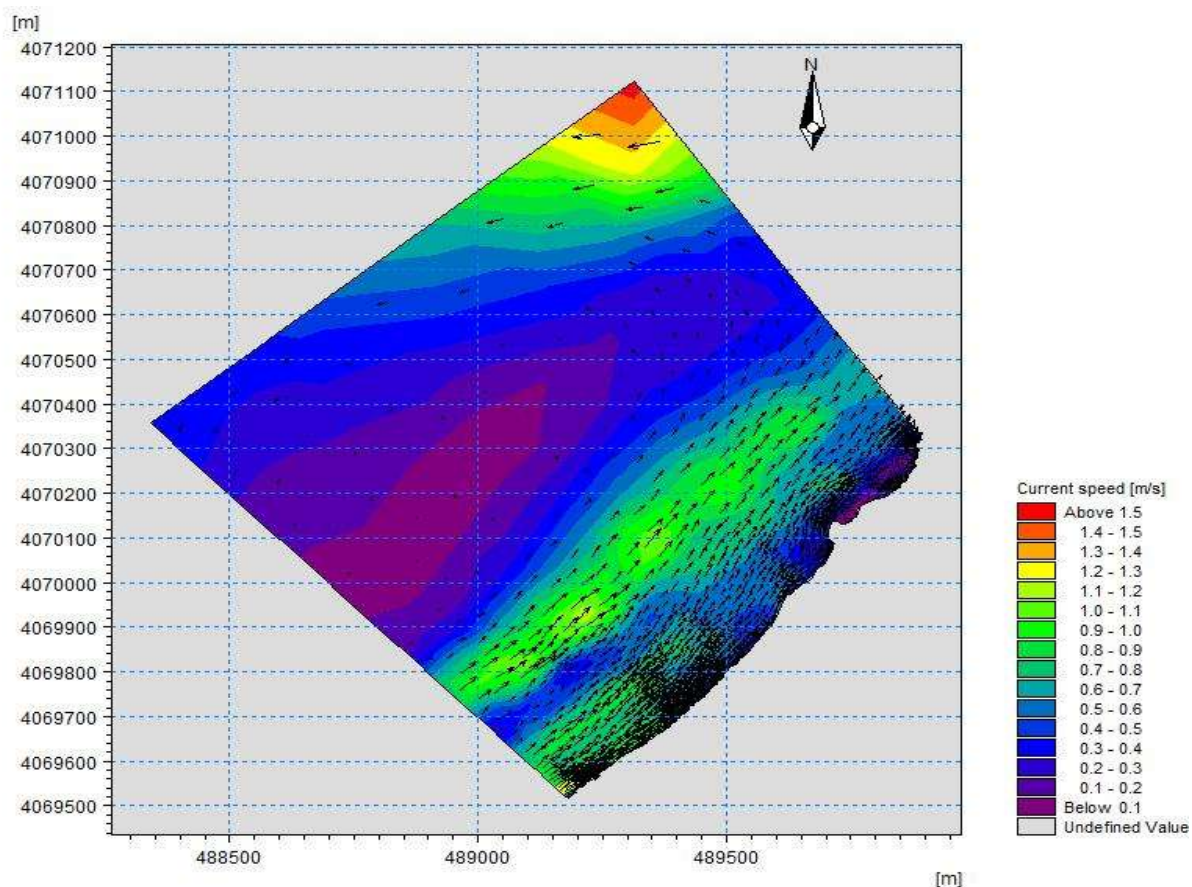


Figure 18 : Modélisation des courants pour une direction de 270°N, $T_p=8s$ et $H_s=2.67m$ Club des pins 2016.

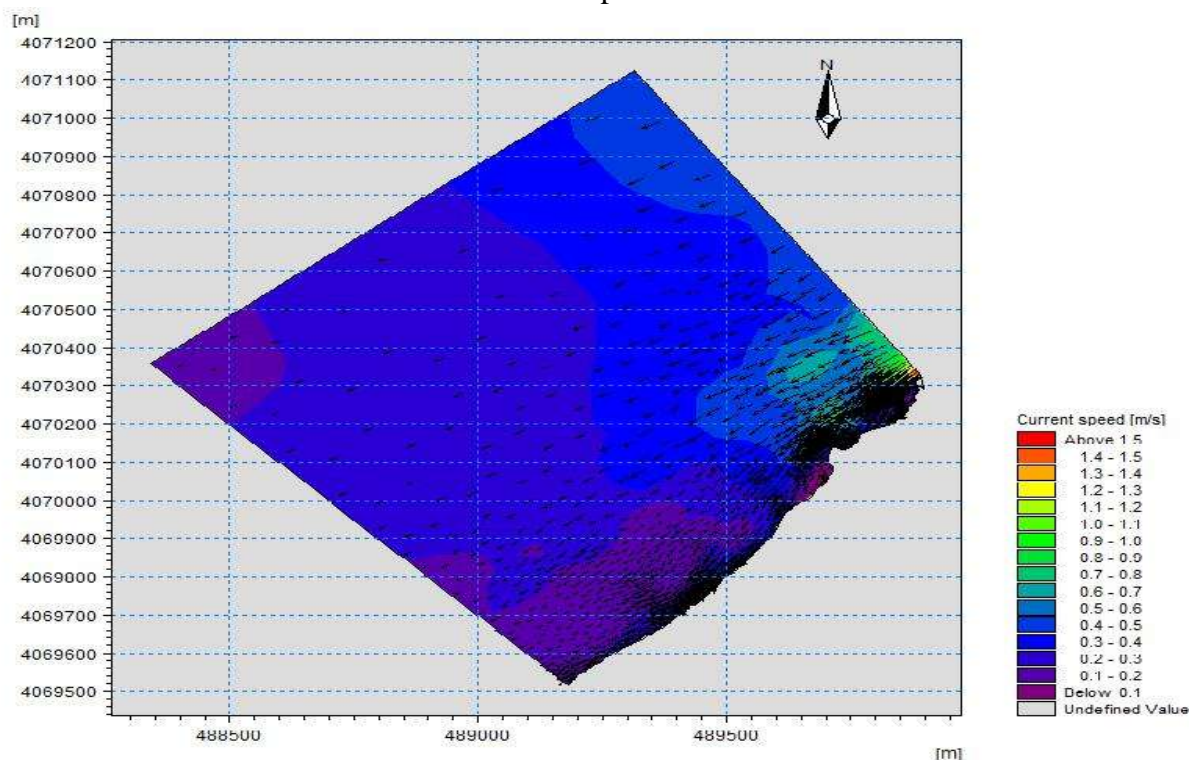


Figure 19 : Modélisation des courants pour une direction de 45°N, $T_p=6s$ et $H_s=1.09m$ Club des pins 2016.

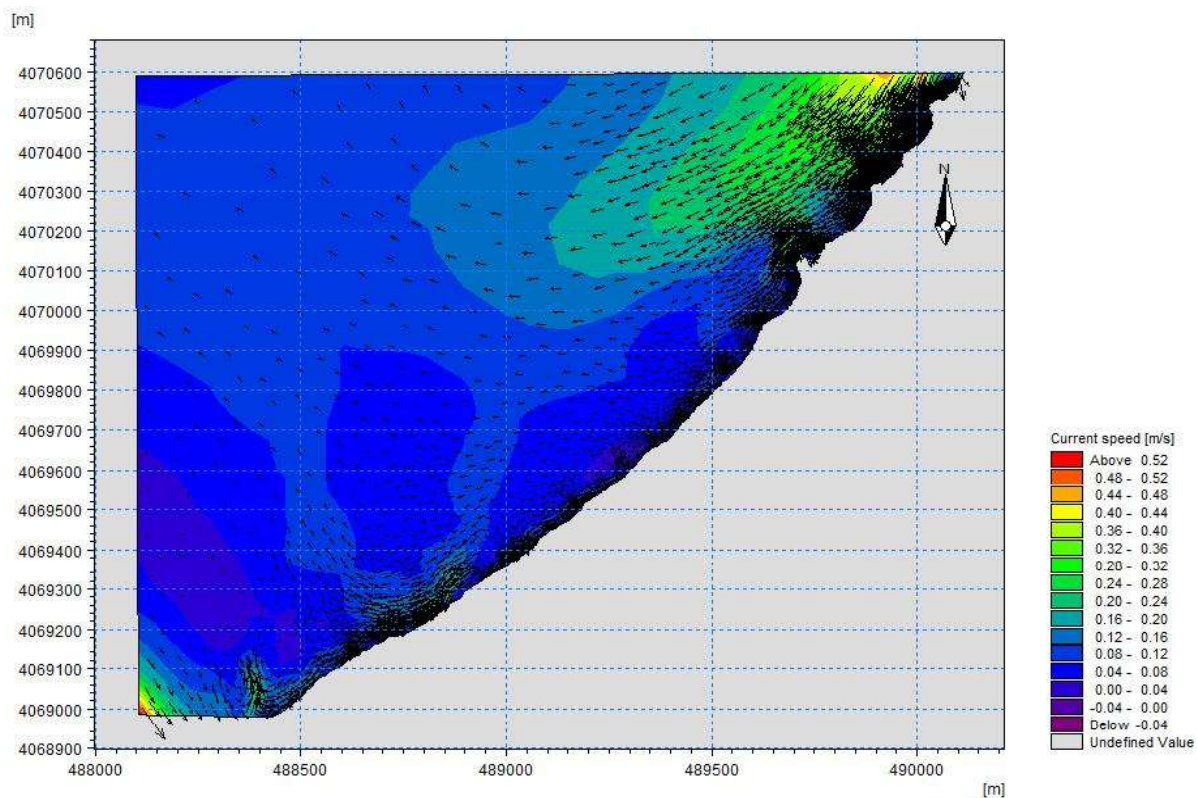


Figure 20 : Modélisation des courants pour une direction de 45°N, $T_p=6s$ et $H_s=1.09m$ Club des pins 2009.

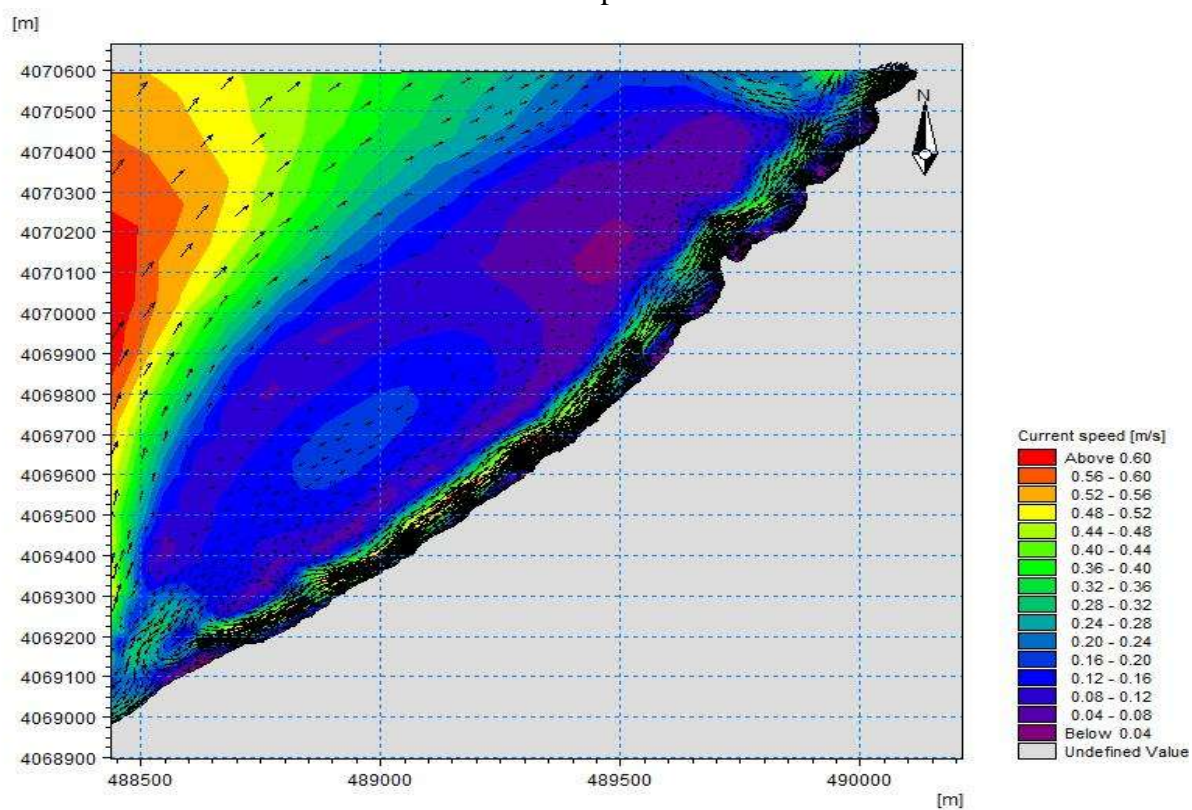


Figure 21 : Modélisation des courants pour une direction de 270°N, $T_p=6s$ et $H_s=1.19m$ Club des pins 2009.

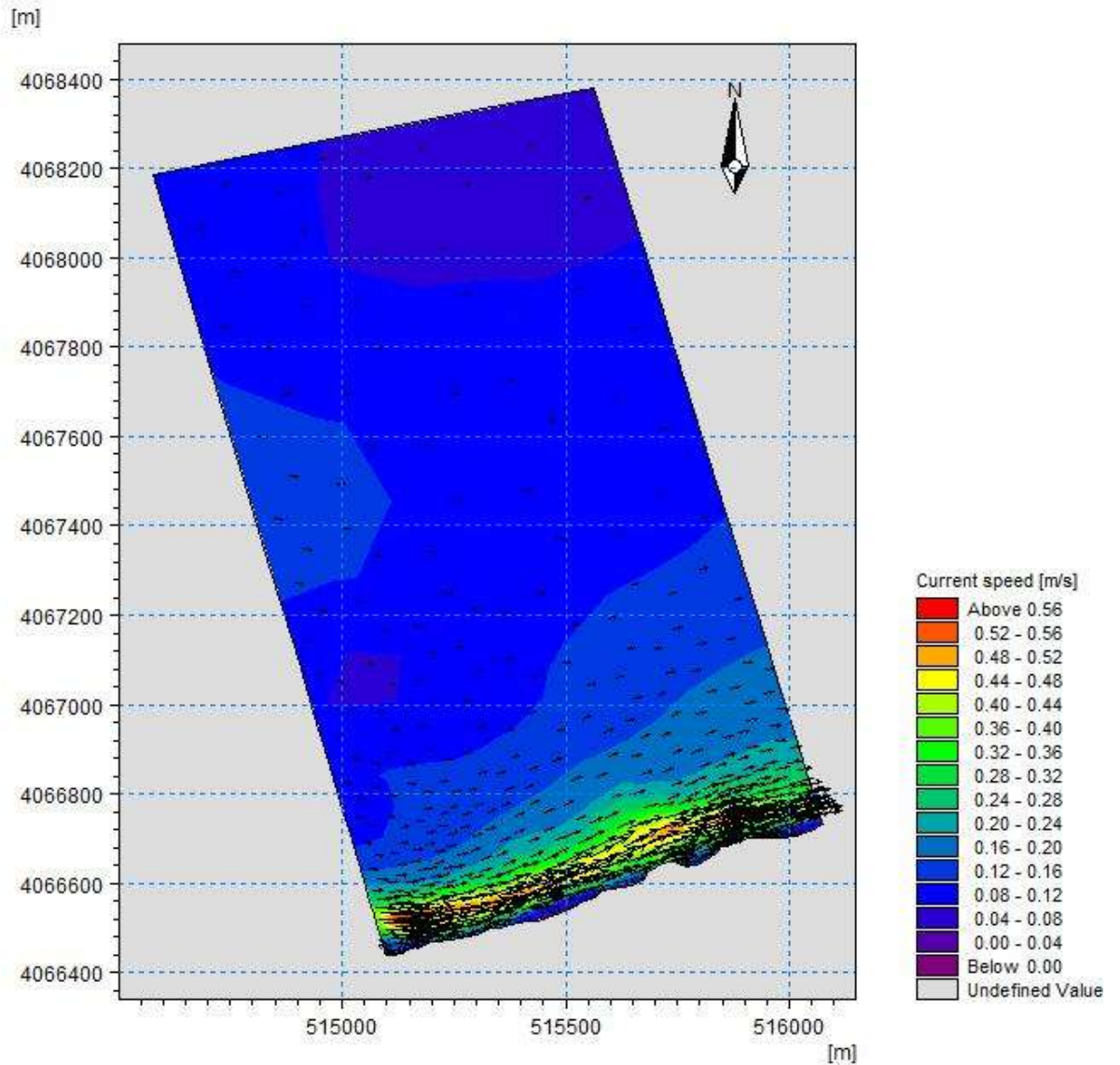


Figure 22 : Modélisation des courants pour une direction de 270°N, $T_p=6s$ et $H_s=1.19m$
Sirène II 2009.

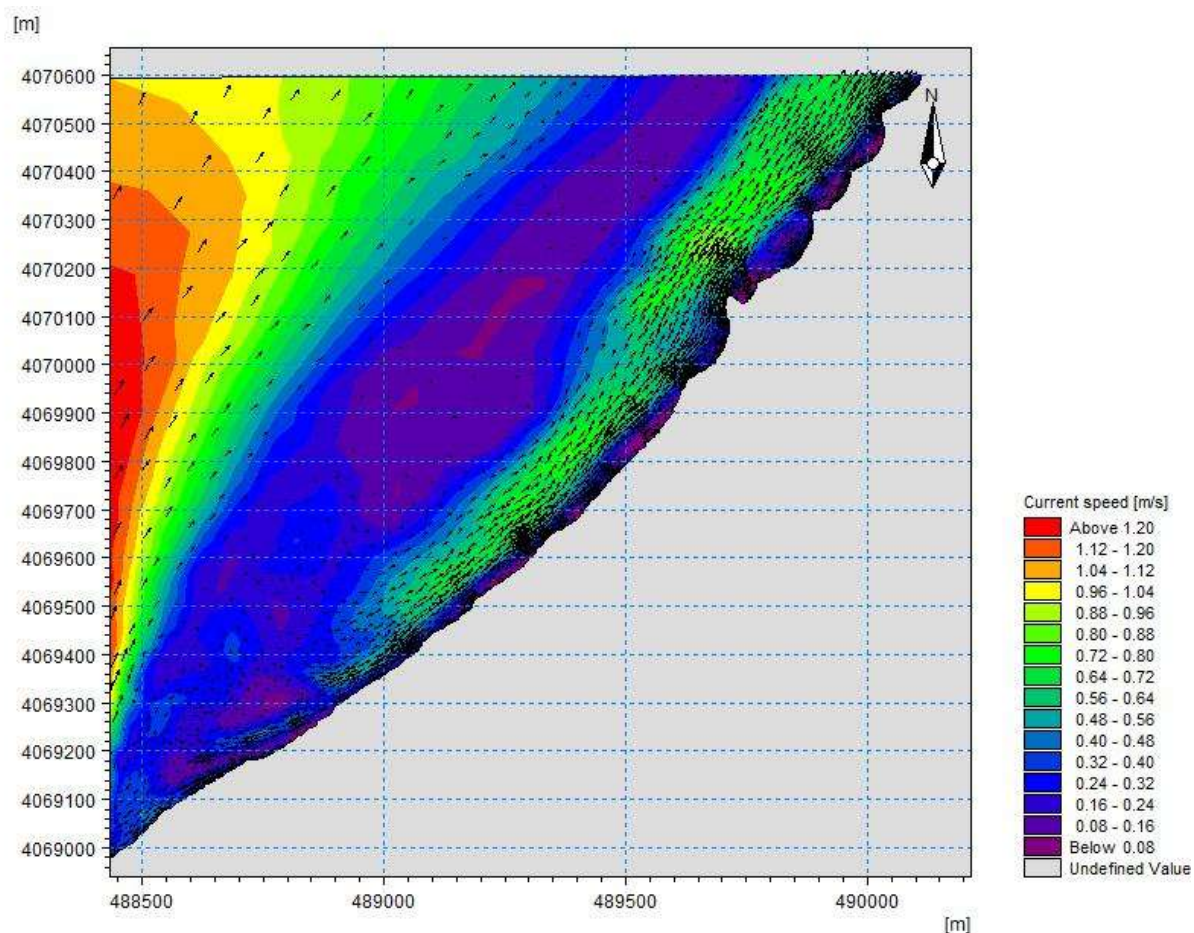


Figure 23 : Modélisation des courants pour direction de 270°N, $T_p=8s$ et $H_s=2.67m$
Club des pins 2009.

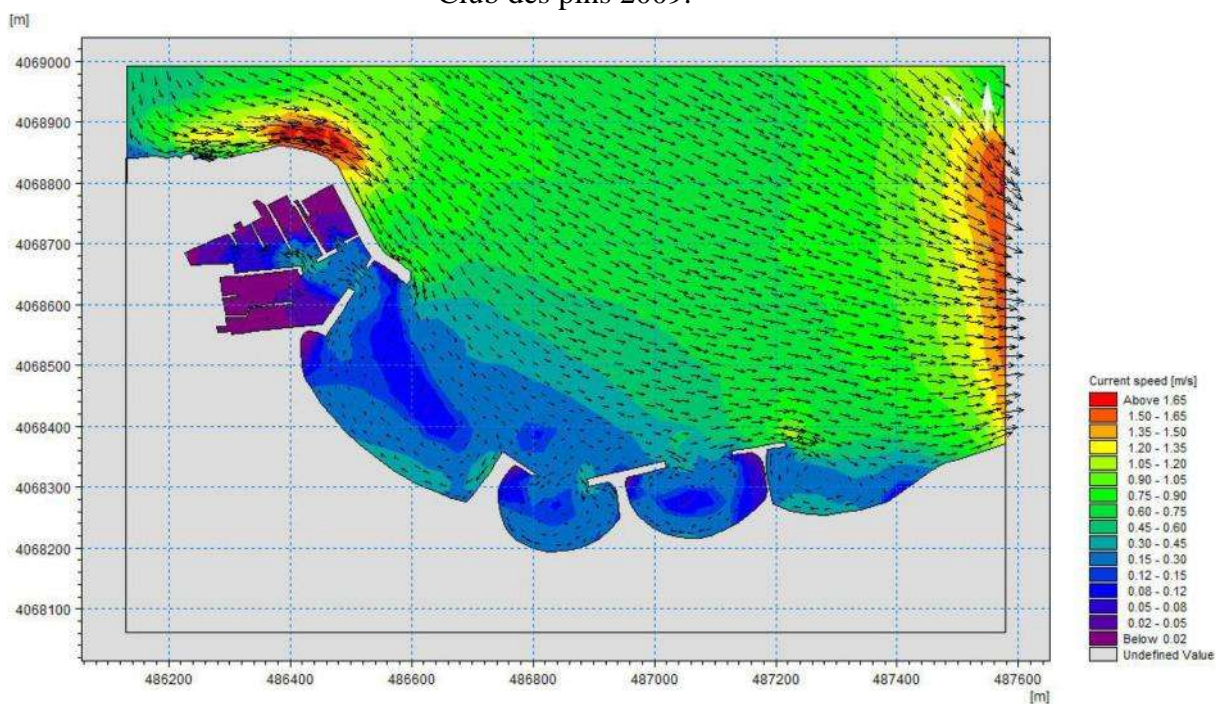


Figure 24 : Modélisation des vitesses des courants pour N315° Sidi Fredj

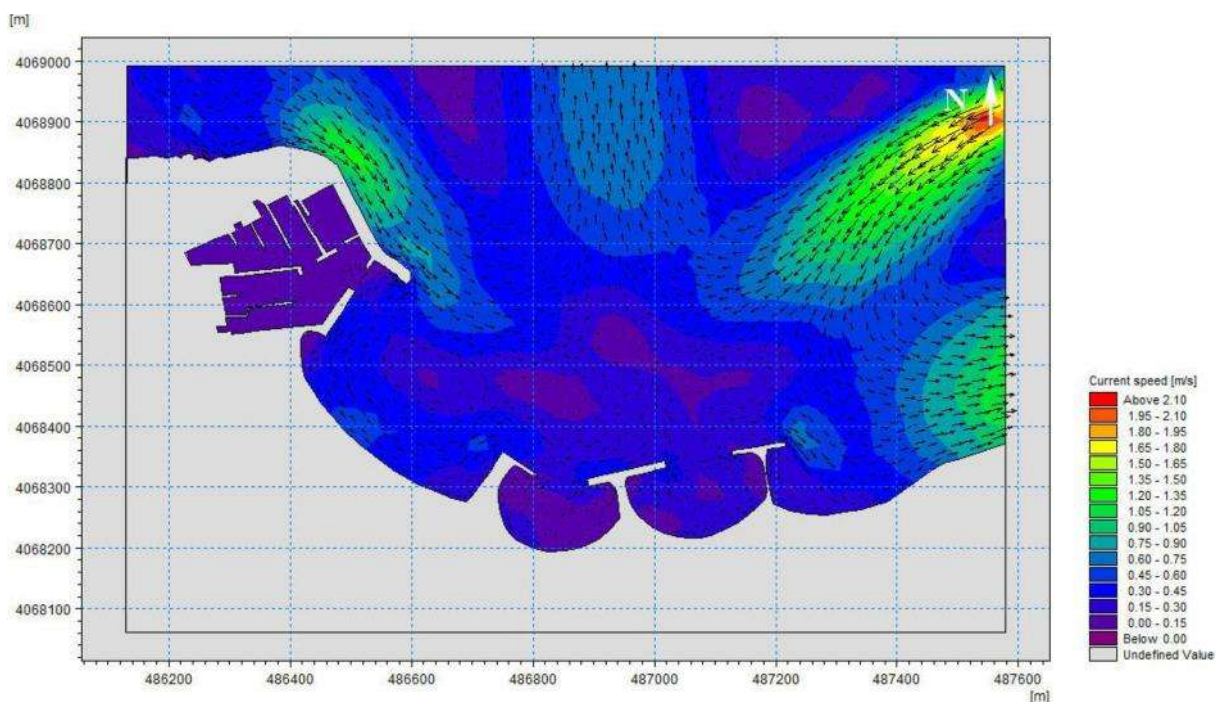


Figure 25 : Modélisation des vitesses des courants pour N360° Sidi Fredj

3- Modélisation du transport sédimentaire :

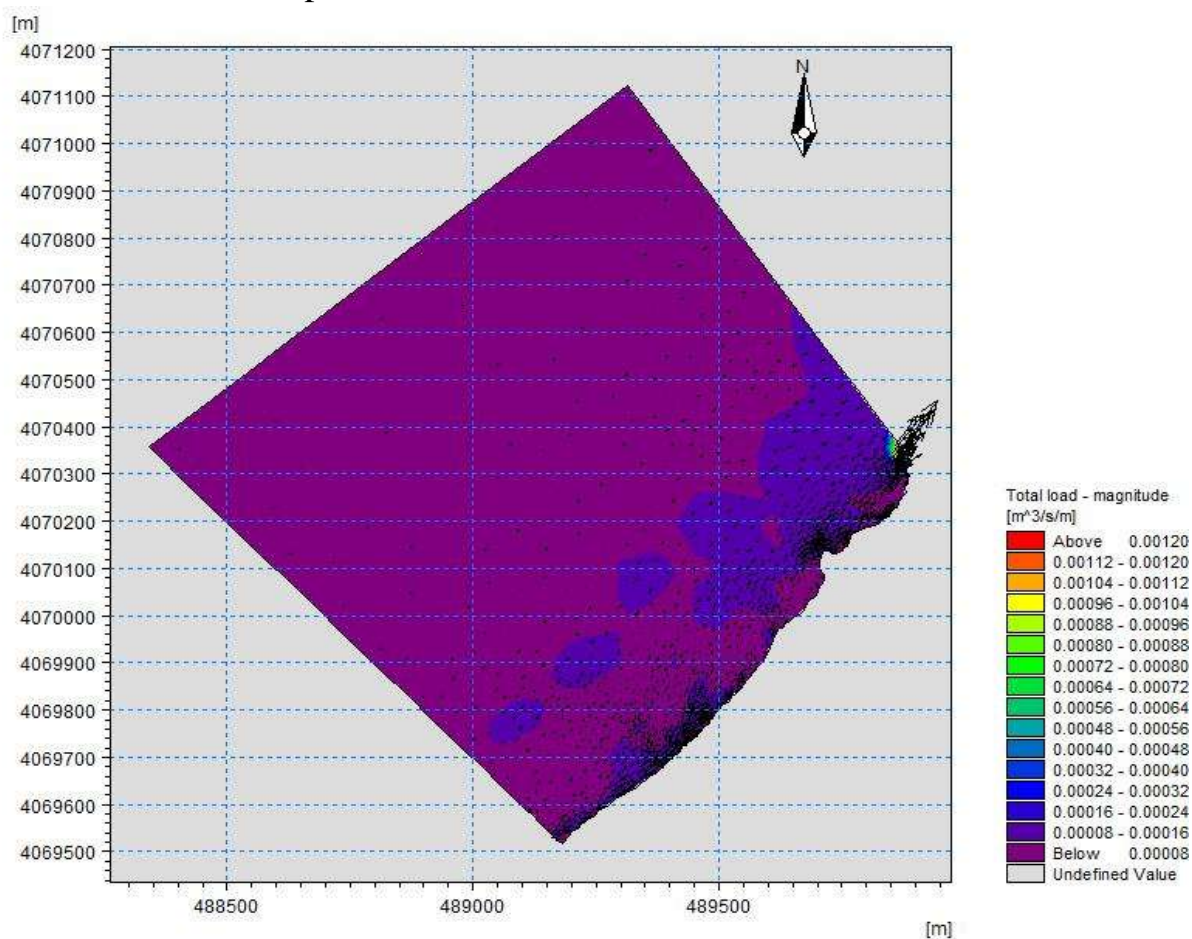


Figure 26 : Modélisation de transport sédimentaire pour une direction de 45°N, $T_p=8s$ et $H_s=2.56m$ Club des pins 2016.

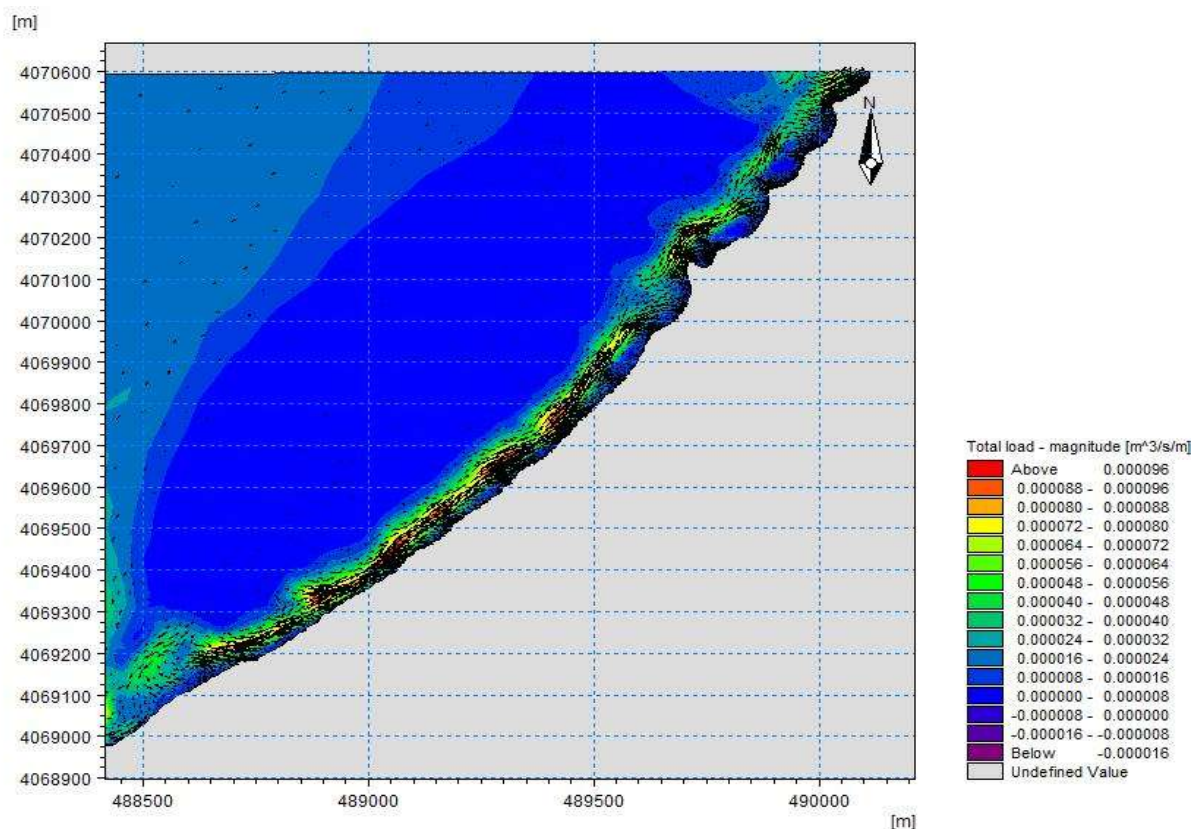


Figure 27 : Modélisation de transport sédimentaire pour une direction de 270°N , $T_p=6\text{s}$ et $H_s=1.19\text{m}$ Club des pins 2009.

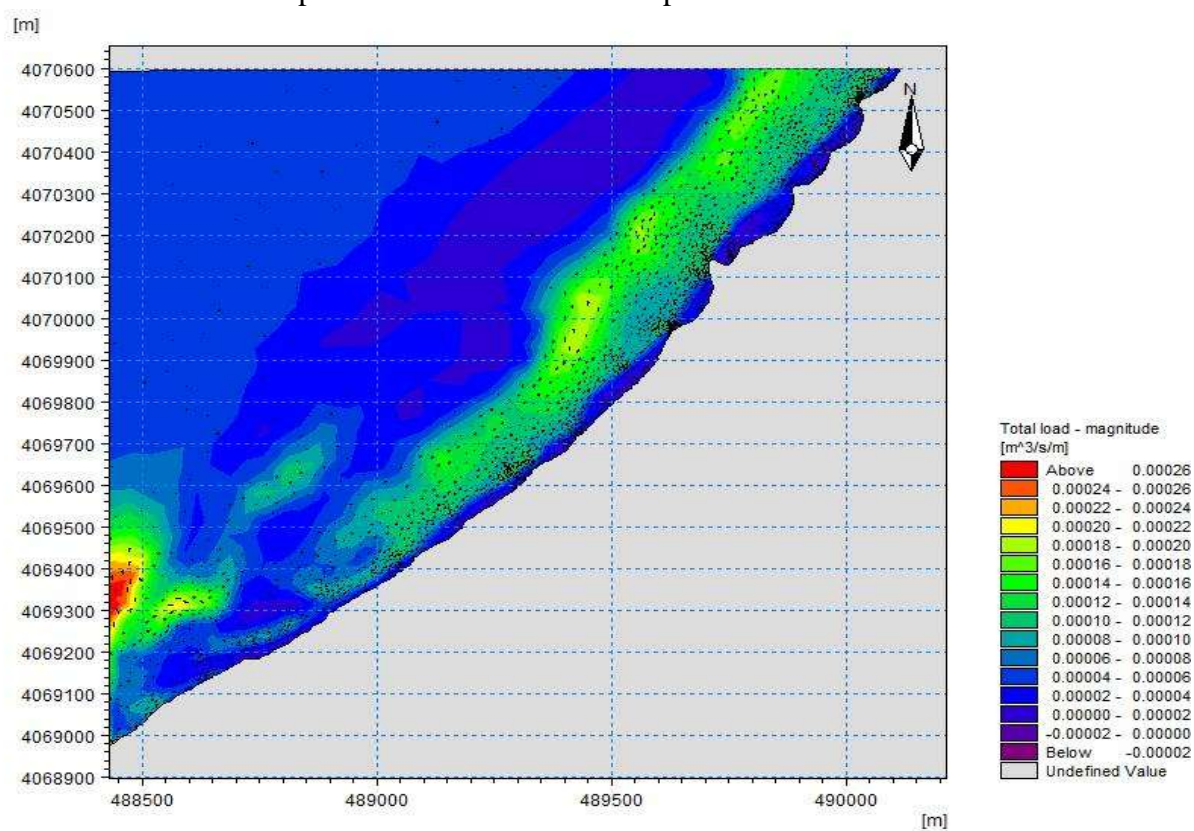


Figure 28 : Modélisation de transport sédimentaire pour une direction 270°N , $T_p=8\text{s}$ et $H_s=2.67\text{m}$ Club des pins 2009.

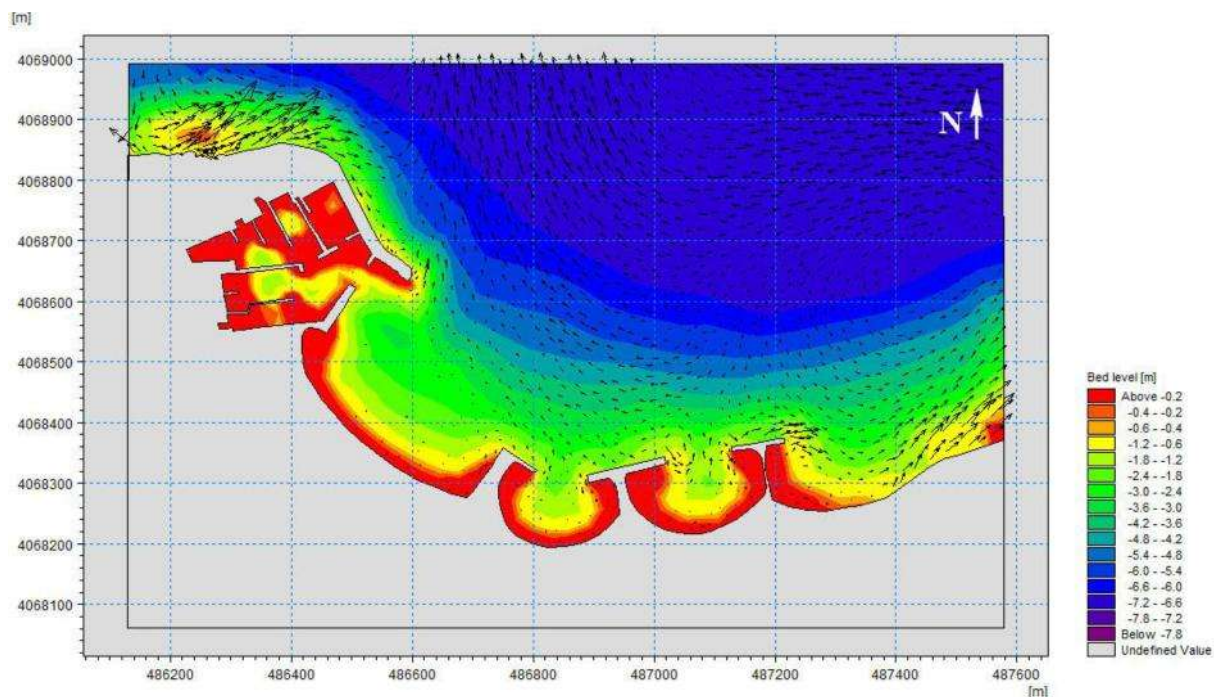


Figure 29 : Modélisation du Transport sédimentaire pour N315° Sidi Fredj

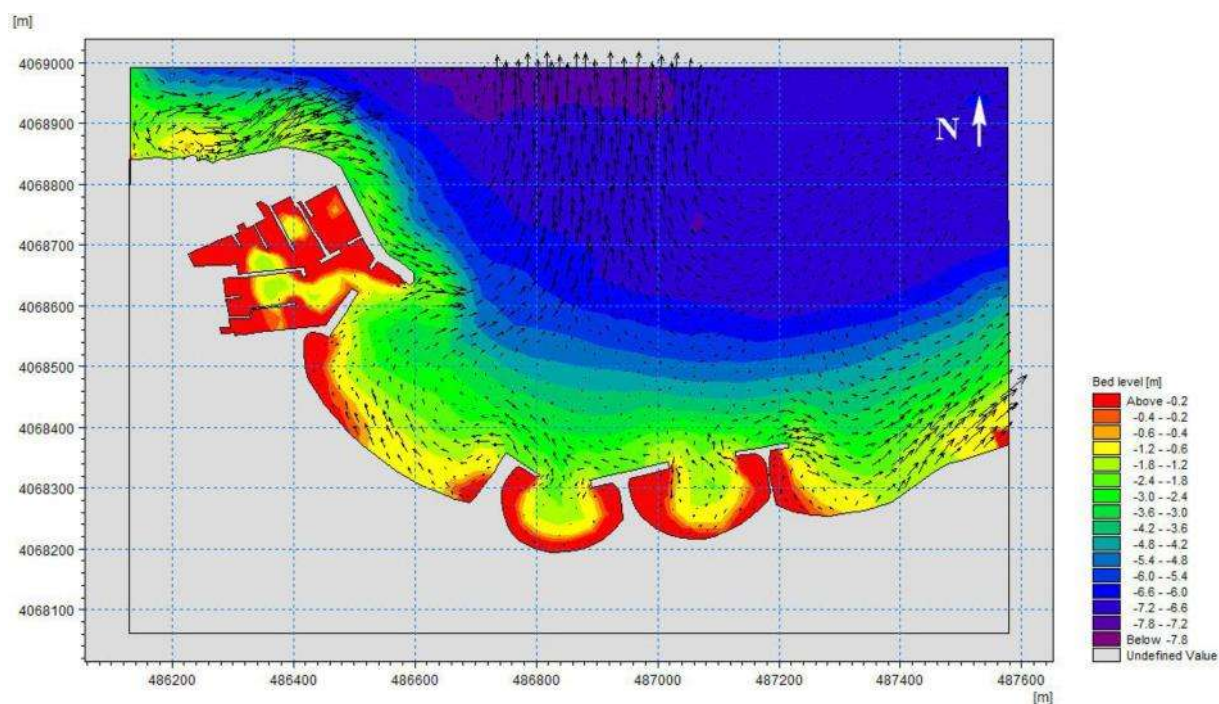


Figure 30 : Modélisation Transport sédimentaire pour N360° Sidi Fredj

Résumé :

De nos jours plusieurs littoraux font fassent à une érosion accrue de leurs côtes, La région algéroise ne fait pas exception à ce phénomène; devant l'érosion active des côtes, les instances gouvernementales ont de plus en plus recours à la mise en place d'ouvrages de protection du littoral. Dans nos zones d'étude, soit le zone Ouest de la baie d'El Djamilia allant du port de Sidi Fredj jusqu'aux ouvrages de protections présents dans la plage de club des pins, et la plage le Lido située au centre de la baie d'Alger témoignent de la présence d'ouvrages portuaires, épis en T et en L ainsi que des brise-James immergés.

Or, ces infrastructures de protection du littoral sont tenues responsables de modifications des systèmes côtiers. Ces impacts se répercutent à la fois sur l'évolution de la ligne de rivage et sur la géomorphologie sous-marine ainsi que les débits de transit sédimentaire. L'objectif du présent mémoire est d'évaluer l'effet d'ouvrages de protection sur l'évolution historique de la ligne de côte et sur les caractéristiques morphologiques et morphodynamiques des côtes.

Pour pouvoir faire une comparaison entre un état vierge et un état artificialisé, l'outil de modélisation numérique MIKE21 et l'extension DSAS du progiciel arcGIS ont été utilisés.

Les résultats obtenus ont démontré que les ouvrages de protections ont localement accomplis les résultats escomptés mais qu'ils ont aussi causé des dégâts considérables dans les régions attenantes.

Mots clés: Plage, érosion, ouvrage de protection, ports, modélisation numérique.

Abstract :

Today several coastlines are faced with an increased erosion of their coasts, the Algiers area is no exception to this phenomenon; to deal with this issue, the government is increasingly resorting to coastal protection structures. Our study zones, in the western area of ElDjamila Bay, spanning from the Port of SidiFredj to the protection structures on the Beach of "Club des Pins" and Lido Beach in the center Algiers' Bay, present various harbor works, T and L groynes as well as submerged breakwaters.

Key words: Beach, erosion, protection structure, ports, numerical modeling.

ملخص :

وتواجه اليوم عدة خطوط ساحلية زيادة تآكل سواحلها، ولا تعد منطقة الجزائر استثناء لهذه الظاهرة؛ للتعامل مع هذه القضية، تلجأ الحكومة بشكل متزايد إلى هياكل حماية السواحل. مناطق الدراسة لدينا، في المنطقة الغربية من خليج جميلة، تمتد من ميناء سيدي فريدي إلى هياكل الحماية على شاطئ "نادي دبابيس" و ليدو بيتش في وسط خليج الجزائر، وتقدم مختلف أعمال الميناء، T و L غروبنس وكذلك مياه الصرف الصحي المغمورة.

ومع ذلك، فإن هذه البنى التحتية للحماية الساحلية مسؤولة عن تغيير النظم الساحلية. وهي تؤثر على كل من تطور الشواطئ والحيومورفولوجيا تحت الماء، فضلا عن تدفقات عبور الرواسب. والهدف من هذه الورقة هو تقييم تأثير الهياكل الوقائية على التطور التاريخي للساحل وعلى الخصائص المورفولوجية المورفوديناميكية للسواحل.

من أجل إجراء مقارنة بين حالة البكر وحالة اصطناعية، تم استخدام أداة النمذجة MIKE21 وتمديد دساس للبرامج أركجيس.

وتبين النتائج أن الهياكل الأساسية للحماية حققت النتائج المتوقعة ولكنها تسببت في أضرار كبيرة في المناطق المجاورة.

الكلمات المفتاحية: الشاطئ، التعرية، هيكل الحماية، الموانئ، النمذجة العددية.