

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



**Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme
D'Ingénieur d'état en Sciences de la Mer
Thème :**

***Modélisation Numérique de la morphodynamique sédimentaire et de la
cinématique du trait de côte Chenoua plage, willaya de Tipaza.***

Présenté par :
NEMICHE Nour Elhouda

TARI Halima

Soutenu le 25/09/2018 devant le jury composé de :

Mme. BOURABAIN F.	Maitre-assistant A	ENSSMAL	Présidente
M. MEZOUAR K.	Maitre de conférences A	ENSSMAL	Promoteur
Mme. MAHDID S.	Maitre-assistant A	ENSSMAL	Examinatrice
M. BOUAICHA F.	Maitre-assistant A	ENSSMAL	Examineur

Promotion 2017/2018

A decorative border with a repeating floral pattern of small flowers and leaves, framing the entire page. The corners are adorned with larger, stylized floral motifs.

Remerciements

Nous tenons en premier lieu à remercier "Allah" de nous avoir donné la force et le courage jusqu'à l'aboutissement de nos études, et l'accomplissement de ce modeste travail.

*Nous tenant, tout particulièrement, à remercier notre promoteur **M.MEZOUAR K**, Maitre de Conférences A, à l'ENSSMAL pour sa gentillesse, sa patience, son aide et ses suggestions qui ont été pour nous d'un grand rapport.*

*Nos sincères remerciements s'adressent à **Mme BOURABAIN F**, Maitre-Assistant A à l'ENSSMAL d'avoir fait l'honneur de présider le jury.*

*Un grand merci à **Mme MAHDID S**, Maitre-Assistant A à l'ENSSMAL d'avoir accepté d'examiner ce travail.*

*Un grand merci à **M BOUAICHA F**, Maitre-Assistant A à l'ENSSMAL d'avoir accepté d'examiner ce travail.*

Nous exprimons aussi notre reconnaissance au personnel de la bibliothèque et tous les enseignants de l'ENSSMAL.

Nous remercions aussi toutes les personnes qui ont contribuées et participées de près ou de loin à nos recherches et à l'élaboration de ce modeste mémoire.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à

*Mes chers parents qui aucune dédicace ne saurait témoigner de mon profond amour que
je ressens pour eux.*

*Je les remercie infiniment pour leurs soutiens durant toutes ma vie en générale et mon
cursus universitaire en particulier et que dieu les gardes pour moi.*

A mes chers frères et mes sœurs,

A tous mes amis avec lesquels j'ai partagé tous les moments agréables,

En fin je dédie ce travail à toutes les personnes que j'aime.

Nour Elhouda

*Je dédie ce travail à toutes mes pierres de la famille, et surtout à ma très chère et adorable
Maman, tous les mots du monde ne sauraient exprimer l'immense amour que je te porte, ni la
profonde gratitude que je te témoigne pour tous les efforts et les sacrifices que tu n'as jamais
cessé de consentir pour mon instruction et mon bien-être. A tous mes frères et mes sœurs.*

*A mon marie Nour Eddine, qu'il trouve ici l'expression de ma profonde reconnaissance pour
sa présence à mes côtés, pour sa patience, ses encouragements, et pour son aide précieuse. Et
toute sa famille Bouneb.*

*Pour l'ensemble de mes amis Aida, Nowari, Houdati, Aicha, Nawal, Bakhta et tous ceux qui
connaissent de loin ou à proximité.*

Halima



LISTE DES ACRONYMES

A.N.R.H : Agence National des Ressources Hydrique

D.H.I: Danish Hydraulics Institute

D.S.A.S: Digital Shoreline Analysis System.

Dh : La distance horizontale du Littoral.

E.S.R.I: Environmental Systems Research Institute

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

H.D : Hydrodynamic Module

Hs : Hauteur significative

I.N.C.T : Institut National de Cartographie et de télédétection

Km : Kilomètre

L.E.M : Laboratoire des Essais Maritimes

m : Mètre

m/an : Mètre par an

m³: Mètre cube

N: Nord

NCEP: national centers for environment and prediction

NOAA: national oceanic and atmospheric administration

N.S.M: Net Shoreline Movement

NW : Nord-Ouest

O.N.M : Office National de Météorologique

S.I.G : Système d'Information Géographique.

S.S.M.O: Summary of Synoptic Meteorological Observations

S.T: Send Transport Module

S.W: Spectral Wave Module

SE : Sud-Est

SW : Spectral wave

U.T.M: Universal Time Mercator.

W.G.S: World Geoid System

WWIII : Wave Watch 3

Z : Altitude

LISTE DE FIGURE

Figure I.1 : Profil d'une plage avec ses différentes composantes (Bonté, 2013 in Khalfani, 2014).....	6
Figure I.2 : Schématisation d'un système morphodynamique.....	8
Figure I.3 : Relation spatio-temporelle des systèmes morpho-dynamique côtiers (in Aurélie DEHOUCK, 2006).....	9
Figure I.4 : La zone littorale et des échelles de temps impliquées dans sa dynamique (d'après Cowell et al. 1999 modifié par Dehouck (2006)).....	10
Figure I.5 : Classification morphodynamique des plages.....	11
Figure I.6 : La propagation des vagues du large jusqu'à la côte (THAN V, 2015).....	12
Figure I.7 : Grandeurs caractéristiques de la houle (Grasso F, 2009).....	13
Figure I.8 : Propagation des vagues de large à la côte.....	14
Figure I.9 : La propagation de la houle dans la zone proche de la côte (THAN V, 2015).....	14
Figure I.10 : Les différents modes de transport sédimentaires.....	15
Figure II.1 : Situation géographique de la zone d'étude.....	21
Figure II.2 : Carte de la morphologie sous-marine de la baie de Bou Ismail et de baie (Leclair, 1973).....	22
Figure II.3 : sédimentologie de la baie de Bou Ismail (GRIMES, 2003).....	23
Figure II.4 : Carte géologique détaillée de la région de Chenoua, tirée et modifiée à partir de la carte géologique de Tipaza, l'échelle 1/50000 (A.N.R.H, 1952).....	24
Figure II .5 : Le mont de Chenoua 2018.....	25
Figure II .6 : Moyennes mensuelles des températures de 2006-2015 dans la région de Bouharoun.....	26
Figure II .7 : Moyenne mensuelle des précipitations de 2006-2015 dans la région de Bouharoun.....	27
Figure II.8 : Moyennes mensuelles des vitesses des vents de 2006-2015 dans la région de Bouharoun...	29
Figure II.9 : Réseau hydrographique de la baie de Bou-Ismaïl.....	30
Figure II. 10 : Rose trimestrielle et annuelle du vent, source des données (MEDATLAS) en (1994-2004), S.BOUAKLINE.....	33
Figure II.11 : Roses trimestrielles et annuelle des houles. Source de données : « MEDATLAS, (1994-2004) ».....	34
Figure II.12 : Carte de la dynamique sédimentaire dans la baie du Chenoua.....	39
Figure III.1 : Etapes de modélisation Mike 21 : FM MIKE21/3 couplé.....	40
Figure III.2 : Emprise et maillage du modèle côtier de la Baie de Bou-Ismaïl.....	43
Figure III.3 : Carte bathymétrique de la Baie Bou-Ismaïl.....	44
Figure III.4 : Carte bathymétrique de la zone d'étude.....	45
Figure III.5 : Champs de houles pour différentes périodes du mois de juin pour toute la côte Algérienne.....	47
Figure III.6 : Champs de houles (MWD=45°) sur la Baie de Bou-Ismaïl.....	50

Figure III.7 : Champs de houles (MWD=45°) sur la zone d'étude.....	50
Figure III.8 : Champs de houles (MWD=360°) sur la Baie de Bou-Ismaïl.....	51
Figure III.9 : Champs de houles (MWD=360°) sur la zone d'étude.....	52
Figure III.10 : Champs de houles (MWD=315°) sur la Baie de Bou-Ismaïl.....	53
Figure III.11 : Champs de houles (MWD=315°) sur la zone d'étude.....	53
Figure III.12 : Champs des courants sur la Baie de Bou-Ismaïl pour : MWD= 45°.....	55
Figure III.13 : Champs des courants sur la zone d'étude pour : MWD= 45°.....	56
Figure III.14 : Champs des courants sur la Baie de Bou-Ismaïl pour : MWD= 360°.....	56
Figure III.15 : Champs des courants sur la zone d'étude pour : MWD= 360°.....	57
Figure III.16 : Champs des courants sur la Baie de Bou-Ismaïl pour : MWD= 315°.....	57
Figure III.17 : Champs des courants sur la zone d'étude pour : MWD= 315°.....	58
Figure III.18 : Dynamique sédimentaire sur la Baie de Bou-Ismaïl pour : MWD= 45°.....	61
Figure III.19 : Dynamique sédimentaire sur la partie Ouest de la Baie de Bou-Ismaïl : MWD= 45°	62
Figure III.20 : Dynamique sédimentaire sur la Baie de Bou-Ismaïl pour : MWD= 360°.....	62
Figure III.21 : Dynamique sédimentaire sur la partie Ouest de la Baie de Bou-Ismaïl : MWD= 360°.....	63
Figure III.22 : Dynamique sédimentaire sur la Baie de Bou-Ismaïl pour : MWD= 315°.....	63
Figure III.23 : Dynamique sédimentaire sur la partie Ouest de la Baie de Bou-Ismaïl : MWD= 315°.....	64
Figure IV.1 : Illustration du calcul du module DSAS (Himmelstoss, 2009).....	66
Figure IV.2 : Barre d'outils de DSAS.....	66
Figure IV.3 : Paramètres de sortie superficiels par l'utilisateur comprennent l'espacement et la longueur de transects.....	67
Figure IV.4 : Principe de calcul de l'end point Rate EPR (Himmelstoss, 2009).....	68
Figure IV.5 : Principe de régression linéaire pondérée pour le calcul par le DSAS de l'évolution du trait de côte (Himmelstoss, 2009).....	68
Figure IV.6 : Les différentes positions du trait de côte entre 1980 et 2018 par rapport à la ligne de base...	69
Figure IV.7 : L'évolution du trait de côte selon les transects entre 1980 et 2018.....	70
Figure IV.8 : Représentation de l'évolution de la plage en fonction de NSM entre 1980 et 2018.....	71
Figure IV.9 : Diagramme d'évolution de trait de côte entre 1980 et 2018 en fonction de l'EPR.....	72
Figure IV.10 : Représentation de la vitesse de l'évolution de la plage (recul et accrétion) en fonction d'EPR entre 1980 et 2018.....	73
Figure IV.11 : Diagramme d'évolution de trait de côte entre 1980 et 2018 en fonction d'EPR.....	73
Figure IV.12 : Représentation de la vitesse de l'évolution de la plage (régression ou engraissement) en fonction de LRR entre 1980 et 2018.....	74
Figure IV.13 : Diagramme d'évolution de trait de côte entre 1980 et 2018 en fonction de LRR.....	74
Figure IV.14 : Représentation graphique des variations des paramètres d'évolution de trait de côte (LRR et EPR).....	75

Figure IV.15 : Représentation d'évolution de la plage entre 1980 et 2018.....	75
Figure IV.16 : L'histogramme représentatif de bilan des variations de la surface de la plage Entre1980 et 2018.....	76

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II.1 : Températures de la station de Bouharoun (ONM ,2018).....	26
Tableau II.2 : Moyennes des précipitations de 2006-2015 dans la région de Bouharoun (ONM, 2018)	26
Tableau II.3 : Fréquence d'apparition des vents par intensité et par direction.....	28
Tableau II.4 : Moyenne mensuelles des vitesses des vents de 2006-2015 dans la région de Bouharoun.....	29
Tableau II.5 : Fréquences mensuelles de la houle et sa direction (SSMO, 1963-1970).....	31
Tableau II.6 : Répartition des états de la mer et par période	32
Tableau II.7 : Relation état de mer- hauteur de l'agitation.....	32
Tableau III.1 : Sortants du modèle SW.....	49
Tableau IV.1 : Les données utilisées.....	64

TABLEAU DES MATIERES

LISTE DES ACRONYMES	(iii)
LISTE DES FIGURES	(viii)
LISTE DES TABLEAUX.....	(xi)
INTRODUCTION.....	2

Chapitre I : Généralités

1. Notion du littoral.....	4
1.1. Le trait de côte, ou ligne de rivage.....	4
1.1.1. Les facteurs d'évolution du trait de côte.....	4
1.1.1.1. Les processus marin.....	5
1.1.1.2. Les aménagements et actions anthropiques.....	5
1.2. Profil d'une côte sableuse.....	5
1.2.1. Les différentes parties de plage.....	5
1.2.1.1. La plage subaérienne (l'estran, l'espace intertidale ou farshore).....	5
1.2.1.2. L'avant plage (nearshore).....	6
1.3. Morphologie des plages.....	7
1.3.1. Classification morphologique.....	7
1.3.1.1. Plages bloquées, ou adossées.....	7
1.3.1.2. Plages à pointe(s) libre(s).....	7
1.4. Concept morphodynamique.....	7
1.4.1. Echelle spatio-temporelle des systèmes morphodynamique côtiers.....	9
1.4.2. Morphodynamique des plages sableuses.....	10
1.4.3. Classification morphodynamique.....	10
1.4.3.1. Echelle d'interprétation du paramètre adimensionnel Ω (CERC 2003).....	11
1.5. La dynamique des plages.....	12
1.5.1. Les vagues et les houles.....	12
1.5.1.1. La houle à la côte.....	12
1.5.1.2. Caractéristiques et l'énergie de la houle.....	12
1.5.1.3. Energie de la houle.....	13
1.5.1.4. Propagation des vagues de large à la côte.....	13
1.5.1.5. Mécanisme générateurs de la houle.....	15
1.5.2. Les courants.....	16
1.5.2.1. Les courants côtiers.....	16
1.5.2.2. Types des courants.....	16
1.6. Transports sédimentaires.....	18

1.6.1. Les compartiments sédimentaires.....	18
1.7. L'érosion côtière.....	18

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

1. Situation géographique.....	20
1.2. Baie de Bou-Ismaïl.....	20
1.3. Baie de Chenoua.....	20
1.4. Zone d'étude.....	20
2. Cadre topographique régional.....	21
2.1. Géomorphologies.....	21
2.1.1. Massif de Chenoua.....	21
2.1.2. Baie de Chenoua	21
2.2. Morphologie sous-marine.....	22
2.3. La sédimentologie de la baie de Chenoua.....	23
2.4. Géologie.....	23
2.4.2. La baie de chenoua.....	23
2.4.3. Faille de Chenoua.....	25
2.4.4. Le massif de chenoua.....	25
3. Cadre climatique et hydrodynamique de la zone.....	25
3.1. La température.....	25
3.2. La précipitation.....	26
3.3. Les vents.....	27
4. Contexte hydrologique.....	29
4.1. Réseaux hydrographique.....	29
5. Hydrodynamique côtière.....	30
5.1. La marée et la variation du niveau marin.....	30
5.2. Les houles au large.....	30
5.3. les Courants.....	34
5.3.1. Les courants généraux.....	35
5.3.2. Les courants côtiers.....	35
5.3.2.1. Le courant de dérive.....	35
5.3.2.2 Les courants de dérive littorale.....	36

Chapitre III : Modélisation de l'hydrodynamique sédimentaire

Introduction.....	38
1. Présentation de la modélisation.....	38
1.1. Principe de la modélisation.....	38
1.2. Présentation du modèle.....	38

1.2.1. MIKE 21 SW.....	39
1.2.2. MIKE 21 HD.....	39
1.2.3. MIKE 21 ST.....	40
1.2.4. MIKE21/3 FM.....	40
1.3. Construction du modèle.....	40
1.3.1. Emprise et bathymétrie.....	40
1.3.2. Création 2D Bathymétries sous le maillage.....	41
1.3.3. Interprétation des résultats bathymétriques.....	41
1.4. Caractéristique de la houle au large.....	45
1.4.1. Wave Watch III.....	45
1.4.2. Caractéristiques du modèle.....	46
1.5. Résultats des modèles de vagues.....	47
1.5.1. Le modèle WaveWatch III.....	47
1.6. Résultats simulation hydro sédimentaire.....	48
1.6.1. Configuration du module SW.....	48
1.6.2. Données d'entrée et calibration.....	48
1.7. Modélisation des champs de courants générés par la houle.....	54
1.7.1. Conditions aux limites et autres paramètres.....	54
1.7.2. Résultats des simulations HD et interprétations.....	54
1.8. Modélisation du transport sédimentaire sous l'effet de houle et de courant.....	59
1.9. Dynamique hydrosédimentaire.....	59
1.9.1. Description et configuration du modèle Mike 21 ST.....	59
1.9.2. Résultats du modèle Mike 21 ST.....	60
Chapitre IV : évolution spatio-temporelle du trait de côte	
A propos de trait de côte.....	64
Méthodologie.....	64
2.1. Collecte des données.....	64
2.2. Les logiciels utilisés.....	65
2.2.1. Aperçu du logiciel Google Earth Pro (version 7.1).....	65
2.2.2. .Aperçu sur le logiciel ArcGis Desktop 10.2.2 et l'extension DSAS.....	65
2.2.2.1. ArcGis Desktop 10.2.2.....	65
2.2.2.2. DSAS (Digital Shoreline Analysis system).....	66
3. Variations historiques de la ligne de rivage le long de la côte de la plage Chenoua.....	69
3.1. Cartographier le trait de côte.....	69
3.2. Représentation et analyse statistique d'évolution du trait de côte.....	70
3.3. Résultats des statistiques.....	70

3.4. Résultats de volet graphique.....	70
3.4.1. Mouvement net de rivage (NSM).....	71
3.4.2. Le taux d'évolution de trait de côte entre 1980 et 2018 (EPR).....	72
3.4.3. La régression linéaire de trait de côte entre 1980 et 2018 (LRR).....	73
3.4.4. L'évolution de la plage entre 1980 et 2018.....	75
Conclusion.....	77
Bibliographie.....	79
Annexes.....	83



Introduction

Introduction

A la lumière des résultats obtenus par les recherches et les observations sur cet environnement littoral, il ressort que la majorité des plages du monde est actuellement en cours d'érosion, cette tendance régressive étant apparue en certains endroits il y a quelques années alors qu'en d'autres elle se manifeste depuis plusieurs siècles ; un déficit sédimentaire dû à l'épuisement des réserves de l'avant-côte et une élévation contemporaine du niveau de la mer et aggraver encore plus par l'action anthropique.

Les espaces côtiers algériennes sont soumis à une forte dégradation sous l'action de différents facteurs naturels et des conditions climatiques et surtout sous la pression anthropique. Dans ce contexte la préservation du littoral est devenue une grande priorité qui nécessite une approche de gestion globale.

Le littoral Ouest de la baie de Bou Ismail se distingue par leur biodiversité marine et terrestre, mais il subit de multiples perturbations naturelles et anthropiques. Il connaît actuellement un développement socio-économique et urbanistique très intense. Ce qui a provoqué des menaces d'érosion lourde de conséquence, et une modification du milieu côtier, à cet effet une compréhension des tendances de recul de la ligne de rivage s'avère nécessaire afin de prendre des mesures réglementaires au domaine de la côte.

Chenoua plage soumis un phénomène d'érosion qui résulte localement d'aménagement et d'activités humaines. Elle occupe une place privilégiée pour la puissance des houles auxquelles il est soumis ; puisque c'est sur cette partie des côtes que l'en rencontre une dynamique sédimentaire non négligeable. Ces remaniements sédimentaires provoquent, dans certains cas, des érosions ou des dépôts préjudiciables à l'équilibre naturel de ce site.

L'étude de cette portion du littoral s'inscrit dans le cadre général d'évaluation des phénomènes hydrodynamiques qui contrôlent le dynamique sédimentaire ainsi que l'évolution morphodynamique en ce site de façon plus utilisée, la modélisation de cette évaluation qu'elle que soit due à des processus naturels ou liées à l'activité humaines, reste un problème d'actualité pour les problèmes d'aménagement côtier et de gestion de littoral (**IDRISSI et al, 2015**).

L'objectif de notre projet de fin d'étude intitulé «*Modélisation Numérique de la morphodynamique sédimentaire et de la cinématique du trait de côte Chenoua plage de la willaya de Tipaza*», serait alors de connaître le fonctionnement morphodynamique et évaluer son état général afin de prévoir l'évolution hydro sédimentaire, de la détection des zones d'érosion et de dépôt au niveau du rivage, et le suivi de l'évolution spatio-temporelle de la ligne de rivage.

Dans le cas de notre étude, on optera pour l'utilisation d'un modèle utilisé en mode bidimensionnel, qui permet de mettre en interaction à la fois l'hydrodynamisme, la courantologie et le transport sédimentaire. Ce modèle concerne le progiciel MIKE21 développé par le *Danish Hydraulic Institute* (DHI-software). Donc notre principal objectif consiste à étudier le système hydro-sédimentaires sur la base de ce modèle numérique au niveau du rivage de Chenoua.

Le logiciel ArcGIS Desktop 10.2.2 a été utilisé pour la digitalisation du trait de côte et la réalisation des cartes. Enfin DSAS v4.3, une extension, a permis le calcul statistique des vitesses d'érosion (EPR) et des taux d'évolution (LRR) à partir des différents traits de côte extraits des images utilisées.

Le travail de notre mémoire se répartit en quatre chapitres afin d'arriver à nos objectifs :

Le premier chapitre est consacré à une introduction générale sur généralités sur processus hydro-sédimentaires sur les plages sableuses. Nous présentons d'une part les processus à l'origine de

cette dynamique, une relation spatio-temporelles en morphodynamique côtière ainsi que une zonation des sédiments sur les littoraux sableux

Dans le deuxième chapitre nous avons décrit les aspects généraux du milieu ; la situation géographique, la topographie, la géologie, la géomorphologie, l'hydrologie et les conditions naturelles y compris les vents, les courants, et les houles qui conditionnent directement la dynamique sédimentaire tout le long de la côte.

En conséquence, notre projet de fin d'étude est se base sur», qui se situe à l'ouest de la baie de Chenoua, afin de modéliser les hydrodynamiques et les transports sédimentaires pour comprendre le comportement hydro sédimentaire de ce site.

Troisième chapitre concernant l'étude bathymétrique de la baie de Bou Ismail incluant la zone d'étude (chenoua plage), ainsi la modélisation de l'hydrodynamique en tenant compte des conditions de la houle et de courant,

Dans le dernier chapitre, on va conclure avec une étude des variations historiques de la position de la ligne de rivage entre 1980 et 2018, dans le but de parvenir à l'identification et la description des taux nets et les zones d'érosion tout le long de cette côte.

Enfin, on va clôturer notre travail par une conclusion, dans laquelle on a résumé les différents chapitres.



Chapitre I

Généralités

1. Notion du littoral

La notion de littoral est « à priori » simple à définir. Il s'agit de **l'espace qui relie la terre, la mer et l'atmosphère**. Il n'existe cependant pas une définition unique de ce territoire, mais plusieurs définitions selon que l'on est biologiste, géographe, juriste...

Et parmi ces différentes définitions, le littoral est défini comme le lieu de convergence et de compétition entre des nombreuses activités humaines, quelquefois concurrentes (industrie, agriculture, transport, tourisme), constitue aussi un patrimoine biologique et paysage de première importance où les équilibres écologiques sont sans cesse fragilisés par les aléas naturels mais également par l'Homme (**Mezouar K, 2009**).

Tant que le littoral est l'espace particulier, à l'interface de la lithosphère, de l'atmosphère et de l'hydrosphère. Par conséquent, on y retrouve trois influences :

- **Continentale**, à savoir celle de la structure géologique du secteur considéré
- **Marine**, c'est-à-dire les conséquences des variations du niveau de la mer ou encore des processus induites par les facteurs hydrodynamiques
- **Atmosphériques**, au travers de l'action de tous les agents subaériens (**Paskoff R, 2010**)

En raison de la combinaison de toutes ces influences, la position du rivage et la morphologie côtière peuvent être très fluctuantes à diverses échelles de temps et d'espace.

1.1 Le trait de côte, ou ligne de rivage

Peut être défini comme le "niveau maximal atteint par la mer en période hivernale", c'est aussi une notion qui peut par exemple permettre de mesurer la longueur des côtes, de quantifier les conséquences des phénomènes de conflit entre la terre et la mer. Malgré son utilité, cette ligne est par essence même imprécise et mobile : sur le plan juridique, la notion de trait de côte n'a d'ailleurs aucune valeur puisque seules sont reconnues les limites du Domaine Public Maritime et celles des eaux territoriales ; le trait de côte se situe quelque part entre ces deux limites sans qu'aucun recoupement n'existe. (**Définition commune SHOM-OHI, 2000**)

1.1.1 Les facteurs d'évolution du trait de côte

La gestion de la zone côtière nécessite une bonne connaissance des processus responsables de la mobilité (érosion/accumulation) du littoral. quatre types de processus interviennent dans la mobilité du trait de côte :

- La baisse d'apport de sédiment d'origine continentale par les fleuves depuis la fin du dernier épisode glaciaire (**Paskoff, 2005**).
- Les processus marins (houle, marée, courant associés...).
- Les processus continentaux (vent, gel, hydrologie, altérations physico-chimique des roches.....).
- Les processus anthropique (ouvrage de défense...) qui agissent sur les matériaux et/ou déplacent les sédiments (sables, galets...).

1.1.1.1 Les processus marin

Le profil des plages de sable ou de galets est en équilibre dynamique avec les conditions de forçage : par houle de tempêtes, les sédiments migrent vers le bas estran (phénomène de démaigrissement) ; par houle de beau temps, les sédiments remontent vers l'estran et le profil se relève (phénomène d'engraissement). Cet ajustement morpho-sédimentaire des plages aux conditions d'agitation est appelé variation saisonnière du profil de plage.

1.1.1.2 Les aménagements et actions anthropiques

Les aménagements (digues, épis, brise lame), et actions anthropiques (rechargement de plage, prélèvement des granulats...) modifient les conditions côtières et conduisent à des modifications des processus naturels par adaptation du système à ces nouvelles conditions.

Initialement les ouvrages répondent à une problématique bien prise et locale et sont généralement efficaces (localement). En contrepartie, ces ouvrages "durs" bloquent souvent les processus naturels tels que la dérive littorale conduisant à un déficit sédimentaire des zones voisines. Celles-ci se retrouvent alors soumises à une érosion accrue du fait d'un bilan sédimentaire négatif.

D'autres actions anthropiques sont à l'origine d'une érosion accentuée du littoral, telles que la charge gravitaire des habitations en bord de falaises, la réduction des apports solides fluviaux due à la présence de barrages sur le cours des fleuves ou les extractions de sable (**Ghazali A, 2016**).

1.2 Profil d'une côte sableuse

Les plages sont des accumulations des sédiments qui vont des sables fins (de 0,0630 à 0,2 millimètre) aux blocs (>à 20 centimètre), les grèves étant des zones d'accumulation de galets (**Guilcher, 1954**). Les plages sableuses sont parfois accompagnées des dunes. Contrairement aux côtes rocheuses qui ne peuvent que reculer, elles subissent alternativement et parfois d'une façon très rapide des phases d'accrétion (progression de la ligne de rivage par l'accumulation des sédiments et d'érosion).

1.2.1 Les différentes parties de plage

Généralement, les plages représentent un profil transversal plus ou moins concave, leur pente augmente avec la taille des sédiments qui les constituent.

Au sens large, la plage est constituée d'une partie émergée ou subaérienne et d'une partie toujours immergée (l'avant plage) :

1.2.1.1 La plage subaérienne (l'estran, l'espace intertidale ou farshore)

Elle se divise elle-même en deux parties, le haut et le bas de plage, séparé par une ligne de flexion qui marque une nette diminution de la pente et du calibre du matériel lorsque celui-ci est hétérogène. (**Paskoff, R et Christine Clus-auby 2007**)

- **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 flexion 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. (Saïd Haddad S, 2017)

1.2.1.2 . L'avant plage (nearshore)

La topographie de l'avant plage, toujours submergé, peut être accidentée par des accumulations de sédiments qui, selon les auteurs, sont désignées sous le nom de barres, bancs, crêtes, ou rides pré littorales, séparées par des sillons. (Paskoff, R et Christine Clus-auby, 2007) (Voir fig.I.1).

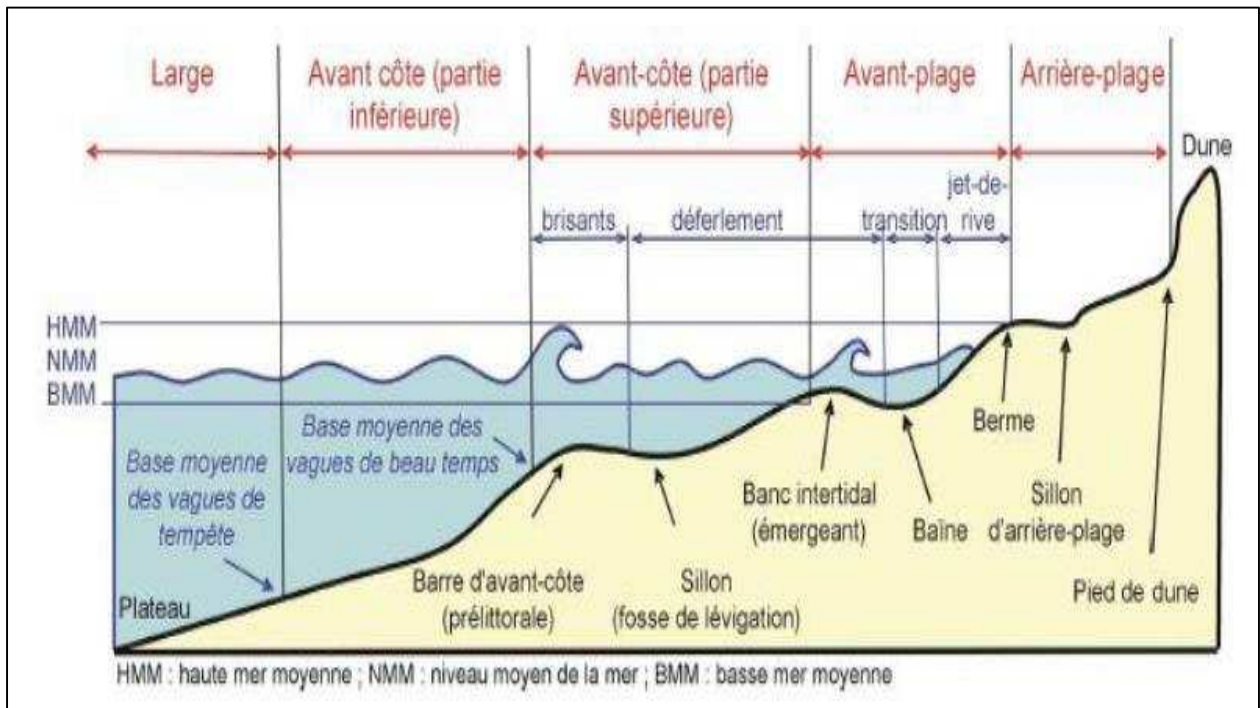


Figure I.1 : Profil d'une plage avec ses différentes composantes (Bonté, 2013 in Khalfani, 2014)

1.3 Morphologie des plages

Dans sa partie émergée, la plage est généralement délimitée par des dunes ou une falaise. La profondeur de fermeture du système est considérée comme la limite en mer des plages, elle est définie comme la profondeur limite d'action de la houle, profondeur qui correspond à une demi-longueur d'onde de la houle (Douglas L et al, 2005). Ensuite, depuis la mer vers la terre il y a d'abord la zone de levée des vagues ou "shoaling zone" qui s'étend du point de formation des vagues au point de déferlement "breaking point". Puis, il y a la zone de déferlement ou de surf "surf zone" qui s'étend depuis le point de déferlement des vagues vers le haut de plage. Enfin, le haut de plage ou "swash zone" correspond à la zone de la pente affectée par le jet de rive.

Il se forme une plage toutes les fois que la quantité de matériaux disponibles sur un rivage dépasse le volume de sédiments que les vagues et les courants littoraux sont capables de déplacer .l'accumulation l'emporte alors sur l'érosion (Paskoff R, 2010).

1.3.1 Classification morphologique

Il y a des différents types des plages en fonction de leurs caractéristiques morphologiques qui dépendent de l'exposition de ces dernières aux houles et des caractéristiques morphologiques de l'arrière-pays. En conséquence distingue-t-on des plages bloquées (ou adossées), et des plages à pointes libres (**Borloo J, 2010**).

1.3.1.1 Plages bloquées, ou adossées

Parmi ces formes d'accumulation, on retrouve les plages rectilignes. Ces accumulations sont ouvertes à la houle et relient parfois deux pointements rocheux isolant des lagunes. En position d'abri, ces accumulations (de fond de baie) peuvent prendre une forme en arc. Ces plages sont induites par la configuration de l'arrière-côte et par la réfraction divergente de la houle et parfois de faire fasse de dérive littoral dans deux sens convergents formant un saillant triangulaire (**Borloo J, 2010**).

1.3.1.2 Plages à pointe(s) libre(s)

Le deuxième grand type de plage concerne celles dont une extrémité, une partie ou la totalité se détache du rivage, comme par exemple à l'abri d'un obstacle (queue de comète). Il s'agit de formes libres qui s'étendent dans le sens de la dérive littoral dominante et doivent leur existence à une forte alimentation en sédiment. Ainsi, les matériaux venant de la partie amont de ces formes libres alimentent l'aval. Pour décrire ce phénomène, certains auteurs parlent de « cannibalisme ». Par conséquent, en période de crise sédimentaire, cette dynamique peut aboutir à la rupture ou à la disparition de la partie amont de la forme libre, à savoir sa racine. Parmi ces formes, se rangent les flèches accrochées au rivage par une seule extrémité (**Borloo J, 2010**).

1.4 Concept morphodynamique

Un système morphodynamique est constitué d'une entité géomorphologique qui ajuste sa morphologie en réaction aux variations d'une composante dynamique.

Dans le cas des systèmes littoraux, une modification des forçages induit une modification de l'hydrodynamique, qui elle-même induit un transport sédimentaire responsable de l'évolution morphologique des plages.

L'hydrodynamique locale ne dépend pas seulement des conditions de forçages au large, celle-ci est également influencée par la topographie locale. Ces interactions non-linéaires rétroactives (Cowell and Thom, 1994) sont l'un des principaux mécanismes responsables de l'évolution morphodynamique des systèmes littoraux. (Voir figI.2).

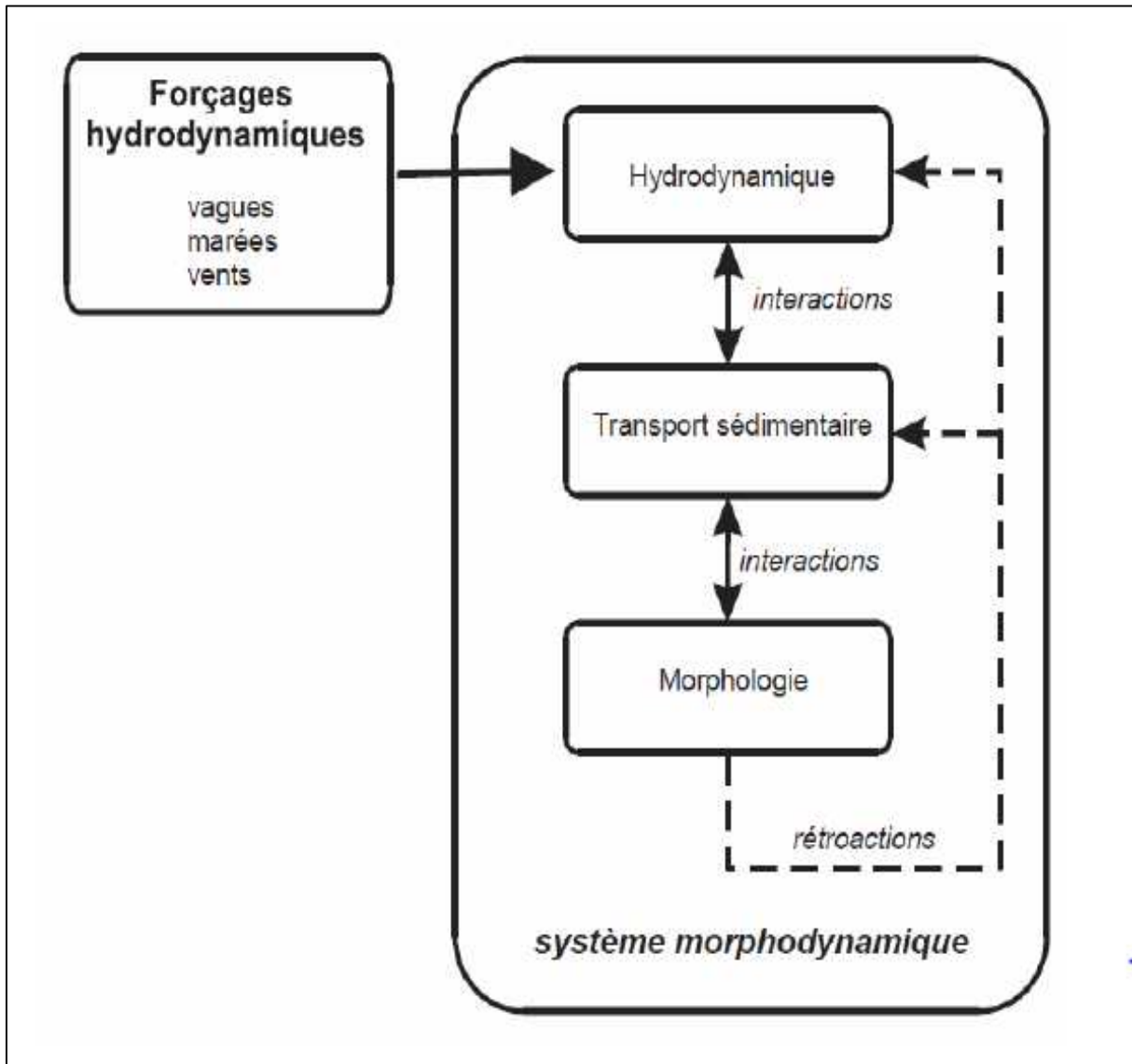


Figure I.2 : Schématisation d'un système morphodynamique (Stépanian, 2002).

1.4.1 Echelle spatio-temporelle des systèmes morphodynamique côtiers

Le comportement morphodynamique d'un système côtier (plage, embouchure, dune, estuaire) peut être très variable en fonction de l'échelle du temps à laquelle il est étudié. A chaque échelle de temps est associée une représentativité spatiale se référant à l'amplitude volumique des changements morphologique mis en jeu .l'examen des relations spatio-temporelles qui conditionnent le devenir d'un système côtier constitue une mesure de la stabilité du système à la variation de forçage (Kroon, 1994). dans le cas d'un système côtier, (De Vriend ,1991) suppose l'existence d'une relation linéaire entre l'amplitude des évolutions spatiales subies par le système et l'échelle temporelle des processus dynamiques qui contrôlent l'évolution de la zone côtière. (Voir fig.I.3)

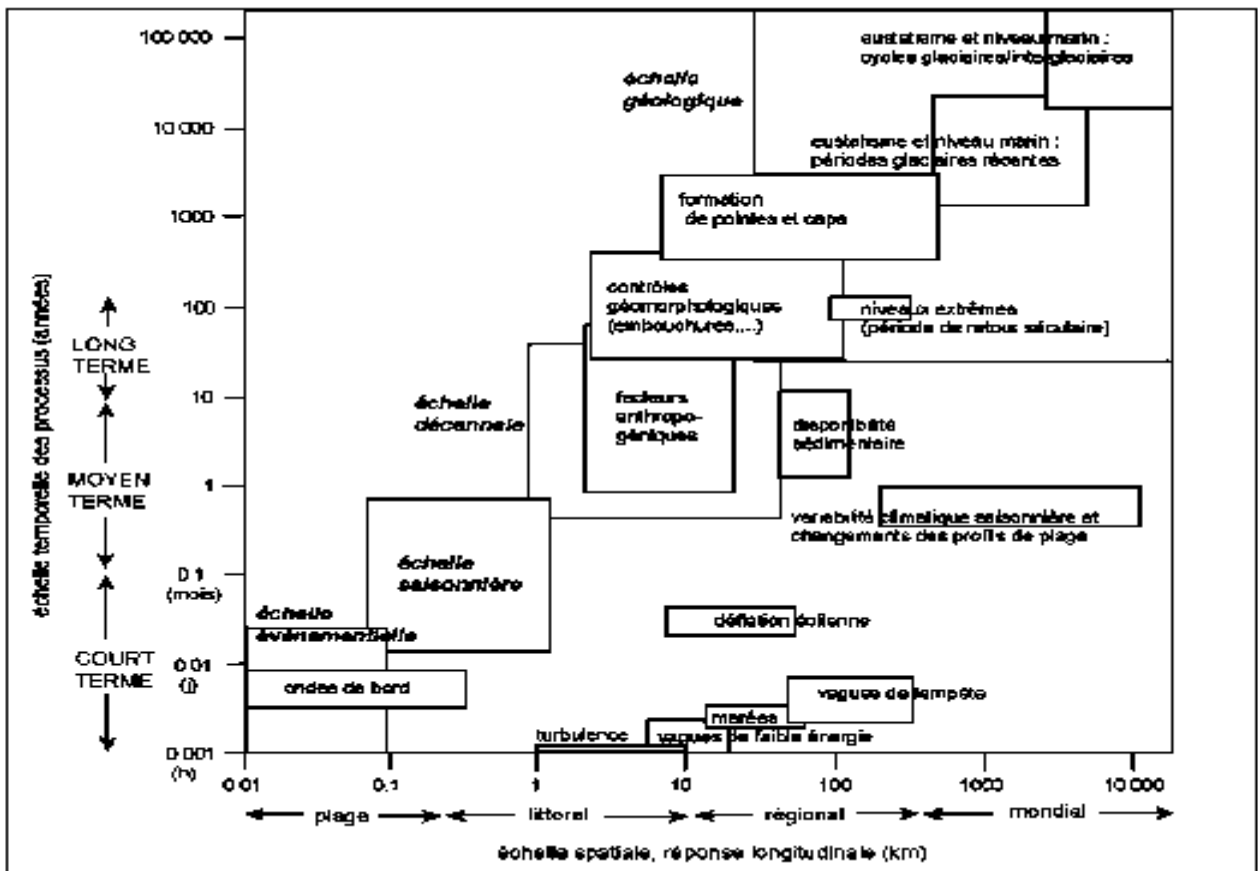


Figure I.3 : Relation spatio-temporelle des systèmes morpho-dynamique côtiers (in Aurélie DEHOUC, 2006)

On peut en particulier distinguer d'après la nomenclature de De Vriend les échelles suivantes :

- **La micro-échelle « l'échelle des processus »** qui concerne les processus physiques constitutifs agissant à une échelle plus courte que le comportement morphodynamique correspondant (houle, courant, transport sédimentaire).
- **La méso-échelle « l'échelle dynamique »** qui concerne le comportement morphodynamique dû à l'interaction entre les processus constitutifs et la topographie .cette échelle est généralement plus longue que celle des processus physique (propagation de corps sédimentaires, engraissement et migration des chenaux).

- La macro-échelle «l'échelle de tendance » qui concerne les tendances lentes à une échelle de temps encore plus longue que les comportements morphodynamique (De Vriend ,1991)

1.4.2 Morphodynamique des plages sableuses

La morpho-dynamique des plages est l'évolution spatio-temporelle de la morphologie des plages sous l'effet du forçage hydrodynamique. Par l'intermédiaire du transport sédimentaire la plage évolue sous l'action de la mer, en retour modifié par l'évolution du fond marin.

Par définition une plage correspond au domaine intertidal, c'est-à-dire au domaine de balancement des marées. Cependant pour comprendre la dynamique des zones littorales que sont-elles plages et plus particulièrement les plages sableuses, il est nécessaire de considérer les transferts sédimentaires entre la plage et la zone subtidale (cross-shore) ainsi que le long de la côte. Le littoral et les plages sont des systèmes qui évoluent à différentes échelles de temps et d'espace en fonction des agents de forçage comme la houle, les marées et les courants associés (Klervi H, 2014). (Voir figI.4).

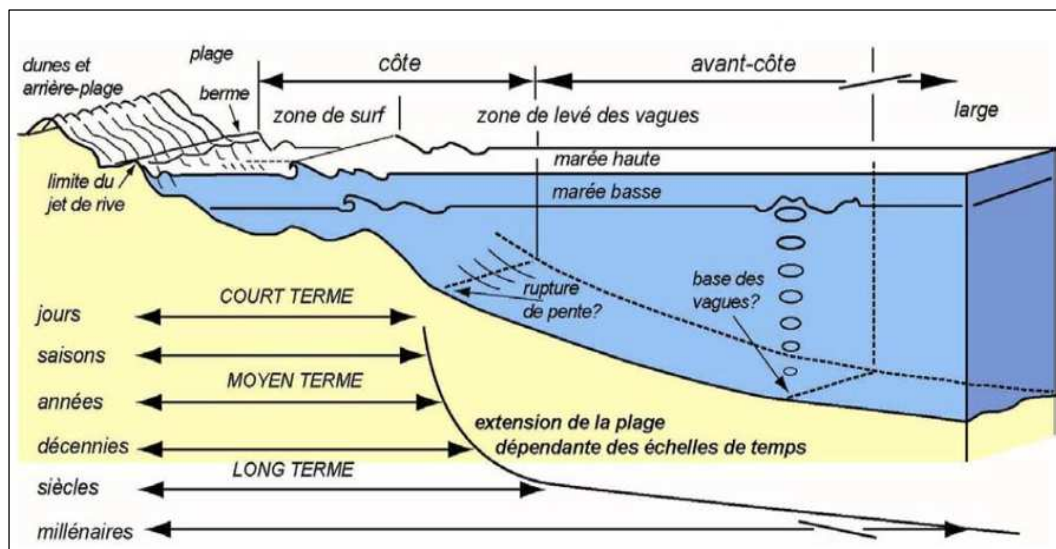


Figure I.4 : la zone littorale et des échelles de temps impliquées dans sa dynamique (d'après Cowell et al. 1999 modifié par Dehouck (2006))

1.4.3 Classification morphodynamique

La classification la plus communément utilisée divise les plages en six catégories avec deux extrêmes : dissipatif (plage plate et peu profonde) et réfléchif (plage avec une pente forte) (Wright and Short, 1984). Ce type de classification est basée sur des paramètres tels que (vitesse de chute adimensionnelle) et RTR (Relative Tidal Range) avec :

$$\Omega = H_b / \omega_s \cdot T$$

$$RTR : \text{tidal range} / H_b$$

Où H_b : Hauteur significative des vagues (m)

W_s : Vitesse de chute du sédiment (m/s)

T : Période des vagues (s)

1.4.3.1 Echelle d'interprétation du paramètre adimensionnel Ω (CERC 2003)

- Les plages dissipatives ($\Omega > 6$)

On dit une plage dissipative lorsque le sable est relativement fin et que cette plage est soumise à des vagues énergétiques et courtes. Ces plages sont larges et caractérisées par leur faible pente transversale et par la présence, sur l'avant plage, de barres et de sillons peu développés qui favorisent les déferlements multiples (Paskoff, R et Christine Clus-auby, 2007).

- Les plages réfléchissantes ($\Omega < 1$)

On dit une plage réfléchissante lorsqu'elle est constituée de sables grossiers et de galets, ces plages sont étroites et caractérisées par une forte pente (supérieure à 3°). Il n'existe pas de système de barres et de bâches sur avant –plage dont la profondeur est suffisante pour que les vagues arrivent à proximité de l'estran avant déferlé.

- Les plages intermédiaires ($1 < \Omega < 6$)

Entre ces deux types opposés, dissipatif et réfléchissant, il existe des plages intermédiaires à pente comprise entre 1° et 3° , ces plages sont caractérisées par la présence des barres et des sillons dans la zone intertidale, ainsi que la présence un sédiment hétérogène, à granulométrie variée, et soumises à un régime variable de la houle. (Voir fig. I.5).

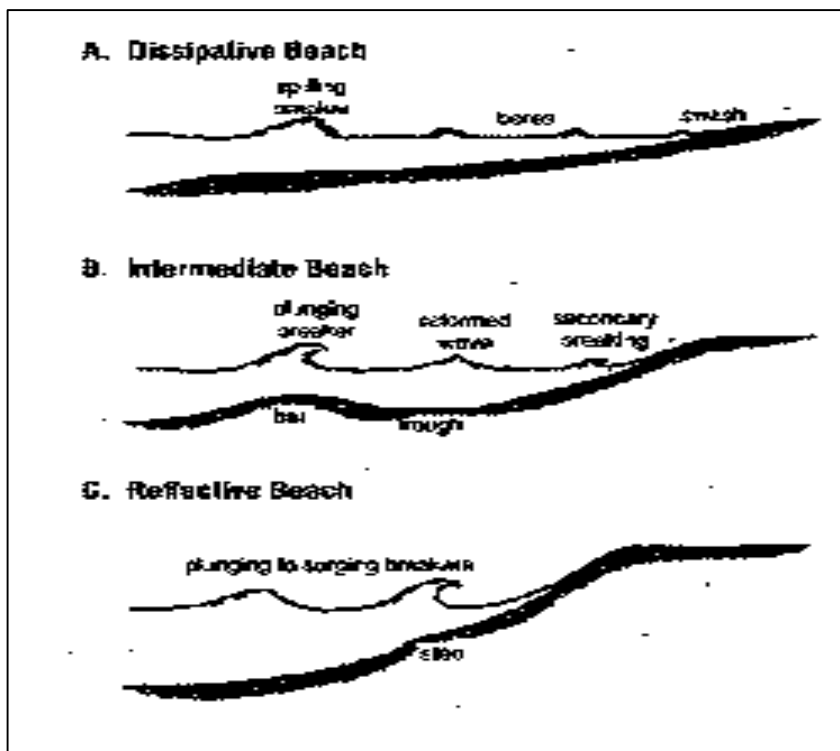


Figure I.5 : classification morphodynamique des plages

1.5 . La dynamique des plages

Les plages sont par nature extrêmement changeantes .leur topographie se modifie sans cesse car les sédiments meubles qui les constituent sont constamment déplacés par des forces diverses dont l'action combinée explique une permanente mobilité.

1.5.1 Les vagues et les houles

Les vagues qui forment un agent primordial de la dynamique littorale et constituent la houle, sont des ondulations de la surface de la mer, elles sont générées par l'énergie du vent et entretenues par la pesanteur .alors les vagues font partie de gravité de surface.

1.5.1.1 La houle à la côte

Les vagues sont générées par le vent, puis se propagent librement en formant la houle. Celle-ci est caractérisée par des valeurs moyennes de direction, de hauteur et de période. Aux abords des côtes, la houle est modifiée par la présence du fond, qui donne lieu à des processus de dissipation d'énergie. A l'approche des plages ou des hauts fonds, les vagues déferlent et transmettent ainsi une partie de leur énergie aux courants. Les vagues et les courants sont les principales causes des mouvements de sédiments sur les plages (**MEZOUAR, 2009**).

L'étude de réfraction permet l'exploitation des caractéristiques de la houle au large pour définir les caractéristiques de la houle à la cote (**LEM, 2009**) (voir figI.6)



FigureI.6 : La propagation des vagues du large jusqu'à la côte (**THAN V, 2015**)

1.5.1.2 Caractéristiques et l'énergie de la houle

Les vagues apparaissent quand sa vitesse excède $3\text{ à }4\text{ m.s}^{-1}$, elles se caractérisent par (**Paskoff R, 2010**) :

1. **La hauteur (H, en mètre)** qui constitue la dénivellation verticale entre une crête et un creux successifs ;
2. **La longueur d'onde (L_o, en mètre)** qui est la distance qui sépare deux crêtes ou deux creux successifs ;
3. **La période (T, en seconde)** qui est l'intervalle de temps qui s'écoule entre deux crêtes ou deux creux successifs ;

4. **La fréquence (Hertz)** qui est l'inverse de la période des vagues, elle est déterminée par la mesure du passage d'une série d'ondulations par seconde ;
5. **La célérité (C, en mètre par seconde)**, Les vagues de longue période progressent plus rapidement que celles de faible période (ces dernières peuvent disparaître rapidement après l'arrêt du vent). Ces caractéristiques dépendent de **la vitesse du vent, de la durée** pendant laquelle il souffle et de l'étendue d'eau qu'il affecte. (voir fig. I.7)

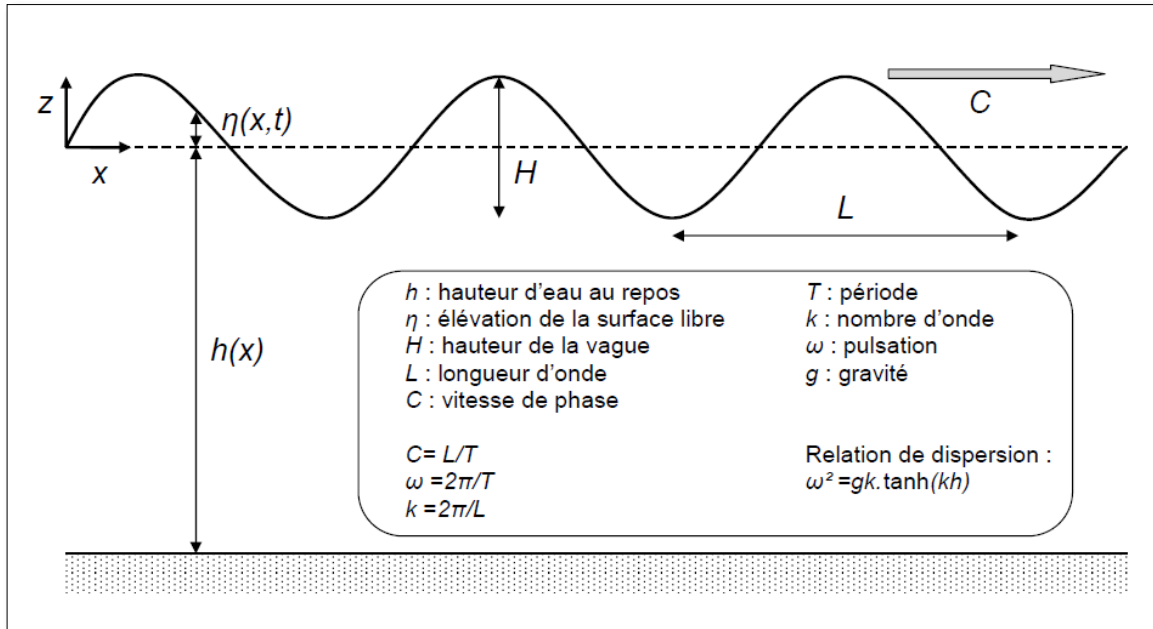


Figure I.7 : grandeurs caractéristiques de la houle (Grasso F, 2009)

1.5.1.3 Energie de la houle

La houle renferme de l'énergie sous deux formes, l'énergie potentielle E_p nécessaire pour déformer la surface de la mer et l'énergie cinétique E_c nécessaire pour communiquer aux particules leur mouvement orbitaire (Migniot C, 1976).

$$E = E_p + E_c = \frac{1}{8} \delta g \cdot H^2 L \left(1 - \frac{\pi^2 H^2}{2L^2} \right) \dots\dots\dots(I.1)$$

Avec :

- | | |
|--------------------------------------|--|
| E : énergie totale de la houle | L : longueur d'onde |
| E_c : énergie cinétique | δ : masse volumique de l'eau de mer |
| E_p : énergie potentielle | g : accélération à la pesanteur. |
| H : profondeur de la mer au repos. | (Bonfille, 1992) |

1.5.1.4 Propagation des vagues de large à la côte

A l'approche de la côte (figure I.8), lorsque les vagues commencent à « sentir » le fond, elles subissent des modifications qui affectent leurs caractéristiques. Selon la théorie linéaire de la houle et lorsque la profondeur d'eau est supérieure à la moitié de la longueur d'onde, il y'a une diminution rapide d'amplitudes des trajectoires orbitales circulaires fermés, donc :

Chapitre I : Généralités

- ✓ Sa longueur d'onde est : $L_0 = g / (2\pi) * T^2$
- ✓ Elle se propage sans changer de direction, avec une célérité : $c = L_0 / T = g / (2\pi) * T$.

En profondeur intermédiaire ($d < L_0/2$) :

- ✓ La longueur d'onde diminue : $L = g / (2\pi) * T^2 * \tanh (2\pi * d / L)$
- ✓ La célérité diminue : $c = g / (2\pi) * T * \tanh (2\pi * d / L)$ (Borloo J, 2010).

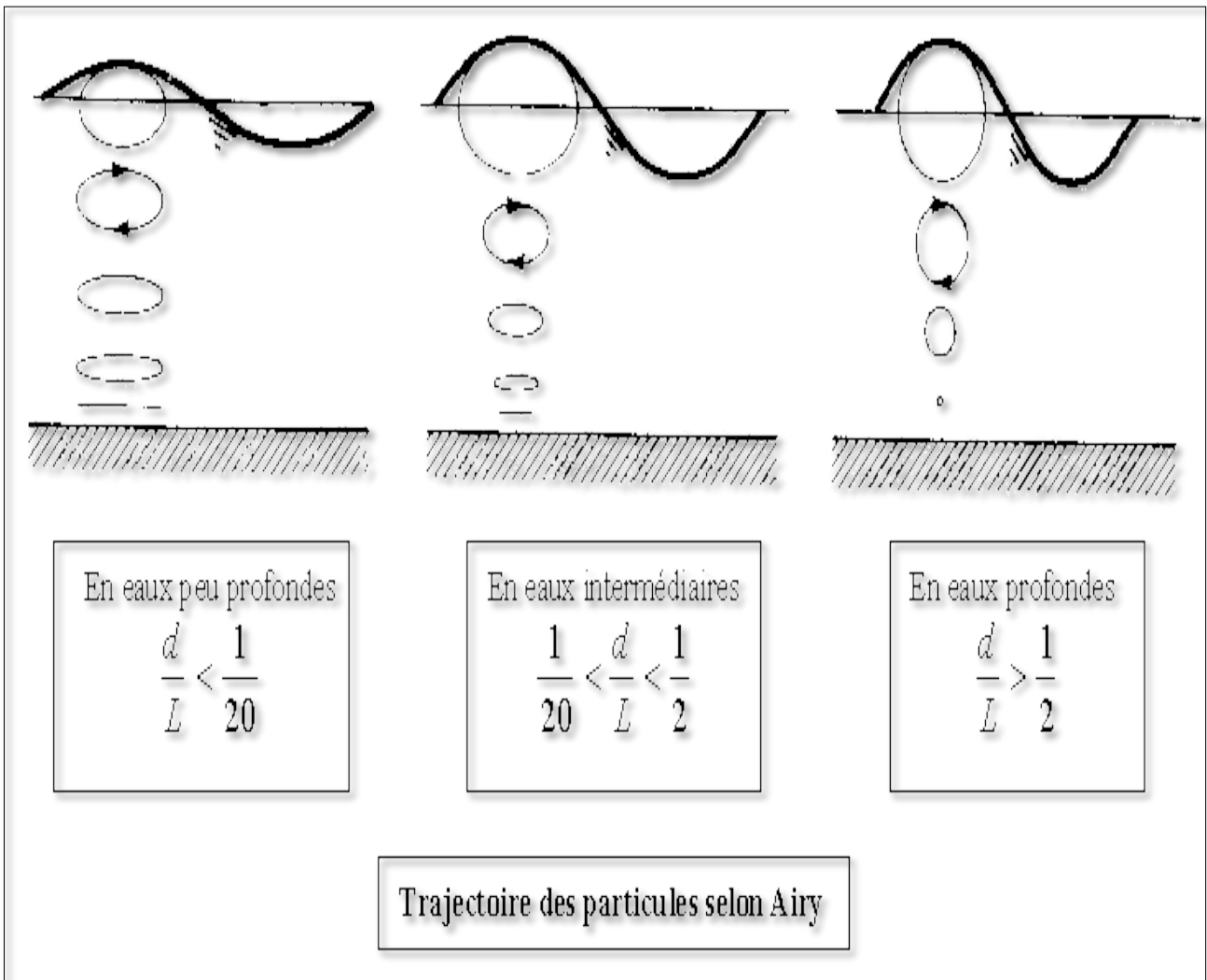


Figure I.8 : propagation des vagues de large à la côte

Alors, il y'a certaines déformations de houle à l'approche des côtes en fonction de la bathymétrie et des obstacles qu'elle rencontre :

- **Shoaling** : lorsque la hauteur de la houle est modifiée ainsi que sa cambrure.
- **Réfraction** : lorsque la direction de propagation de la houle peut changer.
- **Déferlement bathymétrique** : lorsque la profondeur d'eau est de l'ordre de grandeur de la hauteur de la houle ($d=H$), la houle est très cambrée, devient instable et se brise.
- **Réflexion voire de la réfraction** : si la houle rencontre des obstacles lors de sa propagation (iles, cap, digues, chenal, etc.) (Paskoff R, 2010) (voir fig. I.9).

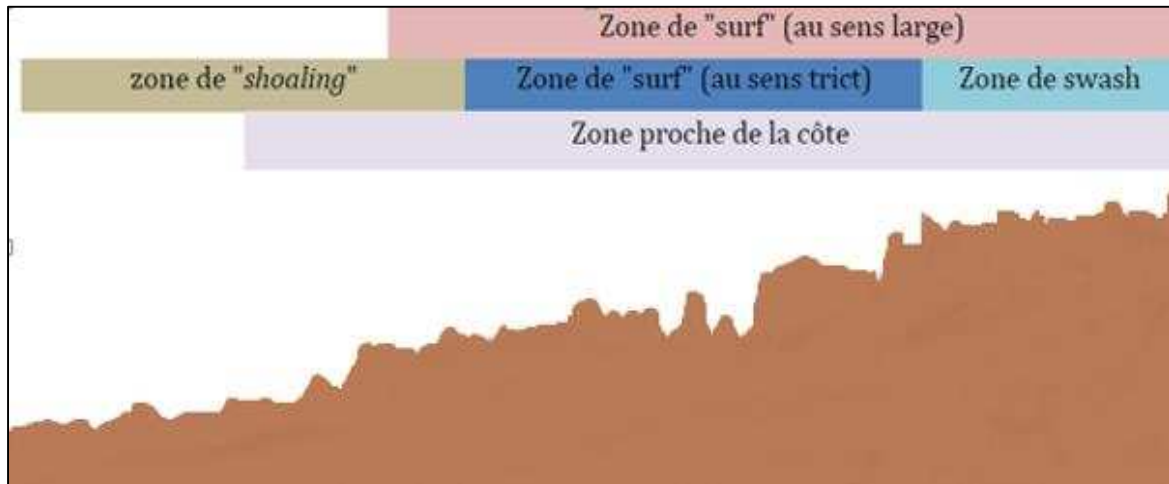


Figure I.9 : La propagation de la houle dans la zone proche de la côte (THAN V, 2015)

1.5.1.5 Mécanisme générateurs de la houle

Le processus selon lequel les vagues sont créés par le vent est schématiquement le suivant :

- Il faut un minimum de vent (environ 1 m/s) pour qu'un champ de vagues apparaisse ;
- Des petites vagues se forment alors, au fur et à mesure que le vent s'intensifie ;
- ce sont des ondes de haute fréquence, avec une courte longueur d'onde et une faible amplitude ;
- Après un temps suffisant, le spectre des vagues est pleinement développé, et ne varie plus beaucoup.
- Sa fréquence dominante est celle du vent et il faut attendre d'autant plus longtemps pour atteindre cet état quasi-stationnaire que le vent est plus fort. Les vagues grandissent selon le fetch, la vitesse et la durée du vent. Elles continuent de grandir tant que sa célérité d'onde ne dépasse pas celle du vent. Dans le cas contraire, elle déferle au large en « mouton » (Wright J et al, 1999).

Lorsque les vagues sont en formation et observées dans la zone de génération par le vent elles correspondent à "la mer de vent" : elles présentent un fort étalement directionnel, leurs hauteurs sont souvent irrégulières et leurs périodes comprises entre 2 et 8 s. Après leur formation, les vagues sont amenées à quitter la zone de génération et à se propager : elles présentent alors un aspect plus ordonné et leurs crêtes tendent à être parallèles entre elles et leurs périodes caractéristiques sont de l'ordre de 9 à 25 s. Ces vagues, nommées "**houle océanique**", peuvent traverser les océans. En conditions réelles, la mer est souvent composée de divers systèmes de vagues où des houles océaniques de différentes origines peuvent se

superposer à une mer de vent locale, l'agitation locale résultante est nommée "état de mer" (Laugel, 2014).

1.5.2 Les courants

Un courant marin est un mouvement des particules d'eau généré par l'action des vagues et la marée sur de très longues distances, à la surface ou en profondeur, suivant une direction donnée.

1.5.2.1 . Les courants côtiers

Il existe en général deux types de courants dont un est unidirectionnel et un autre directionnel. A ce propos, le courant directionnel comme son nom l'indique est un courant mobilisé en plusieurs directions. Et on cite à ce titre comme exemple le courant oscillatoire (de va et vient) des vagues. Quant au courant unidirectionnel, celui-ci est dirigé dans une seule direction (courant de retour, de marée, undertow...etc.).

1.5.2.2 Types des courants

Les vagues arrivant sur une cote sont à l'origine de plusieurs courants qui jouent un rôle très important dans l'évolution des plages.

1. Les courants engendrés par les vagues

a. Les courants orbitaux ou oscillatoires : c'est un courant générant une friction sur le fond. C'est un mouvement oscillatoire généré par les crêtes et les creux des vagues qui, arrivant au fond, génèrent un frottement conséquent.

La vitesse orbitale maximale "U_{max}" sur le fond est donnée par l'expression

(Migniot C, 1976) :

$$U_{max} = \frac{\pi H}{T \sinh 2\pi d/L} \dots\dots\dots (I.2)$$

Avec :

U_{max} : vitesse orbitale maximale m/s

H : hauteur des vagues en mètres

d : hauteur de l'eau au repos.

T : période de la houle en secondes.

L : longueur d'onde en mètres.

b. Les courants de retours : l'apport d'eau à la cote lié au déferlement des vagues doit logiquement être compensé par un retour en direction opposée .il peut faire sous la forme d'un courant au ras du fond dans l'espace infralittoral, souvent appelé courant **d'undertow**.

c. Le dérive littorale : est un courant longitudinal qui prend de l'ampleur surtout dans la zone de déferlement et qui est généré par l'obliquité des vagues par rapport au rivage.

La vitesse de la dérive littorale n'est pas facile à calculer. Il existe cependant des formules qui permettent de faire des estimations citant celle de PUNAME, MUNK et Traylor (1949). Retouchée par J. Larras qui est (Paskoff R, 2010) :

$$U = 2.58^3 \frac{gH^2}{T} P \sin 2\alpha \dots\dots\dots(I.3)$$

Avec

U : vitesse de la dérive littorale en m/s.

P : pente de l'espace infralittoral.

H : hauteur des vagues en mètres au moment de leur déferlement

α : l'angle d'incidence des vagues avec le rivage,

T : la période de la houle en secondes

g : l'accélération de la pesanteur.

d. Les courants de marée : la marée est l'origine de courants dont le caractère original est la réversibilité qui est lié aux mouvements inverses du flot et du jusant, ces courants sont prépondérants au large mais, à l'approche de la côte, ils sont dominés par les courants de houle.

2. Les courants de retour engendrés par le vent : sont remarquables pendant les crues des tempêtes, les apports d'eaux à cote par les vents fortes soufflant vers la terre sont compensées par des retours vers le large sous la forme de courants dit *downelling*. (Paskoff, R et Christine Clus-auby, 2007)

1.6 Transports sédimentaires

La mobilité de la côte provient des processus marin (houles, marées, courant ...), climatologique (vent, gel) et anthropique qui agissent sur les matériaux et déplacent les sédiments (sables, galets,...).les sédiments peuvent se déplacer soit par :

- **Charriage** : les matériaux sont roulés ou glissent.
- **Saltation** : le transport s'effectue par sauts successifs.
- **Suspension** : les sédiments sont dispersés dans l'eau ou l'air sous l'effet de la turbulence.

La figure suivante (Figure I.10) montre les différentes modes de transport sédimentaires :

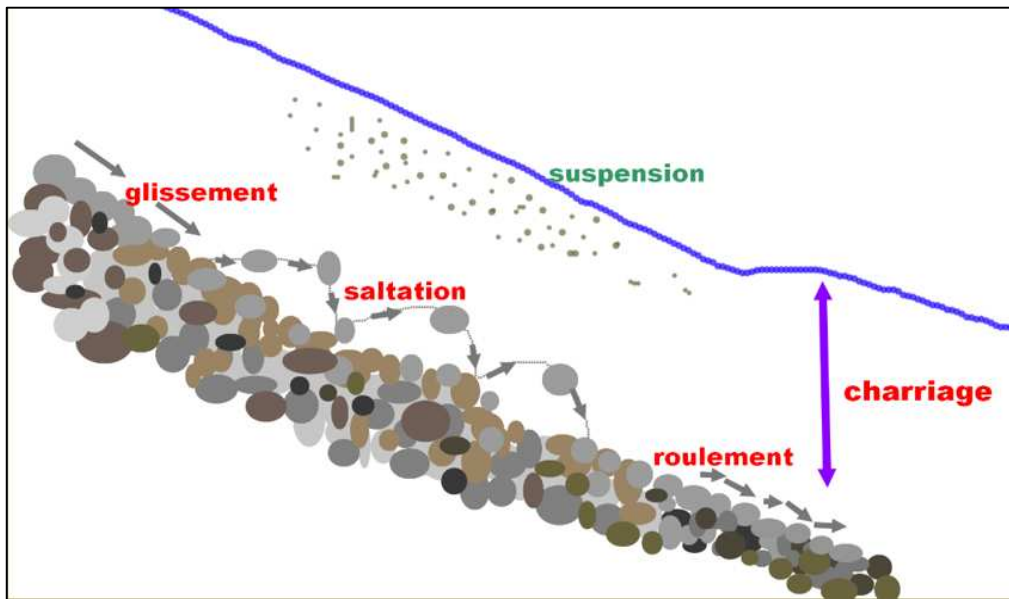


Figure I.10 : les différents modes de transport sédimentaires (Wikipédia, 2018)

1.6.1 Les compartiments sédimentaires

Les plages se situent à l'intérieur de segment côtier généralement dénommés compartiments sédimentaires, cellules hydro-sédimentaires ou bien encore cellules de transit littoral. Ces entités se définissent comme des sections de côtes où le transport de sédiment n'est pas interrompu. (Paskoff, R et Christine Clus-auby, 2007)

1.7 L'érosion côtière

L'érosion des plages s'inscrit dans le phénomène plus large d'érosion du littoral. Ce phénomène naturel s'est amplifié, de manière parfois catastrophique, depuis une vingtaine d'années. Dans le monde, 70% de plages ont tendance à reculer alors que seulement 10% s'engraissent (Paskoff, 2005).

L'érosion côtière est conditionnée par la combinaison et l'interaction de nombreux facteurs d'origine géologique (nature des roches et fracturation), d'origine climatique et hydrogéologique (pluviométrie, variation du niveau de l'aquifère et des plages, action du gel) et d'origine marine (action de la houle et des vents), qui induisent des processus pouvant libérer des particules puis les mobiliser.



Chapitre II
Présentation de la
zone d'étude

Dans ce chapitre, un examen des contextes géographiques, géologique et géomorphologique de la zone d'étude est effectué afin de bien identifier les différentes caractéristiques du terrain.

1. Situation géographique

1.2 Baie de Bou-Ismaïl

La Baie de Bou Ismail, anciennement appelée **Castiglione**, est l'une des plus importantes baies de la côte algérienne, elle est située dans la partie centrale du littoral algérien, à 50 km à l'Ouest d'Alger dans la wilaya de Tipaza, entre 2°25' à l'Ouest et à 2°55' à l'Est.

1.3 Baie de Chenoua

La baie de Chenoua constitue la partie ouest de la baie de Bou-Ismaïl, à environ 100 km à l'ouest d'Alger dans la wilaya de Tipaza.

La baie de Chenoua s'étend sur 7.5 km environ, et ce du phare du port de Tipaza, jusqu'à la pointe du four à l'ouest (la partie saillante du massif du Chenoua) (**Abdelhak K et Chabou S, 2001**)

Les coordonnées géographiques sont :

Latitude : 36°36'49.79'' N, Longitude : 2°24'15.75''

1.4 Zone d'étude

Notre zone d'étude se trouve dans la partie ouest de la baie de Chenoua ; c'est la plage de Chenoua qui est insérée entre le mont Chenoua à l'ouest et la plage Matares à l'Est. C'est une plage sablonneuse avec quelques roches dans la partie occidentale. C'est la plage où se jette l'Oued Nador.

Chenoua plage se trouve à l'Est de la ville Chenoua qui est une partie du territoire de la commune de Tipaza, wilaya de Tipaza, et qui s'étend sur une superficie globale d'environ 32 Ha, avec un linéaire côtier est égale à 3 Km. Le rivage de Chenoua plage orienté sensiblement sud-est et nord-ouest, elle est délimitée (**APC Tipaza, 2018**) :

- **Au Nord** : par le chemin de la wilaya n°109.
- **Au Sud** : par Djebel Chenoua.
- **A l'Est** : par une ligne électrique à moyenne tension et Djebel Chenoua.
- **A l'Ouest** : par une Chaaba.

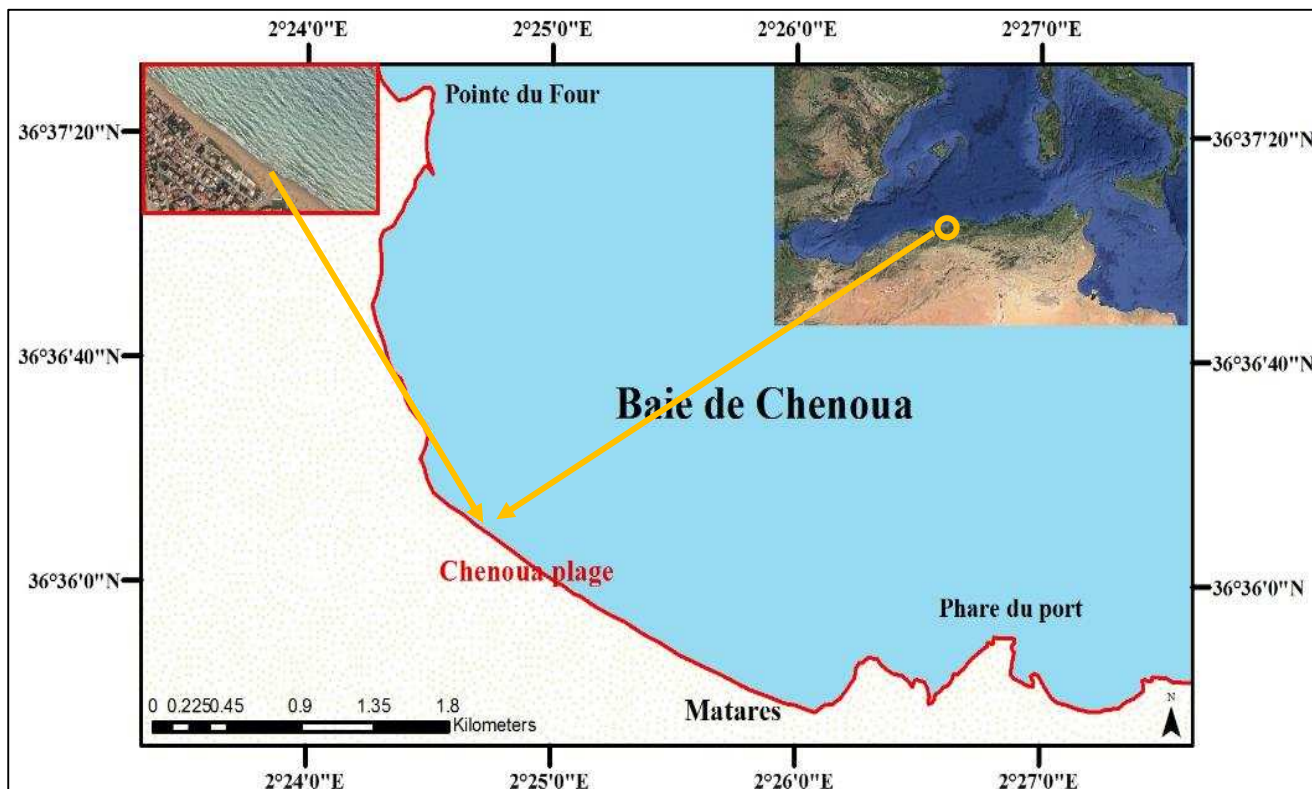
a. Coordonnées géographiques :

Elle se situe entre 36°36'22.45'', 36°35'44,13 ''Nord et 2°25'23,19'', 2°24'01,16''EST.

b. Caractéristiques dimensionnel

- Longueur de la plage environ 1.610 Km ;
- Largeur de la plage environ 50m ;
- Superficie de la plage environ 6.265 Ha.

La situation géographique de chenoua plage est représentée par la figure suivante (FigureII.1) :



FigureII.1 : situation géographique de la zone d'étude

2. Cadre topographique régional

2.1. Géomorphologies

La définition du degré de sensibilité d'un site face aux agressions marine passe par la connaissance géomorphologique et géologique du terrain de la zone d'étude.

2.1.1. Le massif de Chenoua

Il constitue une structure montagneuse et culmine à 905 m. les pentes sont très accentuées et le contact avec la mer est souligné par des falaises rocheuses très disséquées par l'érosion marine (Sallay M, 2012).

2.1.2. Baie de Chenoua

Cette baie se présente sous forme de cuvette très envasés orienté Nord-Est ; elle s'ouvre sur environ 7 kilomètre.

Du cap du four jusqu'à Boumachouk (sur 2.3 km de long). La cote est formé par des falaises abruptes ou on remarque l'existence des grottes entaillés dans les roches tendres(un massif rocheux), puis se poursuit par une plage de sable formée sur 3km de linéaire côtier (Chenoua plage) traversée par l'oued Nador qui débouche au centre de cette dernière.

Du Matares au phare de Tipaza, la cote est formée de falaises de grés sur 1.4 km de long. La côte est rectiligne sur son ensemble mais interrompue par l'embouchure d'Oued Nador dans sa partie centrale.

2.2. Morphologie sous-marine

On considère généralement que la courbe bathymétrique 2000m, limite la marge continentale et le domaine des plaines abyssales. Au niveau national, sa largeur moyenne est de 24 km. En effet elle est de 10 km devant Bouzaréah, alors qu'elle atteint 55 km au maximum dans la baie de Bou Ismail dans laquelle s'incruste la zone étudiée (**Eco-Chatabi A et Sais K, 2000**).

La marge continentale de la zone d'étude a une déclivité régulière. Du rivage vers les plaines abyssales nous avons :

a. Le plateau continental

C'est la partie de la marge continentale comprise entre la côte et le sommet du talus continental situé à une profondeur moyenne de 200 m. en plan incliné, il est généralement accidenté par des reliefs continentaux plus ou moins retouchés par les processus marins et plus ou moins enrobé par des sédiments d'origine continentale ou biologique (**PAC Tipasa, 2016**). (voir figure II.3.)

La carte bathymétrique établie par ROSEFELDER en 1956 (**Leclaire, 1972**) montre que :

- **Dans la baie de Bou-Ismaïl** : sa largeur oscille entre 4 km devant Cherchell et 11 km au droit de l'embouchure de l'oued Mazafran. Avec une pente douce et perturbée par quelques pointements rocheux localisés au large de Mazafran et Bou-Ismaïl.
- **Au large de Chenoua** : le plateau continental est très réduit, les profondeurs de -120 m sont atteintes à 3.6 km et s'éloignent à 5.7 km à l'Ouest du massif, le fort relief est à l'origine du rétrécissement du plateau continental (**Eco-Chatabi A et Sais K, 2000**).

Selon (**Dagorne, 1973**), ce plateau est caractérisé par une déclivité régulière et faible (environ 1%). La première ligne d'inflexion est à -120m de profondeur, elle marque la limite du plateau continental ; le rebord du talus continental. Au-delà de cette ligne, les fonds sont caractérisés par une décroissance régulière, mais avec une pente plus forte.

b. Le talus continental

Son début est marqué par une deuxième ligne d'inflexion située à 400 m de profondeur et une distance de 35 km du rivage, avec une pente nettement plus forte pouvant atteindre 10 degrés. A 50 km du rivage, les profondeurs sont de l'ordre de 2500 m, constituant les plaines abyssales (**Dagorne, 1973**).

2.3. La sédimentologie de la baie de Chenoua

Il existe dans la baie de Chenoua trois sortes de sédiments dominants :

- Les sables et sablons siliceux, qui peuvent s'étaler jusqu'à -20 m de profondeur. Il faut aller jusqu'au Chenoua plage, pour trouver une plage de sable et sablon typique aux débouchés de l'oued Nador ;
- Les sédiments silicio-argileux, qui se composent en moyenne de 50% de sablons siliceux, 30% d'argiles et 20% de calcaires ;
- Les boues argilo-siliceuse, recouvrant le rebord et le début du plateau continental, et contenant de 40% à 50% d'argile (*Seffah D et Tala A, 2017*) (voir fig. II.4.)

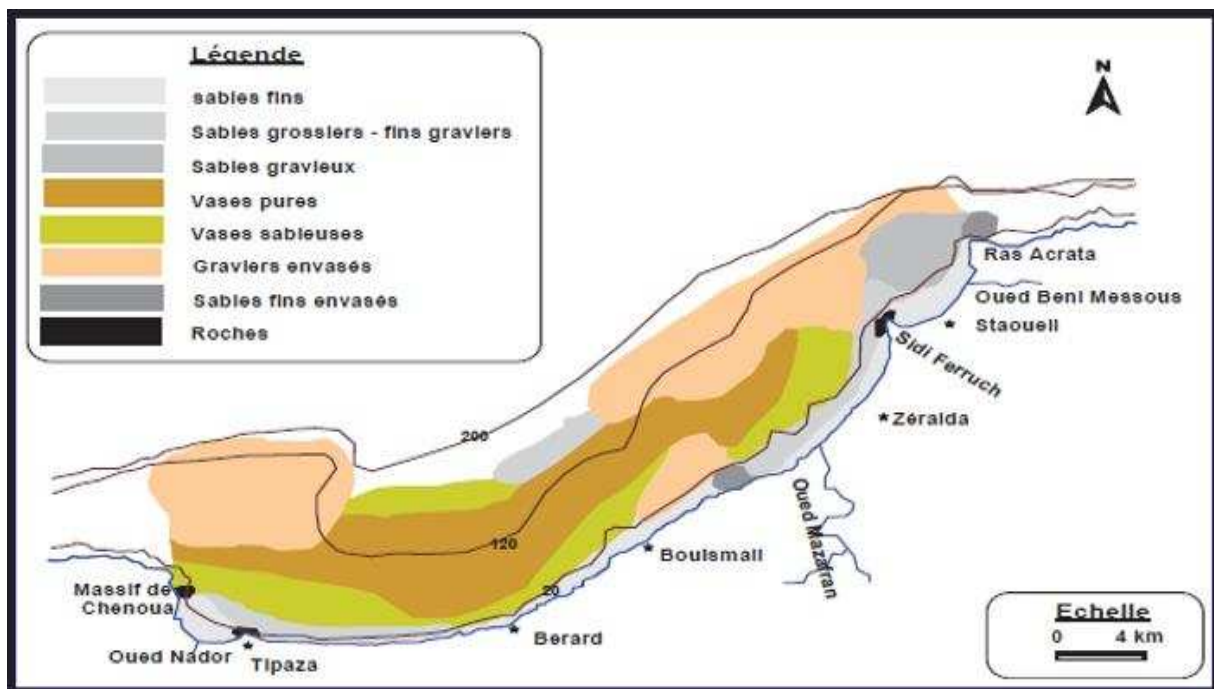


Figure II.3 : Sédimentologie de la baie de Bou-Ismaïl (*Grimes, 2003*)

2.4. Géologie

2.4.1. La baie de Chenoua

La baie de Chenoua est très riche sur le plan géologique (*Abdelhak K et Chabou S, 2001*). en effet, on a :

- **Le primaire**, dans les parties intérieure, il est constitué de :
 - Schistes et grés du Dévonien, qui se trouvent sur le mont Chenoua.
 - Conglomérats, grés et argiles du Permien, s'allongeant du sud-ouest vers le Nord-Ouest, ainsi que plus au nord (bordant la mer).
- **Le secondaire**, qui est constitué de :
 - Calcaire et marnes du trias et du lias, formant une sorte d'alvéole sue le Chenoua, adjacente aux dépôts du permien.
 - Flyschs gréseux du crétacé, plus au sud, s'allongeant d'Est vers l'Ouest.

- **Le tertiaire**, constitué de
 - Poudingues et marnes gréseuses de l'oligocène, formant le sommet du mont Chenoua.
 - Grés, marnes et calcaires qui forment les deux côtés de l'oued Nador, avec quelques dépôts de sables argileux actuels provenant du pliocène.
 - **Le quaternaire** est constitué de :
 - Terrasses du pléistocène formant la rive gauche d'oued Nador.
 - **Alluvions actuels**, qui est :
 - Les débits solides apportés par le Nador et repartis de part et d'autre, formant ainsi le lit de cet oued .d'après les travaux effectués par l'office national du tourisme (O.N.A.T), la pleine inondable du Nador est formée de vase et de sable fin d'âge holocène dans un milieu fluvial et lagunaire à l'arrière d'un cordon dunaire. En tant que Chenoua plage est formée par les apports d'oued Nador. Ce sont donc des alluvions actuelles (sable fin). La figure suivante représente la carte géologique de la baie de Chenoua (Voir fig.II.5) :

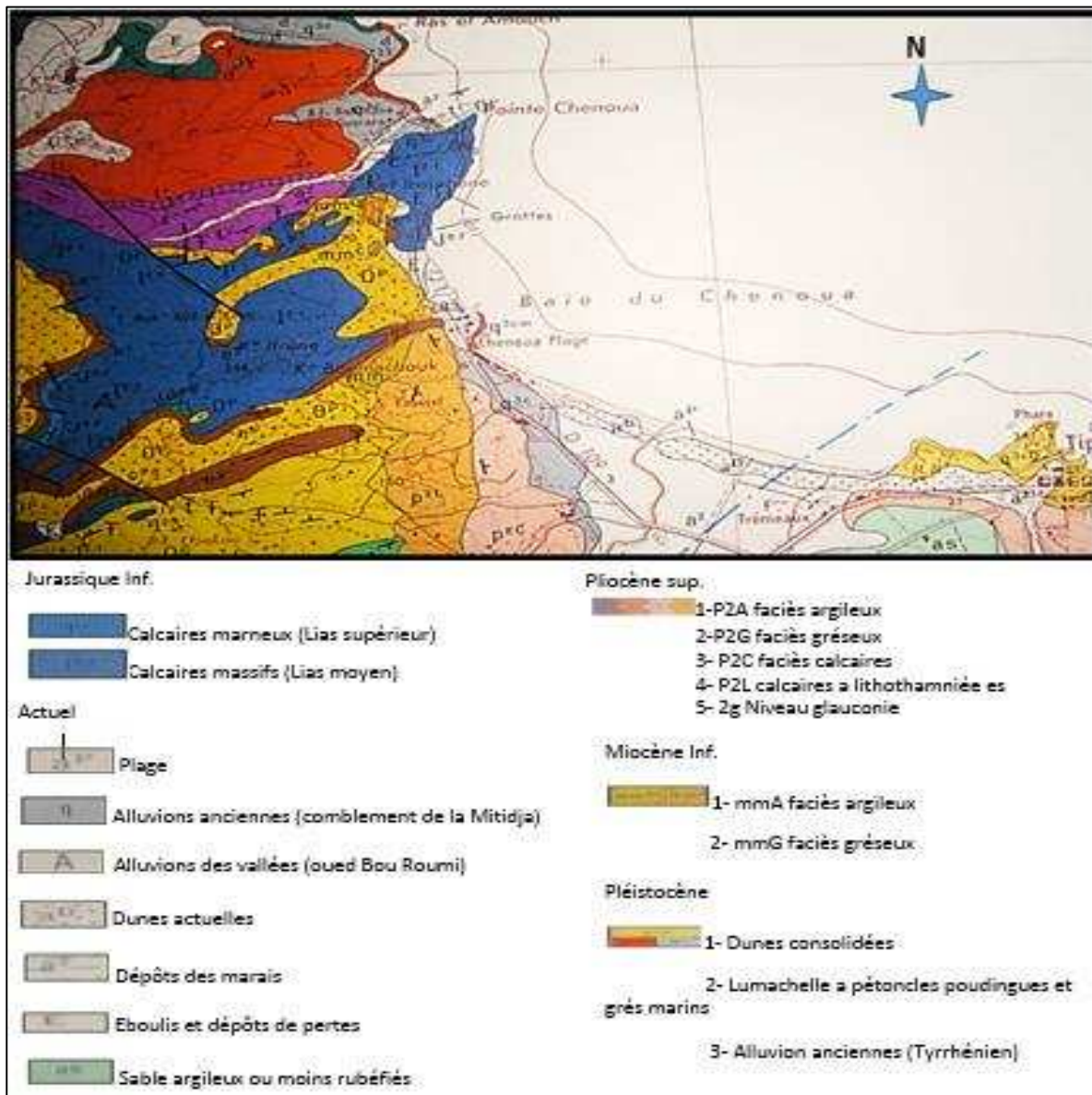


Figure II.4 : Carte géologique détaillée de la région de Chenoua, tirée et modifiée à partir de la carte géologique de Tipaza, l'échelle 1/50000, (S.G.N, 1981)

2.4.2. Faille de Chenoua

Dans le contexte de la géodynamique de la zone d'étude qui se situe au nord de l'Algérie, elle a engendrée un structure tectonique (faille) d'activité sismique qui délimite le massif Chenoua au sud et s'étend au large en direction nord-est, la longueur et la géométrie de cette faille son mal étudiée car elle se prolonge au large,

Une partie terrestre et une partie subméridienne en mer, les répliques de ces deux cas suggèrent deux plans de failles parallèles de direction NE-SW en plongeant vers le NW avec un angle de 45° (*PAC Tipasa, 2016*)

2.4.3. Le massif de Chenoua

Son point culminant à 905 mètres d'altitude est témoin d'une activité tectonique déjà ancienne (secondaire) qui se maintient encore comme l'indique la surrection continue de ce massif. Une importante épaisseur de lumachelle se démarque sur le versant oriental (*Saoudi, 1982*). (Voir fig.II.7)

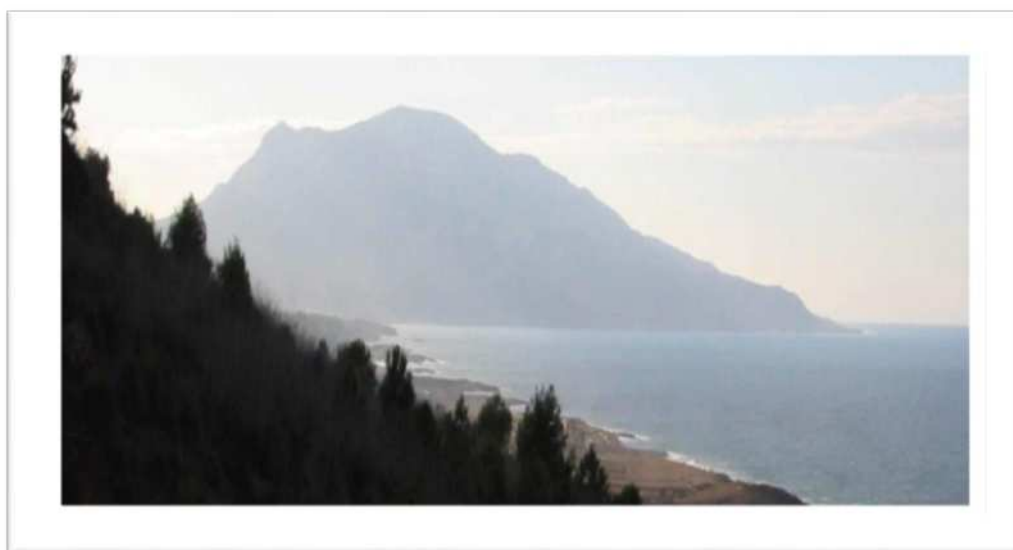


Figure II.5 : Le mont de Chenoua

3. Cadre climatique et hydrodynamique de la zone

La détermination du caractère de climat est très importante pour mieux apprécier les régimes hydrodynamiques, déployés au niveau de la zone côtière, responsables de toute transformation morpho-sédimentaire.

Le climat de cette région est de type Méditerranéenne ; caractérisé par une saison humide et froide et une saison sèche et chaude.

Cet arrangement sera assuré par l'analyse de deux paramètres les plus déterminants à savoir : les températures et les précipitations .Cette évaluation c'est effectuée en fonction de la disponibilité des informations qui fournissent par la station de Bouharoun (*ONM, 2018*), dont la période étudié s'étale sur 10 ans (2006-2015).

3.1 La température

Sur le littoral, les amplitudes thermiques sont tempérées par la mer, la température ne descend pratiquement jamais en dessous de 0°C et ne dépasse guère 40°C. La température moyenne est de 10°C en Janvier et 25° en Août.

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

Les données concernant les températures mensuelles maximales, moyennes et minimales de la station sont présentées dans le tableau (01) suivant :

Tableau II.1 : les températures de la station de Bouharoun (ONM, 2018).

Paramètres	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dèc
températures maximales	16,7	17,2	19,2	21,3	23,7	27,1	30,1	30,8	28,4	26,1	21,1	17,5
températures minimales	10,5	10,2	11,9	14,2	16,7	19,8	22,7	23,3	21,1	18,3	14,4	11,6
températures moyennes	13,6	13,7	15,6	17,8	20,2	23,4	26,4	27,1	24,7	22,2	17,7	14,6

Les températures moyennes varient entre 20°C et 27°C pour les moins chauds de l'été et entre 13°C et 17°C pour les moins les plus froids. (Voir fig.II.8)

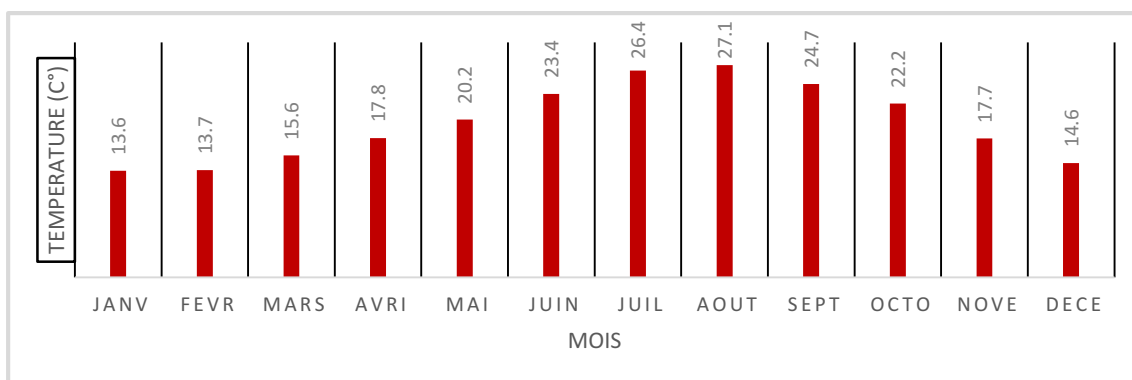


Figure II.6 : Moyennes mensuelles des températures de 2006-2015 dans la région de Bouharoun

3.2 La précipitation

La région de Chenoua est caractérisée par une moyenne des précipitations annuelles d'environ 556.5 millimètres et une moyenne mensuelle des précipitations le long de l'année d'environ 46.37.

On constate une forte précipitation moyenne durant le mois de novembre est de 123.3 millimètres.

Une nette diminution des précipitations a été enregistrée (Mai-Juin) avec une valeur moyenne de 23.27 millimètres.

Tableau II.2 : Moyennes mensuelles des précipitations de 2006-2015 dans la région de Bouharoun (ONM, 2018).

Statistiques	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juill.	Aou	Sep	Oct	Nov	Dèc	Annuel
Max	122,3	214,10	89,4	105,0	92,0	32,7	12,7	37,7	129,3	115,4	351,6	150,3	788,9
Min	12,8	18,60	10,8	0,0	3,1	0,0	0,0	0,0	1,7	2,5	32,0	0,0	384,6
Moy	57,3	66,99	49,2	39,0	37,3	9,3	1,7	8,2	36,2	52,5	123,3	75,6	556,5

Le taux de moyenne mensuelle des précipitations de 2016-2015 dans la région de Bouharoun. (voir fig.II.9)

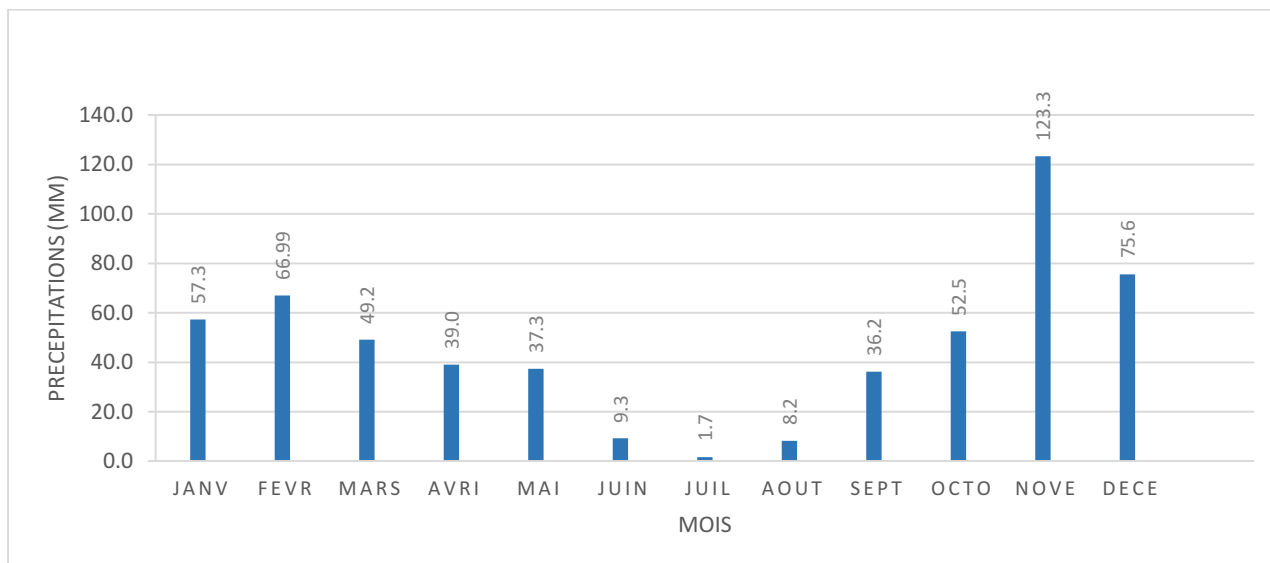


Figure II.7 : Moyennes mensuelles des précipitations de 2006-2015 dans la région de Bouharoun

D'après les données de précipitation, et à partir de ces histogrammes, on peut déduire que la zone d'étude est soumise à un climat méditerranéen connu par ces deux saisons bien distinctes :

- Une saison estivale sèche allant de Mai à Septembre (précipitation moyenne est 18.52 mm).
- une saison hivernale humide allant de mois d'Octobre à d'Avril (précipitation moyenne est 66.26 mm).

3.3 Les vents

Les vents ont une action majeure sur la dynamique littorale. Ils sont à la fois responsables de la formation des houles au large, de la génération de courants, ainsi que de la variation du niveau de la mer à la côte. Ils contribuent ainsi aux transits sédimentaires littoraux et à l'évolution morphologique des plages.

Le régime climatique est caractérisé par des vents qui ont des fréquences différentes durant l'année, les plus dominants ont de direction Sud et Ouest, quant au Sirocco il est rarement enregistré au cours de l'hiver par contre les galées sont fortement influencées par l'altitude. Les vents nous indiquent la direction du transport éolien des sédiments en effet, les vents de direction Ouest sont responsables du démaigrissement de la plage de Chenoua (*PAC Tipaza, 2016*).

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

Analyse du régime des vents est effectuée à partir des ressources de données météorologie de DAR-EL-BAIDA, 2009 :

Direction	Nord	Nord Est	Est	Nord-Ouest	Ouest
Vitesse m\s					
0.5-1.54	1.1%	1%	1.4%	0.7%	1%
2.40-5.1	4.8%	6.5%	9.1%	6.1%	10.4%
5.61-10.7	2.4%	2.8%	5.6%	6.1%	13.2%
11.2-11.73	0.6%	0.5%	0.5%	2.7%	5.3%
17.34-23.97	0.1%	0%	0.1%	0.8%	1.1%
25	0%	0.1%	0%	0.1%	0%
Total	Secteur Nord à Est			Secteur Ouest à Nord	
	36.6%			47.5%	

Tableau II.3 : Fréquence d'apparition des vents par intensité et par direction (*ONM, 2009*)

A partir de ces données, on note la prédominance de deux secteurs :

- Le secteur Ouest à Nord-Est avec 47,5%.
- Le secteur Nord à Est avec 36.6%.

Les vents qui proviennent du Nord-Ouest, sont les plus susceptibles d'engendrer les houles les plus violentes.

Les données concernant les vitesses des vents mensuelles maximales, moyennes et minimales de la station sont présentées dans le tableau suivant :

Statistiques	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aou	Sept	Oct	Nov	Déc
Max	12,7	11,6	13,3	8,7	7,7	7,8	6,9	7,9	7,6	7,0	9,6	9,3
Min	7,7	8,7	7,0	6,7	6,6	6,2	6,4	6,1	6,6	6,3	7,8	5,9
Moy	10,0	10,2	9,6	7,4	7,2	6,9	6,7	6,7	7,2	6,8	8,5	7,7

Tableau II.4 : Moyennes mensuelles des vitesses des vents de 2006-2015 dans la région de Bouharoun (ONM, 2018)

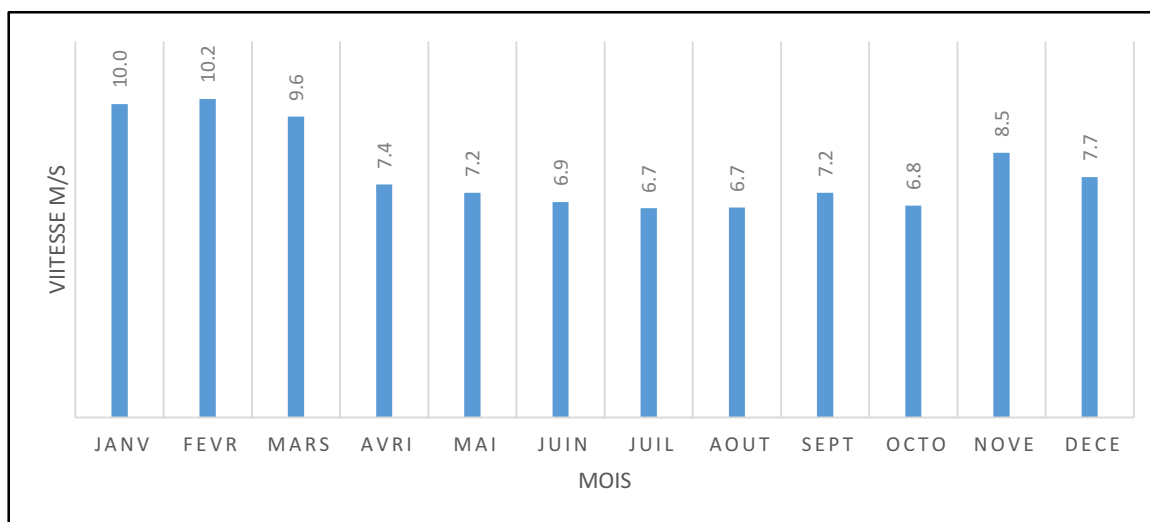


Figure II.8 : Moyennes mensuelles des vitesses des vents de 2006-2015 dans la région de Bouharoun

4. Contexte hydrologique

4.1 Réseaux hydrographique

Le réseau hydrographique de la partie Ouest de la wilaya se caractérise par la présence d'Oueds à régime temporaire et irrégulier. En été, les lits des oueds sont quasiment à sec où se réduisent à de simples filets d'eau, par contre ils connaissent des crues très violentes pendant la saison hivernale.

Oued Nador situé sur la partie occidentale, il est le seul réseau hydrographique qui s'écoule entre le massif abrupt de Chenoua ,les reliefs les plus plats du sahel ,il suit grossièrement l'axe du sillon synclinal de la vallée avant de débouchée dans le baie de Chenoua, il est formé par les oueds : Bouyersen, Boumardonne, Meurad, et oued Bourkika .son principale débit liquide est de 37.84hm³/an et une charge sédimentaire estimée à 28.10⁶ m³/an avec un bassin versant couvrant près de 230 Km².

Les apports de cet oued influent sur la couverture sédimentaire dans Chenoua plage.(voir fig.II.11).

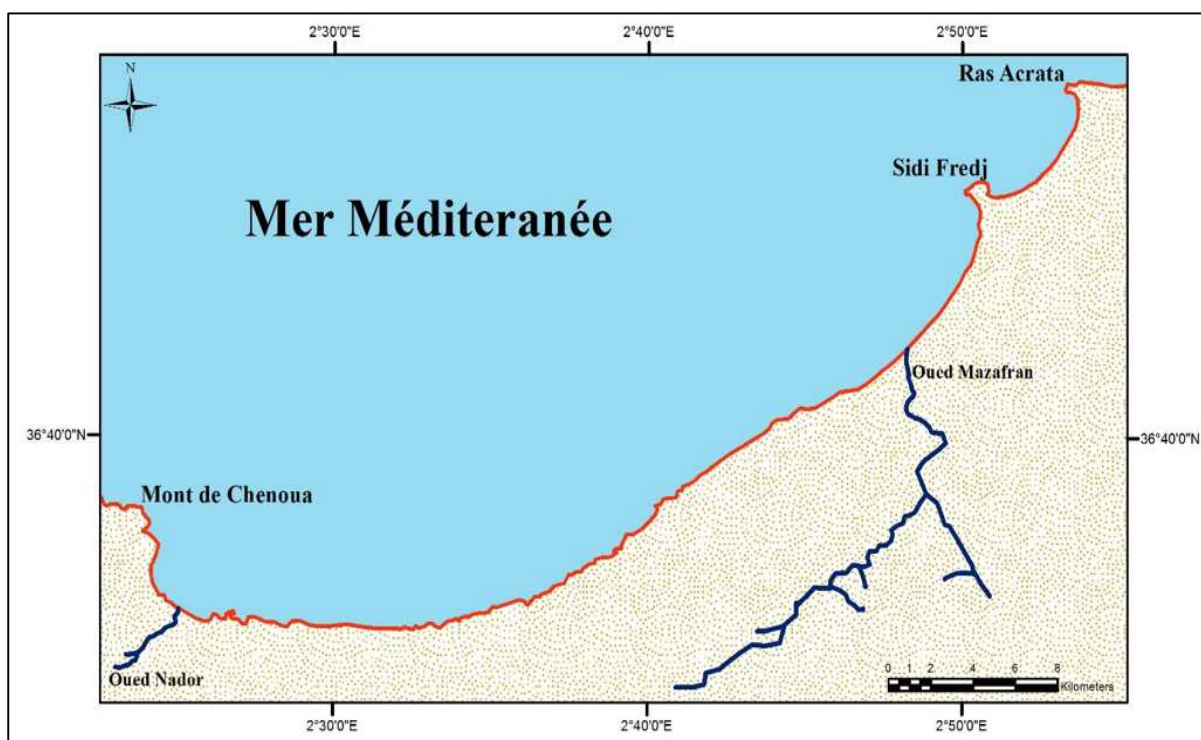


Figure II.9 : Réseau hydrographique de la baie de Bou-Ismaïl

5. Hydrodynamique côtière

La connaissance des paramètres hydrodynamiques (courants, vagues), est un objectif fondamental du fait du rôle direct de ces derniers sur la dynamique des particules dans la zone littorale, ainsi que le modelé côtier.

En méditerranée, les autres paramètres (marée et courant généraux) n'y jouent qu'un rôle modeste .A l'inverse des houles et des vagues qui peuvent être très violents.

5.1 La marée et la variation du niveau marin

L'amplitude de la marée est généralement faible en Méditerranée ; 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 climatologique.

En moyenne, la marée de pleine lune est de 25 à 30 cm et celle de la nouvelle lune de 5 à 15 cm. D'autre phénomène peuvent se superposer à cet effet astronomique tels que la pression atmosphérique, les seiches,... De forts vents marins locaux peuvent aussi, par action directe sur la surface de la mer, entraîner au rivage un gonflement du plan d'eau.

Le niveau de la surface de la mer pourrait ainsi atteindre une surélévation maximale de 1 m environ, du fait des phénomènes ci-dessus :

5.2 Les houles au large

Les données de la houle au large sont reprises d'un document intitulé " Summary of Synoptic Meteorological Observation "(S.S.M.O Tome 2, zone Algiers).ces données s'étalent sur une période de 8 ans de 1963 à 1970.

- Fréquences mensuelles de la houle

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

Tableau II.5 : Fréquences mensuelles de la houle au large (*SSMO 1963-1970*).

Mois	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Janvier	8.10	12.90	18.20	5.00	6.50	13.20	28.80	7.30
Février	8.80	10.30	12.60	4.00	6.10	16.90	35.60	5.80
Mars	11.30	12.60	15.80	3.60	4.50	12.30	30.50	9.20
Avril	11.70	15.40	16.00	2.00	4.40	13.70	26.70	10.20
Mai	8.20	26.30	31.90	3.00	3.30	7.20	13.90	6.20
Juin	9.20	29.10	29.80	1.80	1.40	8.20	16.40	4.20
Juillet	5.90	32.50	35.10	1.40	1.00	5.90	16.30	2.00
Août	8.80	27.70	37.30	1.90	1.10	5.00	13.40	4.90
Septembre	6.70	26.40	40.50	2.20	2.30	4.60	14.80	2.50
Octobre	7.80	14.10	20.30	3.20	4.20	14.80	28.80	6.80
Novembre	5.50	5.80	10.00	5.10	8.00	15.90	40.40	9.40
Décembre	10.20	6.20	9.40	4.60	7.50	15.00	37.10	10.00

Les houles d'Ouest, d'Est et de Nord –Est sont les plus fréquemment observées .les fréquences d'observation sur 14année des houles d'Est et l'Ouest sont sensiblement identiques avec toutefois une légère prédominance 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.

- Relation période-amplitude de la houle au large

La répartition des périodes de la houle est donnée par état de mer dans le tableau ci-dessous :

Tableau II.6 : répartition des états de mers par période (*SSMO 1963-1970*).

Etat de la mer	Période de la houle					
	< à 6 s	6 à7 s	8 à 9s	10 à 11s	11 à 12 s	13s
Calme	5.20	0.10	-	-	-	-
0	20.80	1.90	0.40	-	-	-
1	24.60	13.10	2.70	0.50	0.20	-

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

2	2.60	5.40	3.10	0.90	0.20	-
3	0.40	1.10	1.00	0.60	0.20	-
4	0.10	0.50	0.30	0.30	0.30	-
Totale	53.70 %	22.10 %	7.50%	2.30%	0.90%	-

Les houles observées ont pour la majorité une période courte (pour 75% des cas, la période est inférieure ou égale à 7s) et seul 3% des houles ont une période comprise entre 10 et 13 s. La relation entre état de mer et hauteur de l'agitation fait l'objet du tableau ci –après :

Tableau II.7 : relation état de mer – Hauteur de l'agitation (*SSMO 1963-1970*).

Degré	Amplitude (mètre)	Etat de mer
Calme	<0.25	Ridé ou belle
Degré0	0.25-0.75	Ridé ou belle
Degré1	0.75-1.75	Modérée
Degré2	1.75-2.75	Agitée
Degré3	2.75-3.75	Forte
Degré4	>3.75	Très forte ou supérieure

L'agitation provenant des secteurs Ouest et Est est la plus fréquente, néanmoins par forte houles le secteur ouest prédomine. Les houles de tempête proviennent essentiellement du secteur ouest. Pour les secteurs nord et nord-est les fréquences d'apparition sont très faibles.

Les Roses de Houles

Ainsi que les résultats de l'analyse statistique des données de houles et de vents qui sont regroupées (**MEDATLAS**) nous permet de savoir-faire l'analyse des régimes de houles au large des côtes de notre site d'étude. Ces données sont rassemblées, analysées et publiées dans le (**WIND AND WAVES ATLAS OF THE MEDITERRANEAN SEA**) en 2004. (Voir fig. II.12, II.13).

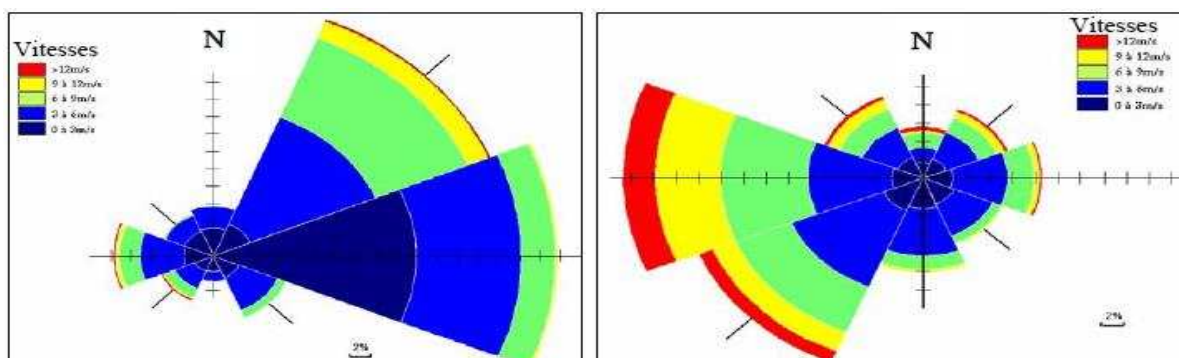


Figure II.10. B : période été calme : 72.74%

Figure II.10. C : période hiver calme : 72.25 %

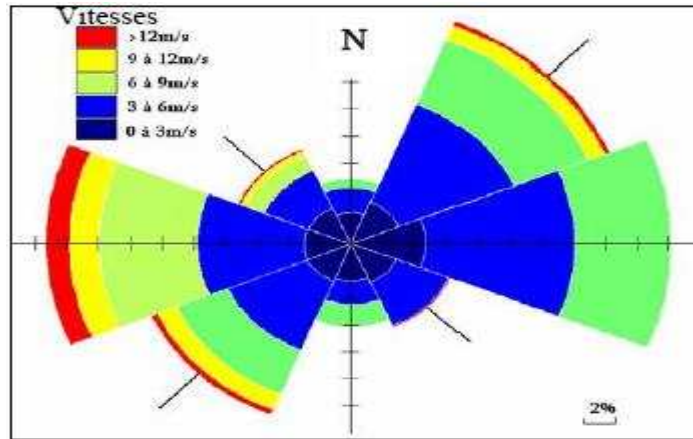


Figure II.10. A : Rose annuelle du vent calme : 93.27.89 %

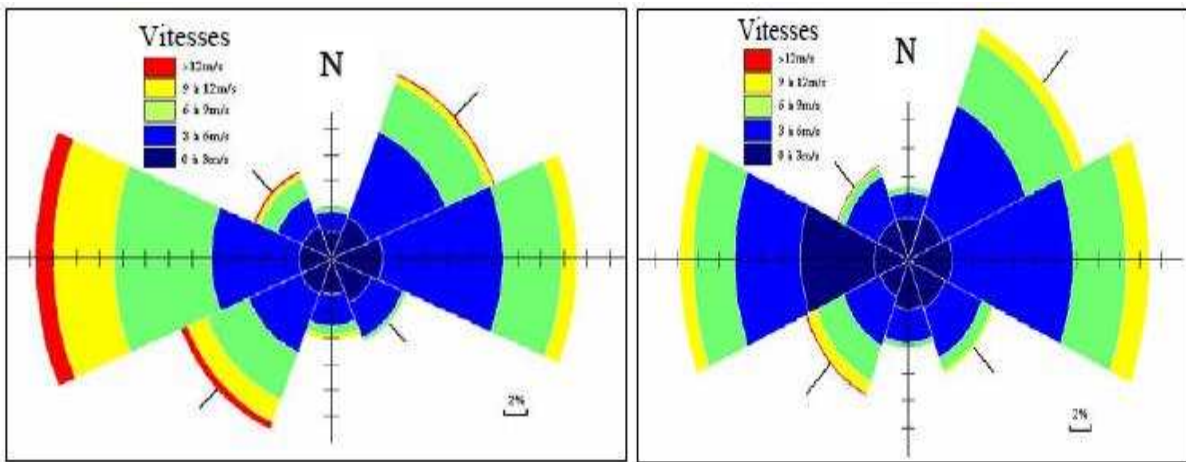


Figure II.10. D: période printemps calme : 60.16% Figure II.10.E: période Automne calme : 72.66 %

Figure II. 10 : Rose trimestrielle et annuelle du vent,source des données (MEDATLAS) en 1994-2004, S.BOUAKLINE.

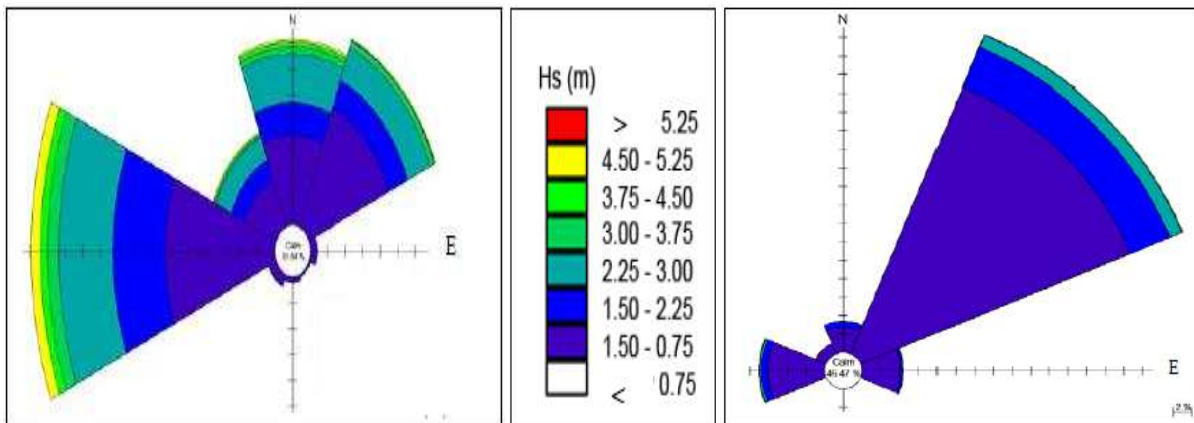


Figure. II.11 B : période hiver ;période calme :31.84% Figure. II.11 C : période été ; période calme 46.47%

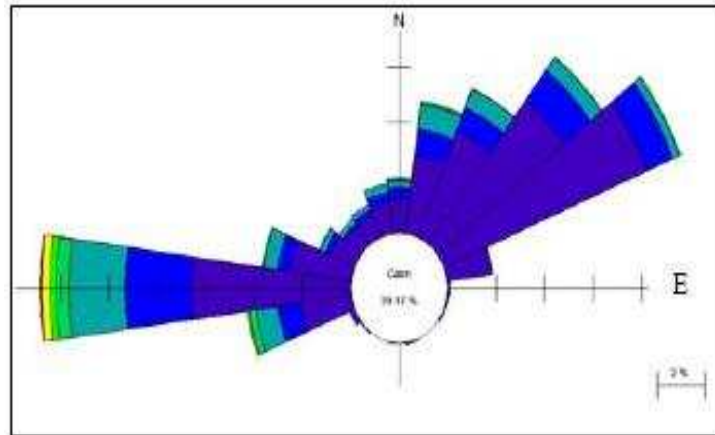


Figure. II.13 .A : rose annuelle de houles ; période calme 39.17%

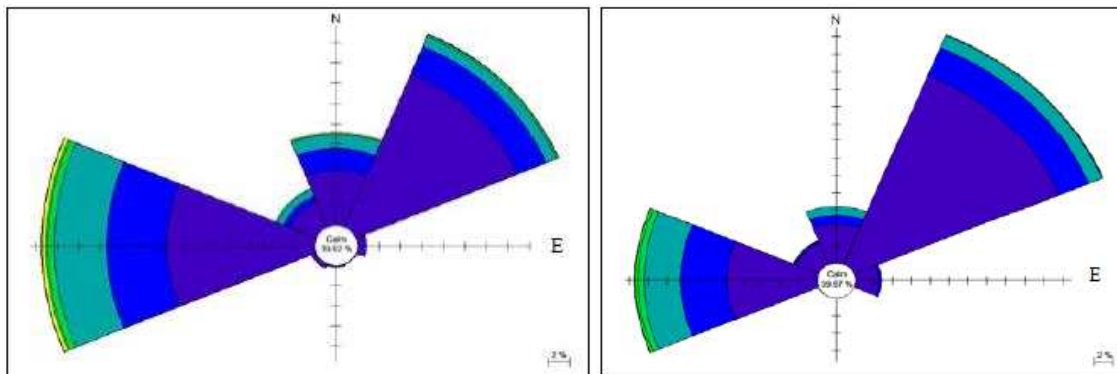


Figure. II.11.D : période Automne ; période calme : 39.02% Figure II.11 .E: période printemps ; période calme : 39.57%

Figure II.11 : Roses trimestrielles et annuelles des houles, source des données (MEDATLAS) en (1994-2004), (S.BOUAKLINE, 2009).

- Les houles de secteurs Ouest et NORD-EST sont dominantes avec des fréquences respectives de 20% et 27% environ.
- Les fortes agitations marines dont la hauteur significative est supérieure à 2.5m se rencontrent surtout pendant les deux saisons automnale et hivernale. En saison estivale les agitations marines sont moins fréquentes. Les houles dominantes arrivent essentiellement du secteur Nord Est (N60°). L'amplitude maximale de ces houles ne dépasse pas en générale 1.75m
- En Automne et en Printemps, les perturbations marines sont issues des secteurs Ouest (N270°) et NE (N60°). Les amplitudes significatives enregistrées varient entre 0.75m et 3m.
- Durant la période hivernale (fig. II.13.B) les agitations marines arrivent du premier quadrant et le quatrième quadrant avec trois directions essentielles, l'ouest (N270°), le Nord (N00°) et le Nord Est (N60°). Les fortes agitations marines avec des amplitudes supérieures à 3m sont moins fréquentes 2 à 4 % et proviennent essentiellement de secteur Ouest (S, BOUAKLINE, 2009).

5.3 Les courants

Les courants dus aux houles sont les seuls à être capable d'assurer la mise en mouvement des sédiments, les autres courants ne font que d'ajouter aux courants de houle pour véhiculer ces matériaux (LEM, 2009) :

La côte subite des courants côtiers induits par les vents où par les houles à quelques distances des plages plus au large, on rencontre le courant permanent dirige d'Ouest en Est, la vitesse de ce courant peut atteindre deux nœuds.

Il est certain que les caractéristiques de ces courants et leurs fluctuations sont étroitement liée au régime des vents et des houles.

Deux types de courants sont identifiés :

5.3.1 Les courants généraux

Le courant général des eaux atlantiques de Gibraltar s'écoule vers l'Est .ce courant évolue généralement avec une vitesse de 0.5 m/s au large des côtes algériennes.

Au niveau de la zone d'étude, il y a possibilité d'existence d'un contre-courant littoral dirigé vers l'Ouest.

5.3.2 Les courants côtiers

Le courant côtier est un courant qui conditionne la dynamique sédimentaire le large du rivage Le sens et l'intensité de ces courants sont fonction de : l'amplitude, l'incidence de la houle par rapport à la côte, la topographie de la plage sous-marine ainsi que la granulométrie du sédiment.

La conséquence de la mise en contact de la houle avec les irrégularités des fonds est la formation de rouleaux, ceux-ci provoquent la mise en suspension de particules et par conséquent leur transport.

5.3.2.1 Le courant de dérive

Le courant de dérive correspondent à une zone de flot de retour à partir du courant existant .ces courants sont une source de dispersion d'une partie de stock côtier vers le large.

5.3.2.2 Les courants de dérive littorale

La dérive littorale prend naissance au niveau de la zone du déferlement, où l'énergie est maximale. Si cette énergie est importante, alors elle pourra mettre en suspension et transporter des particules sédimentaires le long de la côte.

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

Un schéma probable de la dynamique sédimentaire dans la zone d'étude peut être proposé (voir fig.II.14) :

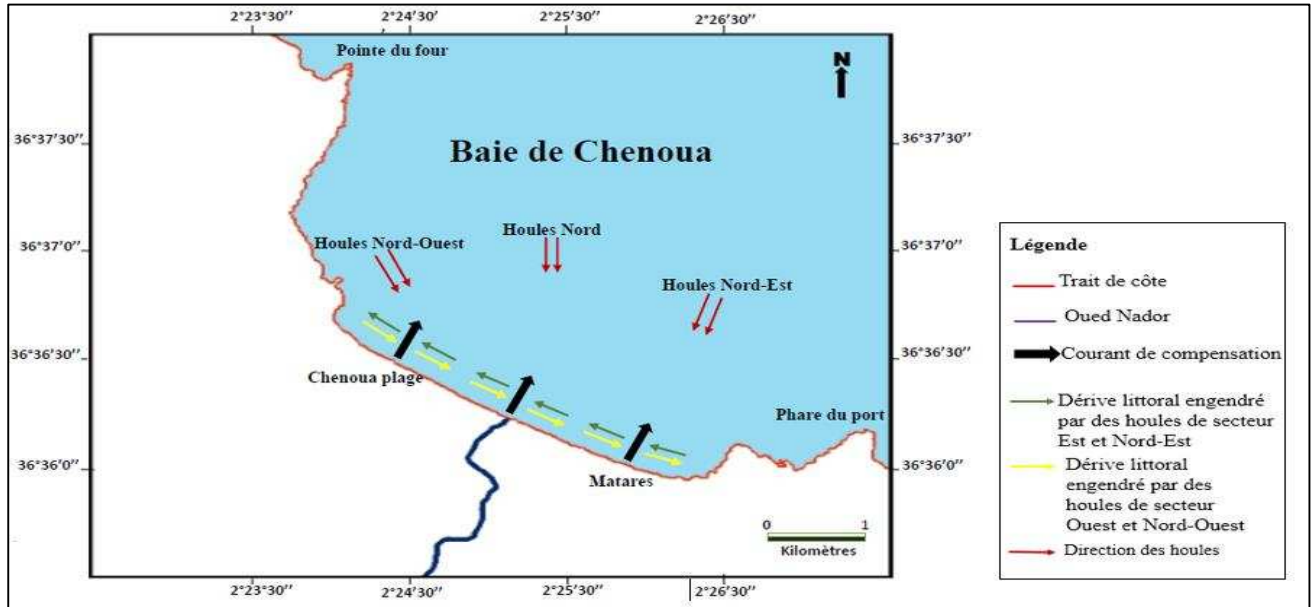


Figure II.12 : Carte de la dynamique sédimentaire dans la baie du Chenoua

Chapitre : Modélisation de l'hydrodynamique sédimentaire

Modélisation de l'hydrodynamique sédimentaire du littoral de la baie de Bou Ismail

Introduction

La zone de déferlement est le siège d'une intense activité sédimentologique. Dans certaines conditions de mer à faible marnage, où le déferlement se produit toujours dans la même zone, on constate une forte accumulation de matériaux sous forme de barre qui provoque et facilite le déferlement. Le déferlement des vagues engendre des courants (de dérive, de retour, d'arrachement) qui vont à leur tour agir sur le processus de déferlement et ainsi de suite.

Si la direction des houles incidentes n'est pas perpendiculaire à la côte, une forte composante parallèle à la côte est générée, conduisant aux courants de dérive. Le transport de sédiments non cohésifs dépend des mouvements d'eau générés soit par les courants, soit par les vitesses orbitales liées à la houle, soit le plus souvent par une combinaison de ces deux phénomènes.

La dérive littorale des sédiments est un résultat direct des propriétés des sédiments et le courant de dérive généré par l'incidence de la houle oblique. Les houles associées aux courants côtiers sont les facteurs générateurs du transport côtier du sable. Les estimations de la dérive littorale des sédiments doivent reposer sur des études analytiques de l'évolution du trait de côte prenant en compte le régime des houles et des courants dans le secteur d'étude sur une période assez longue.

La suite du logiciel MIKE 21, développée par DHI, permet de modéliser numériquement le transport sédimentaire intégrant l'ensemble des paramètres entrant en jeu dans cette problématique en prenant en compte un couplage dynamique entre la propagation de la houle, la courantologie et le transport sédimentaire.

Afin de comprendre le fonctionnement hydro-sédimentaires du littoral de la baie de Bou Ismail et la zone d'étude (Chenoua plage) en particulier, une modélisation véritablement bidimensionnelle de la propagation de la houle, de la courantologie et du transport sédimentaire est mise en œuvre.

1. Présentation de la modélisation

1.1. Principe de la modélisation

Le principe général et les phases de la modélisation mises en œuvre pour étudier les mouvements sédimentaires dans la zone d'étude :

- Modélisation de la propagation de la houle à l'échelle de la Baie
- Modélisation de la propagation de la houle à l'échelle de la plage
- Détermination de conditions climatologiques représentatives
- Modélisation couplée propagation de houle / courantologie / transport sédimentaire à l'échelle locale basée sur les conditions représentatives définies au préalable.

1.2. Présentation du modèle :

Le modèle numérique utilisé dans le cadre de cette étude est le MIKE21-DHI de l'institut hydraulique Danois qui est un puissant système de modélisation numérique des phénomènes

physiques (Houle, Courant et Transport sédimentaire), il permet de faire des simulations à grande échelle et d'augmenter la résolution des mailles de calculs à certains endroits du domaine simulé à l'aide de grilles imbriquées.

Mike 21 est un modèle de houle spectrale basé sur la conservation de la densité de l'action d'onde qui permet de simuler la propagation des états de mer dans les domaines offshore et côtier. Le modèle inclus les effets de la réfraction et de shoaling liés aux variations de bathymétrie, la génération de la houle par action du vent, la dissipation de la houle. La résolution par méthode des volumes finis se base sur le maillage flexible composé d'élément triangulaire dans le plan horizontal. Ces éléments peuvent être affinés dans les zones d'études d'intérêt particulier (DHI, 2014).

Une étude bidimensionnelle de la propagation de la houle, de la courantologie et du transport sédimentaire est mise en œuvre ; celle-ci est effectuée avec les modules HD, SW et ST, respectivement, de la suite du logiciel MIKE 21. Une courte description de ces modules est donnée ci-après.

Dans un premier temps, il s'agit de déterminer à l'aide du modèle SW le climat de houles dans la région d'intérêt. Les sortants de ce module ainsi que les niveaux d'eau aux frontières ouvertes de la grille de calculs hydrodynamiques et les vents en surface permettront de calculer les courants causés par l'effet combiné des vents et des houles au moyen du module HD. Finalement, les courants générés par le module HD et les données de houles générées par le module SW seront pris en entrée par le modèle de transport de sédiment ST qui calcul alors le transport de sédiments à chaque pas temporel des simulations hydrodynamiques ainsi que le transport net de sédiments durant la période de simulation.

1.2.1. MIKE 21 SW

MIKE 21 SW : est le module de propagation de la houle spectrale. Le modèle simule la propagation, l'évolution et la transformation des vagues générées par les vents et des houles au large et dans les zones côtières. (DHI, 2014)

MIKE 21 SW prend en compte la génération de la houle par action du vent, les interactions non linéaires vague-vague ; la Dissipation due au frottement sur le fond ; la Dissipation due au déferlement ; la Réfraction et le Shoaling due à la variation de la profondeur ; les Interactions vagues-courants et les effets de la variation temporelle de la profondeur ((DHI, 2014)

1.2.2. MIKE 21 HD

MIKE 21 HD constitue le noyau de la suite logicielle MIKE 21 en fournissant les paramètres hydrodynamiques nécessaires aux autres modules. C'est un modèle bidimensionnel pour les calculs hydrodynamiques à surface libre qui permet de simuler les variations du niveau d'eau et des écoulements, moyennés sur la colonne d'eau, en fonction des paramètres de forçage des zones côtières et du large (DHI, 2014). Le modèle hydrodynamique de MIKE 21 est utilisé pour simuler de nombreux phénomènes hydrauliques dont la marée, les courants induits par le vent et la houle ainsi que les surcotes. MIKE 21 HD prend également en compte les phénomènes d'immersion et émergence des côtes.

1.2.3. MIKE 21 ST

MIKE 21 ST calcule le transport sédimentaire sur le fond et en suspension sous l'action combinée des courants et de la houle. Dans la zone de déferlement, les courants de retour sont inclus. Le modèle est déterministe et demande un minimum de calibration. Les taux initiaux de sédimentation/érosion sont calculés sur base de l'équation de conservation de la masse sédimentaire.

1.2.4. MIKE21/3 FM

Le modèle couplé MIKE21/3 FM comprend différents modules tels que HD, ST, et SW, etc. Nous pouvons les choisir dans la simulation. Le modèle comprend également un couplage dynamique entre les modules HD et SW.

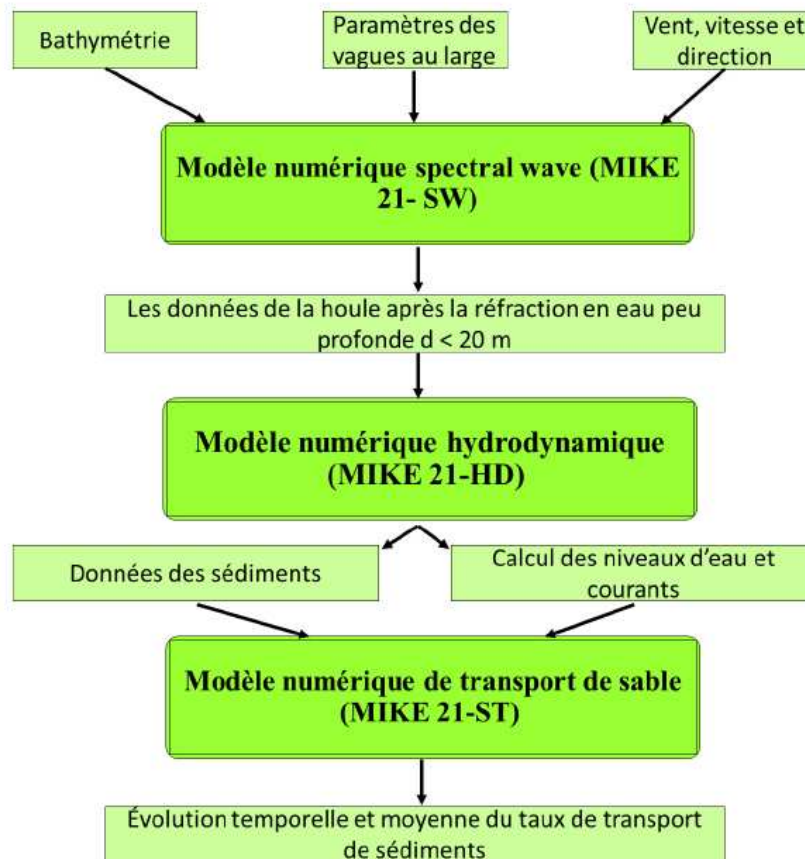


Figure III.1 : Etapes de modélisation Mike 21 : FM MIKE21/3 couplé

1.3. Construction du modèle

1.3.1. Emprise et bathymétrie

Les changements morphologiques du domaine marin et les migrations longitudinales et/ou transversales des corps sédimentaires ont pu être observés sur des cartes bathymétriques. Une carte bathymétrique a été acquise pour la baie de Bou Ismail à partir de plusieurs levés au large réalisés par GEBCO, afin d'obtenir une carte globale de la région à partir de la ligne de cote jusqu'au large (plus de 50 m de profondeur).

GEBCO (General Bathymetric Chart of the Oceans) est une organisation sous l'égide de la Commission Océanographique Internationale de l'UNESCO et de l'Organisation Hydrographique Internationale visant à fournir des données bathymétriques pour l'ensemble des océans. Les données fournies sont principalement basées sur des mesures acoustiques réalisées depuis des navires et complétées par des données satellite (radar altimétrique).

1.3.2. Création 2D Bathymétries sous le maillage

Le module “*Mesh Generator*” nous offre un environnement pour la création, l'édition et la présentation de bathymétries numériques 2D détaillées. “*Mesh Generator*” génère un format souple de maillage (MESH).

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

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

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

L'emprise et le maillage du modèle sont illustrés dans la Figure III.2 Le maillage est composé d'éléments triangulaires dont la taille a été ajustée suivant les évolutions bathymétriques et la précision souhaitée. Le pas de maille varie de 300m environ dans la zone offshore entre les isobathes -50 à -20 m puis passe à l'ordre de 10m dans la zone côtière comprise entre l'isobathe -20 m et les terres.

La carte bathymétrique du modèle est obtenue par interpolation des sondes bathymétriques et des levés topographiques sur le maillage ainsi définis. La bathymétrie obtenue (Figure, III.3) présente des valeurs comprises entre -50m et 0m par rapport au zéro hydrographique.

1.3.3. Interprétation des résultats bathymétriques

La bathymétrie obtenue pour la baie de Bou-Ismaïl présente des valeurs comprises entre -1 m et -55 m au large. Bien que l'étude bathymétrique nécessite une précision assez importante pour les calculs hydrodynamiques.

L'analyse de cette carte fait ressortir trois zones :

- **Zone Ouest** (zone d'étude) : L'analyse de la carte bathymétrique de cette zone montre des isobathes presque parallèle à la ligne de cote, moins serrés entre -1 et -35m, cela est due généralement a morphologie des fonds et les conditions hydrodynamiques ce qui montre une pente douce. Au-delà de cette profondeur, les isobathes se réorganisent et deviennent parallèle et un peu serrés vers le large.
- **La zone Est** : L'analyse de la carte bathymétrique de cette partie de la baie montre des isobathes plus au moins régulières, espacées et parallèles à la côte. Les isobathes de cette zone indiquent une pente plus douce, généralement dû au rapport solide de l'Oued Mazafran.

- **La zone centre :** L'analyse de la carte bathymétrique de cette partie montre des isobathes plus au moins régulières, plus serrés que les deux autres parties et parallèles à la côte. La zone présente un fond marin assez régulier dont les isobathes sont très rapprochées traduisant une pente abrupte. Cela du généralement à la géomorphologie de cette zone et à la présence des côtes rocheuses.

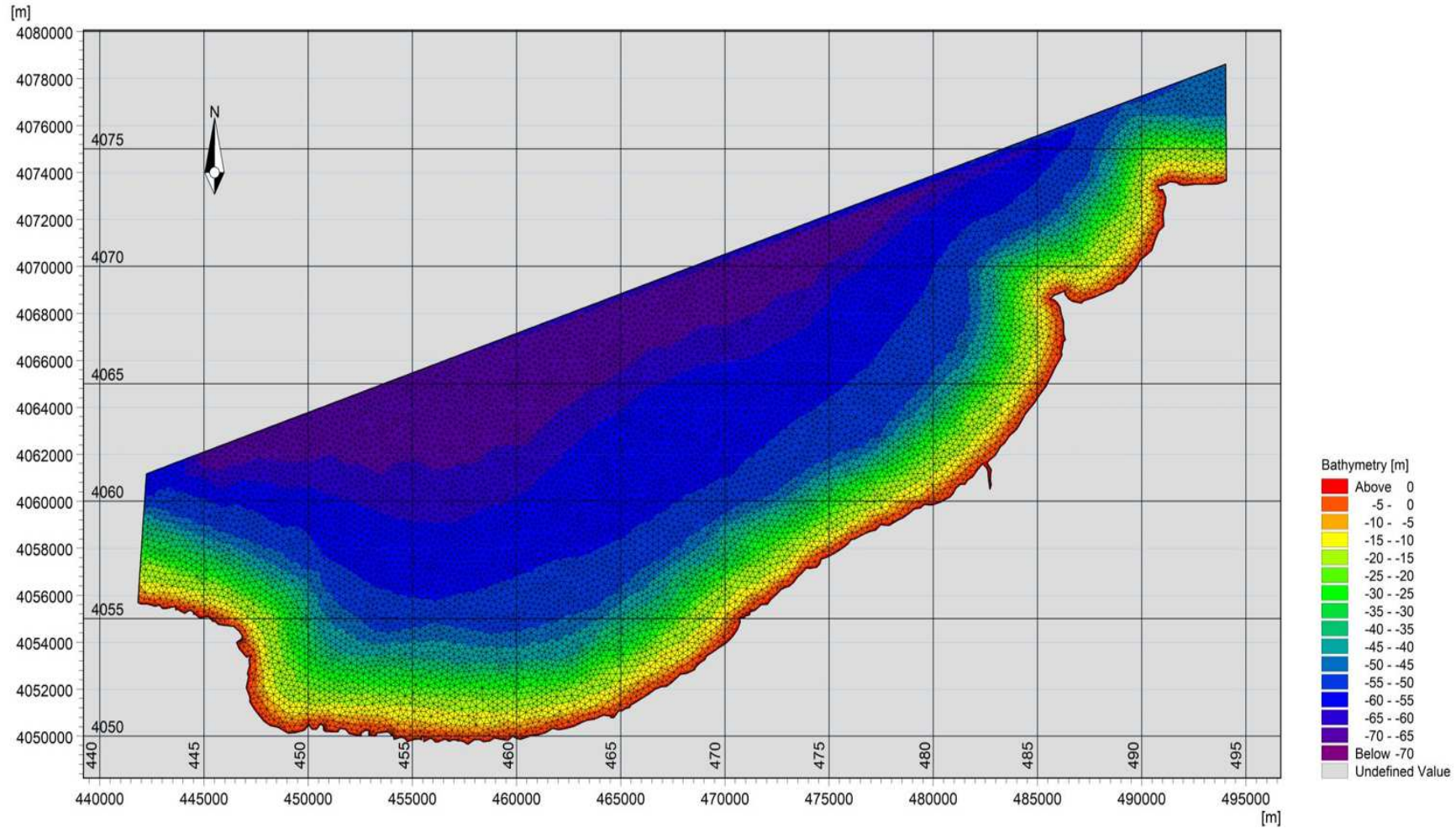


Figure III.2 : Emprise et maillage du modèle côtier de la Baie de Bou-Ismaïl

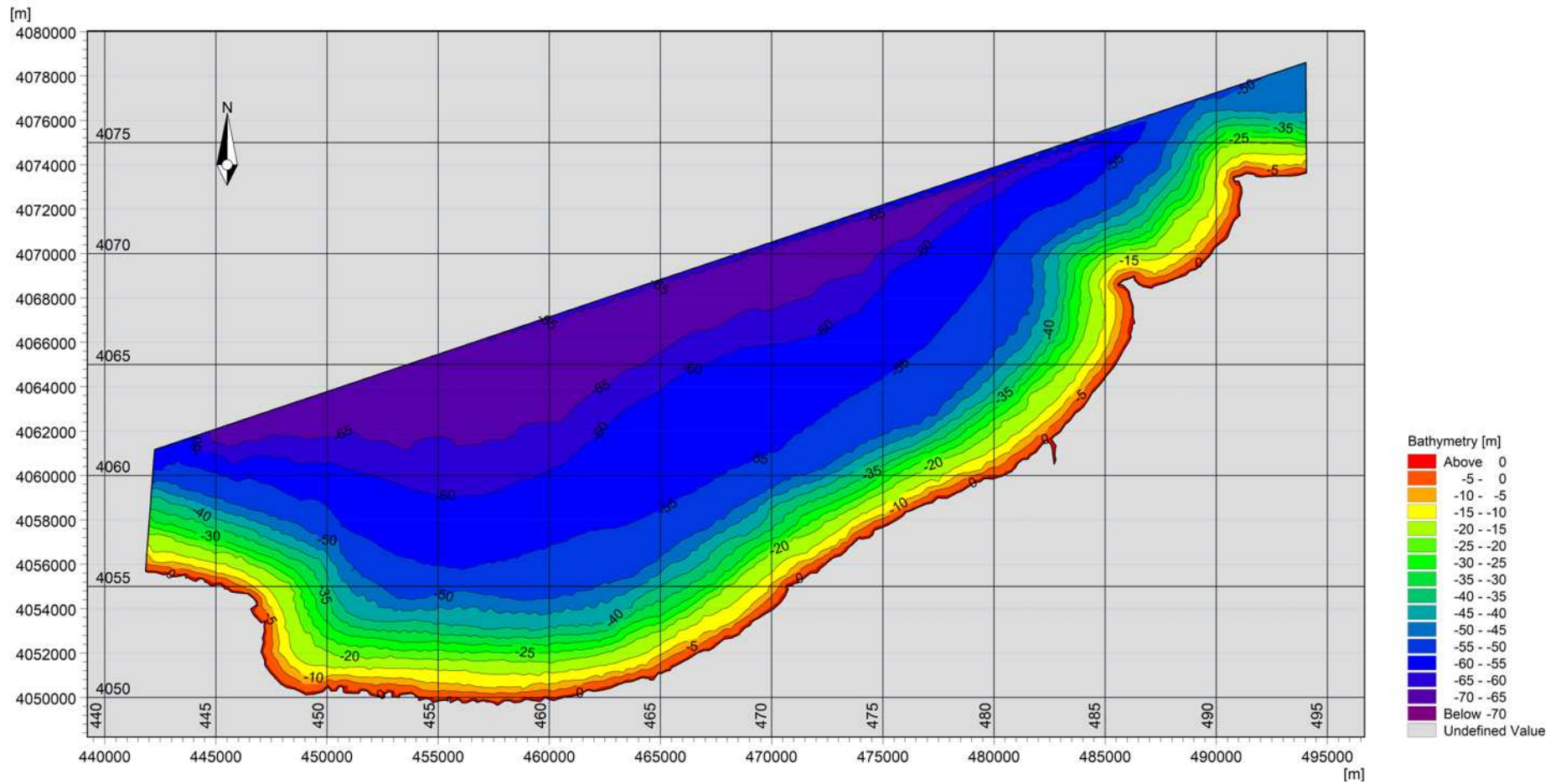


Figure III.3 : Carte bathymétrique de la Baie Bou-Ismaïl

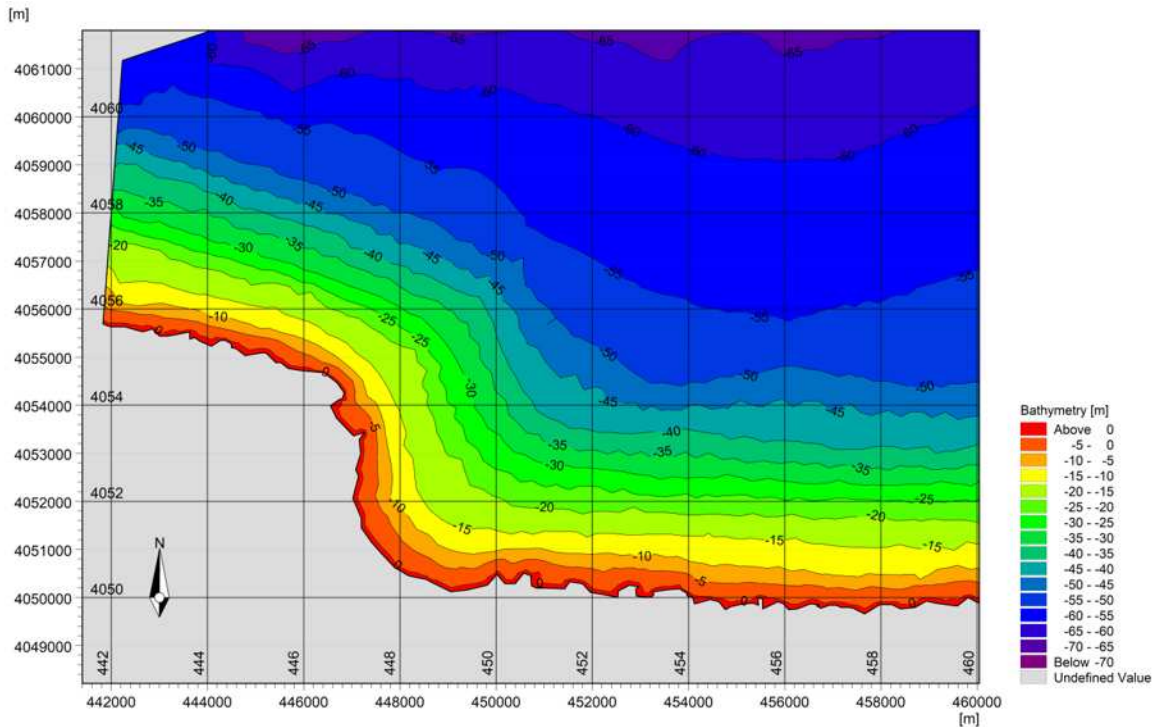


Figure III.4 : Carte bathymétrique de la zone d'étude

1.4. Caractéristique de la houle au large :

Les caractéristiques de houles au large ont été extraites à partir d'une base de données reliée à un modèle tridimensionnel de prévision marine Wave-Watch III, dans laquelle les données de houle (H_s – T_p – Directions) sont données chaque trois heures. La période extraite a englobé toute la durée d'expérimentation du 01 au 30 juin 2018, pendant laquelle les directions de houle dominantes étaient de secteur Nord, Nord-Est et Nord-Ouest à des hauteurs significatives dominantes oscillant entre 2.5 et 4.2m.

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

1.4.2. Caractéristiques du modèle

a- Caractéristiques physiques

- Les équations de WaveWatch III comprennent la réfraction et de forcer le champ d'ondes en raison de variations temporelles et spatiales de la profondeur moyenne de l'eau et du courant moyen (marées, surtensions, etc.), le cas échéant.

- Paramétrages des processus physiques (termes sources) comprennent la croissance des vagues et la pourriture due à l'action du vent, les interactions de résonance non linéaire, la dissipation ('white capping'), le frottement de fond, (la rupture induite par la profondeur) surf-rupture et la diffusion due aux interactions de la vague.
- La propagation des ondes est considérée comme linéaire. effets non linéaires pertinents tels que les interactions de résonance sont donc inclus dans les termes sources (physique).

b- Caractéristiques numériques :

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

c- Options de sortie :

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

d- Données d'entrées :

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

1.5. Résultats des modèles de vagues

1.5.1. Le modèle WaveWatch III :

Les résultats obtenus de cette simulation sont représentés sur les cartes suivantes (Figure III.5) :

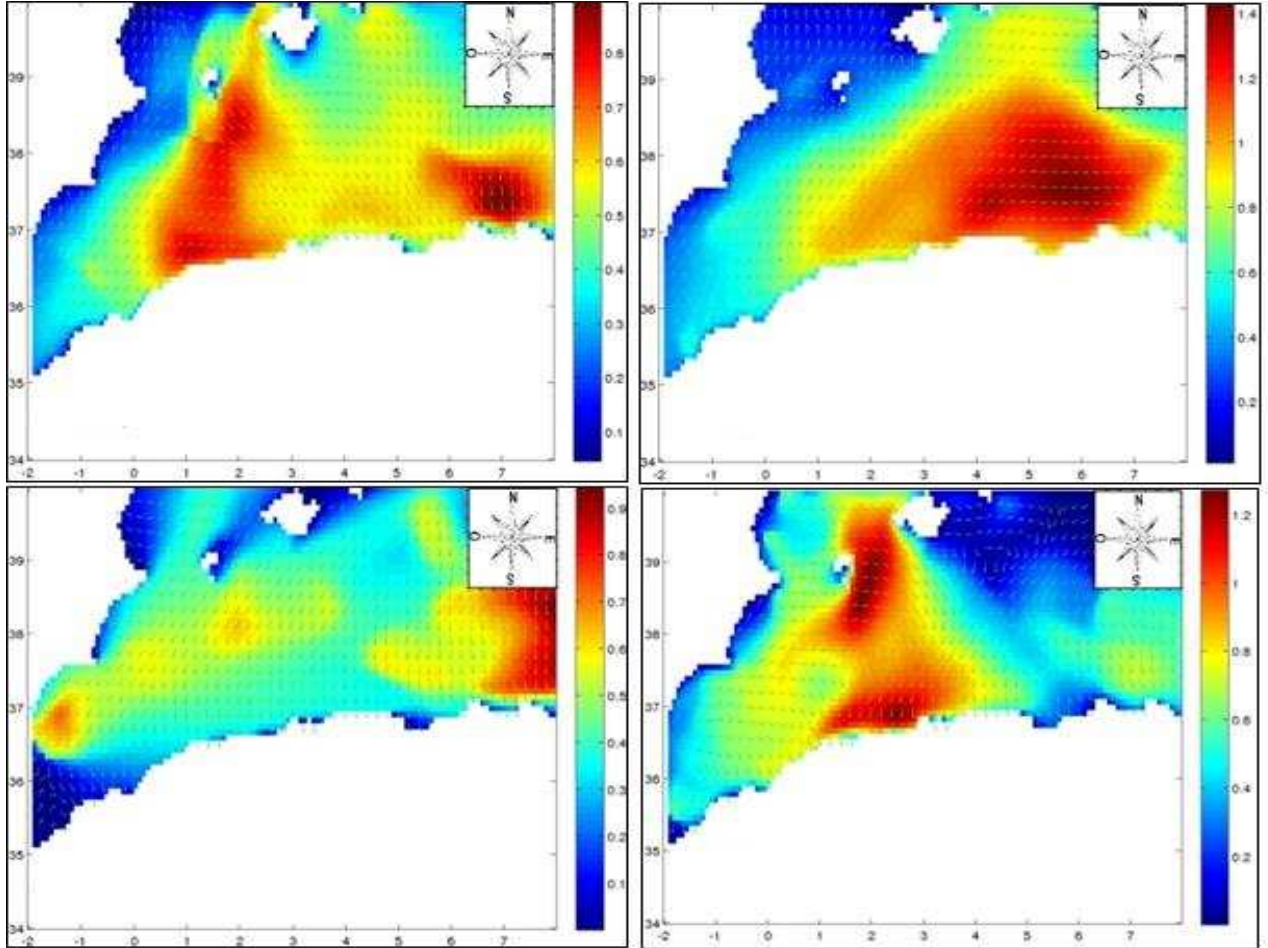


Figure III.5 : Champs de houles pour différentes périodes du mois de juin pour toute la côte algérienne

Les conditions initiales imposées dans le module SW dans les limites des zones d'études sont les paramètres de la houle, dans ce travail on a pris trois paramètres (Hauteur significative, période de la houle, et direction) comme suite :

$$H_s = 5.11\text{m}, T_p = 10.46\text{s}, \text{Dir.} = 45.5^\circ\text{N} \dots\dots\dots (1)$$

$$H_s = 3.25\text{m}; T_p = 8.85\text{s}; \text{Dir.} = 360^\circ\text{N} \dots\dots\dots (2)$$

$$H_s = 3.31\text{m}; T_p = 9.11\text{s}; \text{Dir.} = 315^\circ\text{N} \dots\dots\dots (3)$$

Pour ce travail on a pris les plus grandes houles enregistrées au large, les statistiques ont montrées que :

La moyenne des plus grandes houles enregistrées en douze (12) ans avec une hauteur de 5.11 m de direction Nord-Est (1) et sa représente 4.07 % des houles.

La moyenne des houles les plus fréquentes enregistrées avec une hauteur de 3.25 m de direction Nord (2) et qui représente 36.40 % des houles.

La moyenne des deuxièmes plus fréquentes houles enregistrées et qui représente une hauteur de 3.31 m et de direction Ouest (3) et qui représente 17.38 % des houles.

1.6. Résultats simulation hydro sédimentaire

1.6.1. Configuration du module SW :

Afin de simuler la propagation de la houle du large vers la cote, l'équation choisie est la formule directionnelle dans le domaine spectral et la formule quasi-stationnaire dans le domaine temporel. L'algorithme d'itération Newton-Raphson avec les valeurs par défaut a été utilisé.

1.6.2. Données d'entrée et calibration :

Plusieurs types de données sont nécessaires pour cette étude. Celles-ci seront insérées en entrée du modèle de MIKE 21 Spectral Waves FM . Les différentes données utilisées sont mentionnées ci-dessous :

- Bathymétrie ;
- Des Directions des houles dominantes ; ici on la direction **Nord, Nord Est et Nord Ouest.**
- Des données sur le vent on a choisi des valeurs constantes ; une vitesse de 6m/s et une direction a 45°.

La procédure de calibration est ensuite exposée. On a choisi le déferlement et le frottement du fond comme paramètres de calibration. Le déferlement est spécifié en utilisant un gamma constant $\gamma = 0.8$. Le frottement du fond marin est spécifié en utilisant la rugosité de Nikuradse (kN en mètre) égale à 0.04, les deux paramètres sont déterminés par défaut.

Pour calibrer le modèle hydrodynamique, deux facteurs ont été pris en compte. Ils sont la viscosité et la rugosité du fond. La constante de Smagorinsky varie de 0,24 à 0,9 (DHI, 2014). Le nombre de Manning est de 24 à 35 (mètre un tiers par 212 seconde). L'estimation qu'on l'a choisi pour les deux paramètres, était par défaut 0.8 et 32 respectivement.

Après avoir introduit la bathymétrie et la données d'entrées et définir les conditions limites, la simulation a été lancée. La durée d'un effort de simulation varie dans le temps, selon la complexité des objectifs, des processus impliqués et de leur saisonnalité.

Les données sortantes sélectionnées qui représentent le climat de houle à la côte sont les suivantes (tableau III.1) :

Tableau III.1 : Sortants du modèle SW

Name	Symbol	unite
Hauteur Significative	H_{m0}	mètre
Période pique	T_p	seconde
Direction moyenne	MWD	degrés
Ecart-type	DSD	degrés
Contraintes de radiation	S_{xx}, S_{xy}, S_{yx}	m^3/s^2

▪ Propagation des houles de direction Nord-Est (45°)

Les houles 45°N sont très fréquentes, elles apparaissent surtout lors des tempêtes printanières, elles arrivent avec une obliquité de 20 à 40° par rapport au rivage, en engendrant des courants de dérive parallèles à la cote et des courants de retours dans le sens opposé. Les

cartes montrent que les orthogonales sont peu réfractées. Au large, les houles de direction Nord –Est ne subissent aucune modification et gardent leurs caractéristiques initiales (Hs de 4m), mais au fur et à mesure, qu'elles propagent vers la cote et l'effet de fond commence à être ressenti, la hauteur de la houle diminue en rapprochant de la cote pour atteindre des valeurs inférieures variant en fonction de la morphologie des fonds. La houle arrive à la cote avec des hauteurs comprises entre 1.25m et 2.75m, ce qui rend la cote très vulnérable.

Au niveau de la partie Est (Douaouda, El Khaloufi, Complexe touristique, Sable d'Or, Azur, Palm Beach et Plage Ouest de Sidi Fredj). Les houles du Nord-Est sont moyennement réfractées par le cap Caxine, perdant une partie de leurs énergies du large, le coefficient de réfraction moyen varie entre 0,3 et 0,52, ce qui favorise la formation des plages sableuses.

Les houles du Nord-Est ont tendance à arriver de manière perpendiculaire à la côte Ouest (plage Chenoua et Grand bleu) en gardant presque la totalité de leurs énergies du large. Ces houles dont le coefficient de réfraction moyen est de 0,57 à la profondeur de 5 m peuvent générer des courants littoraux (généralement des courants de dérive littorale) et entraîner l'érosion côtière. Cependant les houles significatives arrivant du Nord-Est (entre 1 m et 2,8 m) ont des hauteurs plus élevées par rapport aux autres directions (voir fig.III.6, III.7).

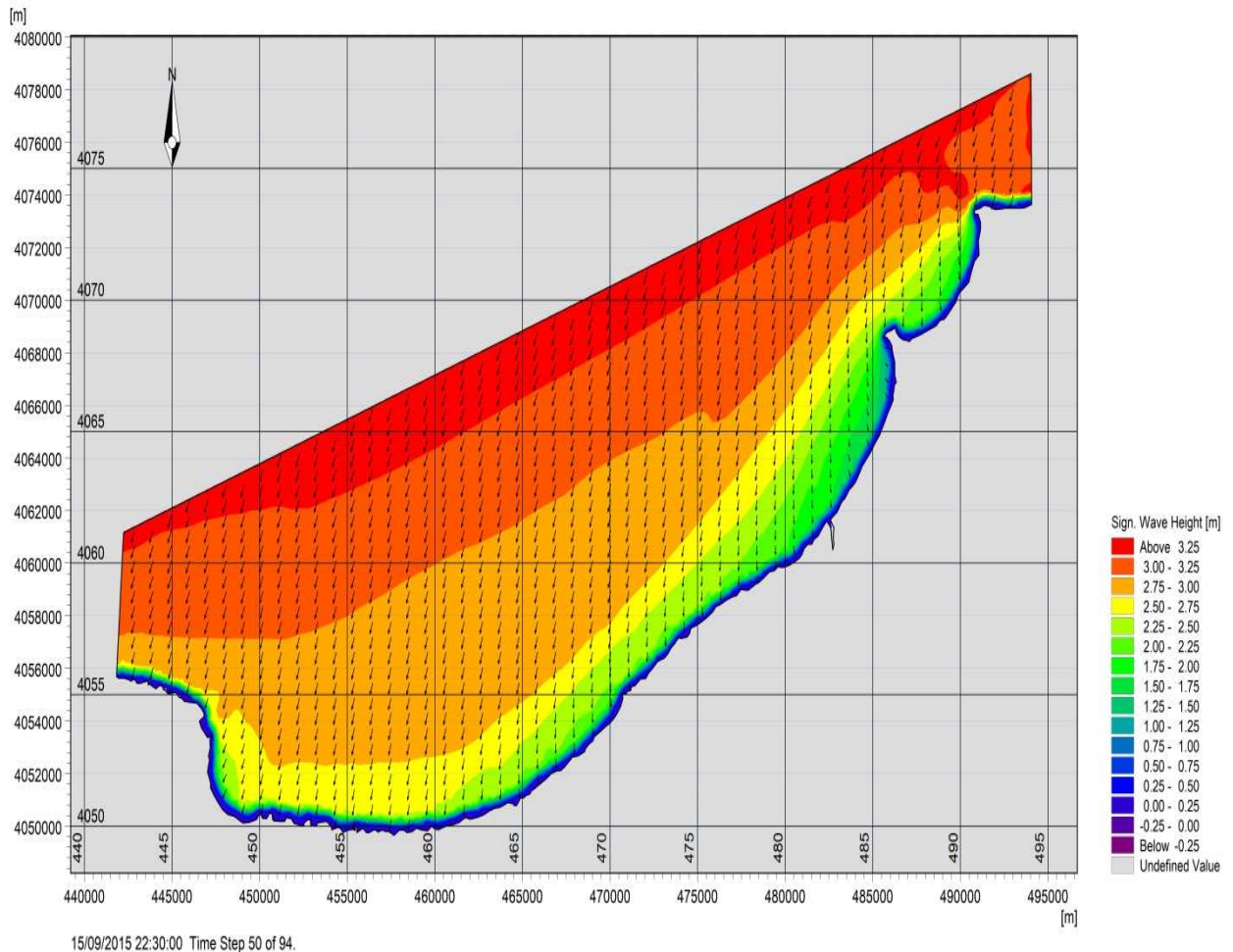


Figure III.6 : Champs de houles (MWD=45°) sur la Baie de Bou-Ismaïl

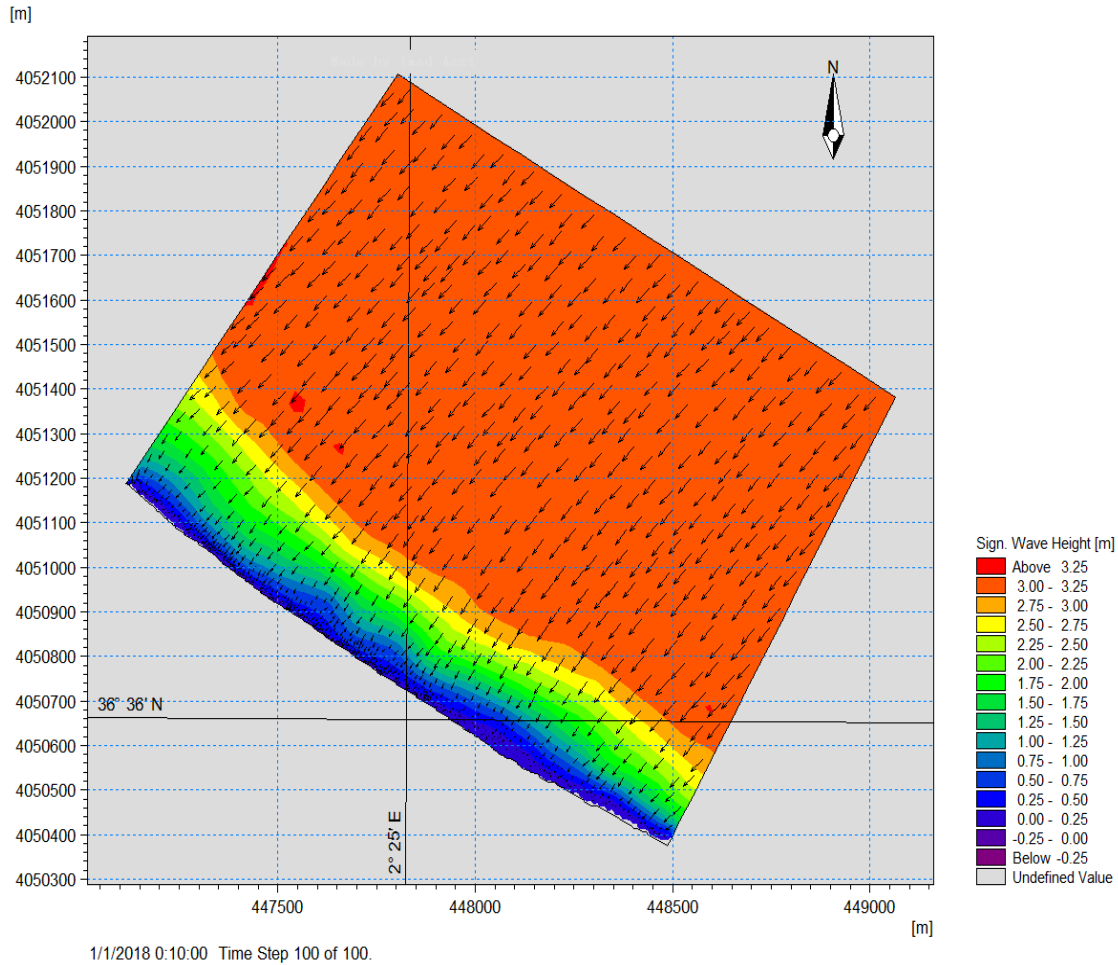


Figure III.7 : Champs de houles (MWD=45°) sur la zone d'étude

▪ **Propagation des houles de direction Nord (360°)**

La figure ci-après montre le plan de propagation de la houle a des profondeurs allant de 60 m jusqu'au rivage, venant de la direction Nord avec une hauteur significative de 3.5m. Les houles du Nord ont tendance à arriver de manière perpendiculaire à la côte en gardent presque la totalité de leurs énergies du large. Ces houles dont le coefficient de réfraction moyen varie entre de 0,9 et 1.06 à la profondeur de 5 m peuvent générer des courants littoraux et entrainer l'érosion côtière. La houle arrive à la cote avec des hauteurs comprises entre 2m et 3m, ce qui rend la partie centre et Ouest très vulnérable. Pour cette direction (360° N) de houle, la zone de Sidi Fredj est exposée directement aux houles de façon perpendiculaire.

Au niveau de la zone Ouest de la baie de Bou Ismail, les houles issues de ce secteur ne subissent pas des rotations importantes avec des hauteurs varient entre 1 et 2.5 m à des profondeurs de 5m, elles sont réfractées et atténuées a la cote. Ces houles engendrent une dérive littorale vers l'ouest et distribuent les sédiments le long de la plage (voir fig.III.8, III.9)

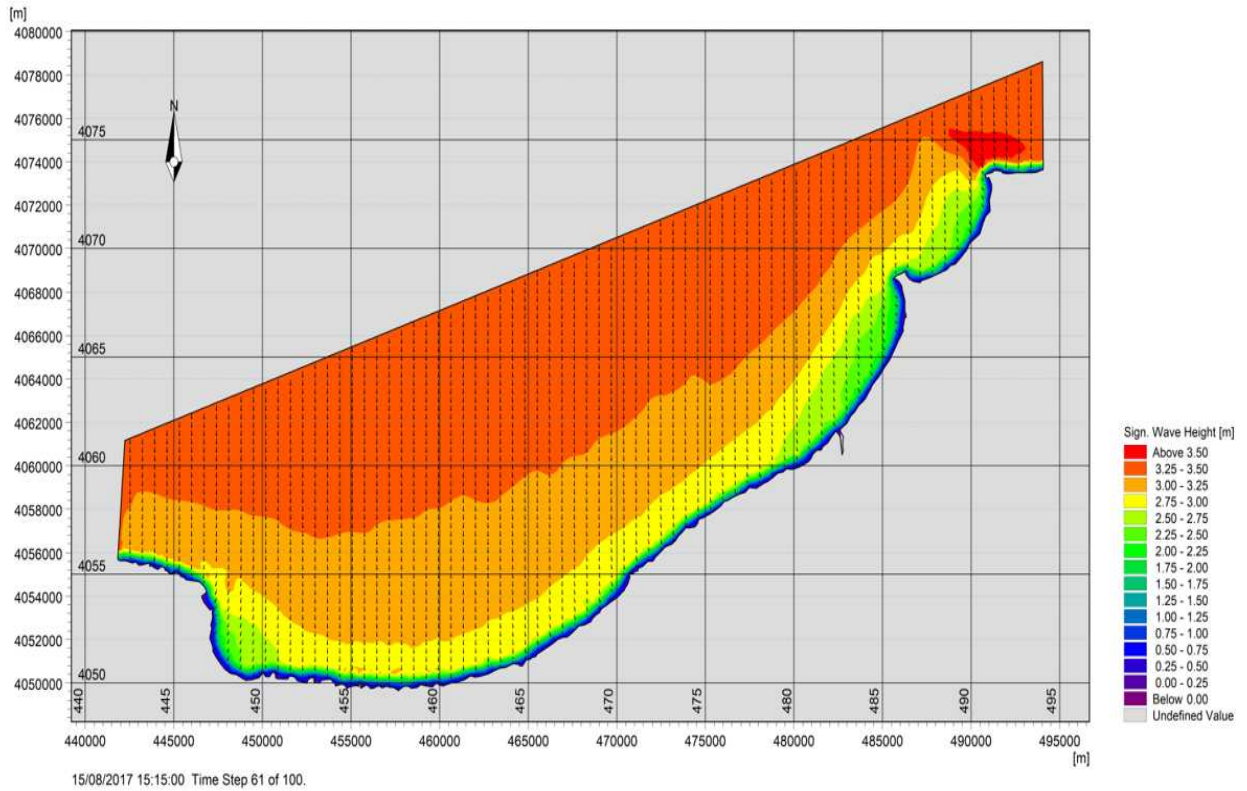


Figure III.8 : Champs de houles (MWD=360°) sur la Baie de Bou-Ismaïl

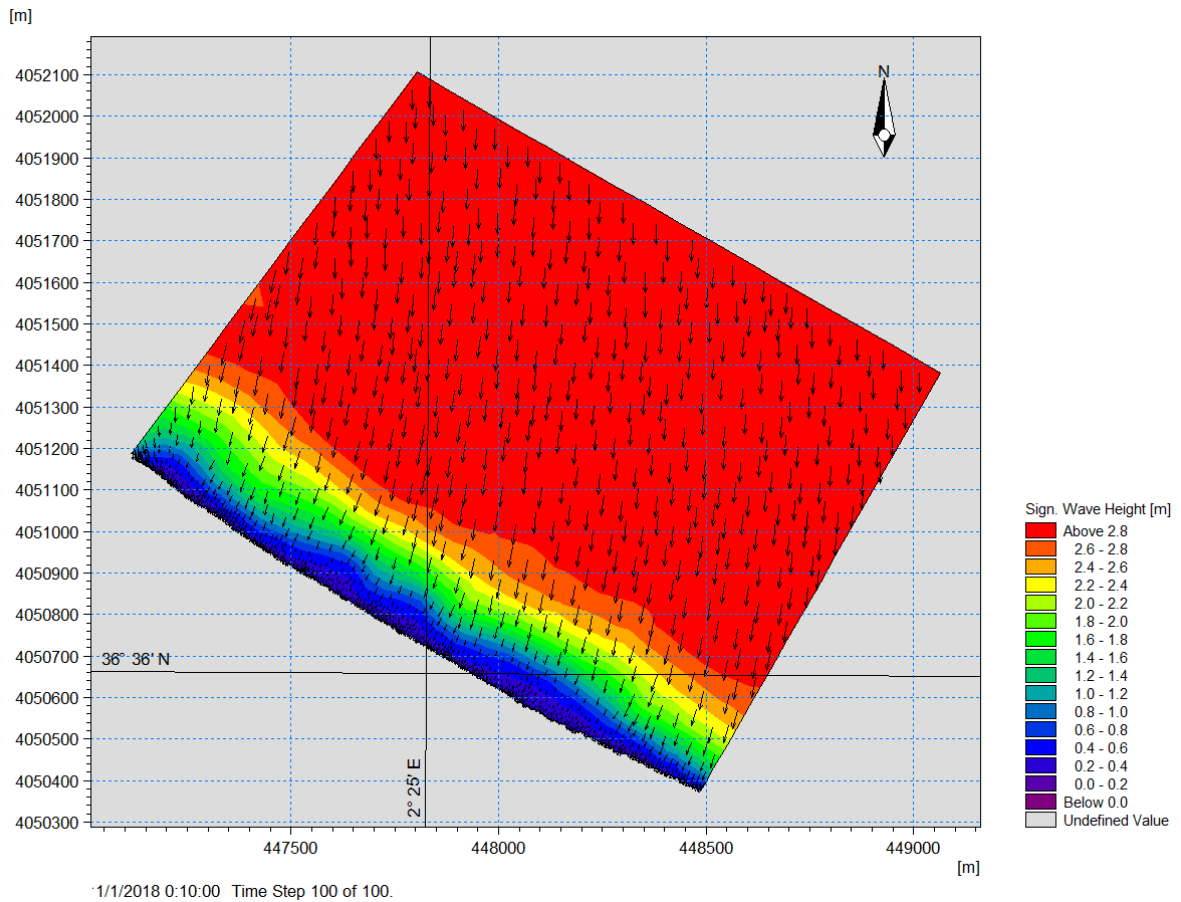


Figure III.9 : Champs de houles (MWD=360°) sur la zone d'étude

▪ Propagation des houles de direction Nord-Ouest (315°)

La figure ci-après montre le plan de propagation de la houle a des profondeurs allant de 60 m jusqu'au rivage, venant de la direction Nord-Ouest. Les houles issues de secteur 315°N, ce sont des houles hivernales, elles sont réfractées. Les orthogonales de la houle abordent la côte en subissant une rotation entre 2° et 8°. Ces houles engendrent une dérive littorale Ouest-Est le long de toute la côte (figure 2.26).

La houle ne perd que très peu de son énergie, les orthogonales ne pivotent que légèrement à l'approche du rivage, ces données font de cette houle la plus menaçante pour la zone Est ou on observe des hauteurs qui varient entre 1.2m et 2.5m.

Les houles du Nord-Ouest ont tendance à arriver de manière perpendiculaire à la côte en gardent presque la totalité de leurs énergies du large. Ces houles dont le coefficient de réfraction moyen est de 0,7 à 5 m peuvent générer des courants littoraux et entrainer l'érosion côtière.

Au niveau de la zone de chenoua, on observe la houle commence à perdre ses caractéristiques jusqu'à atteindre son minimum qui est de l'ordre de 0.30 m de hauteur prêt de la côte dû généralement à la diffraction de la houle au niveau de la zone rocheuse.(voir fig.III.10, III.11)

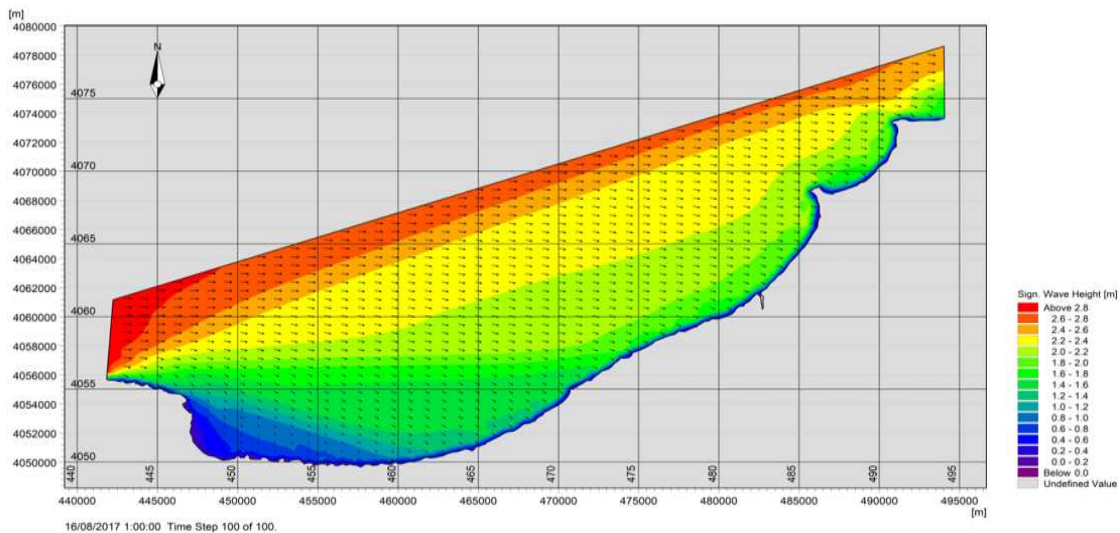


Figure III.10 : Champs de houles (MWD=315°) sur la Baie de Bou-Ismaïl

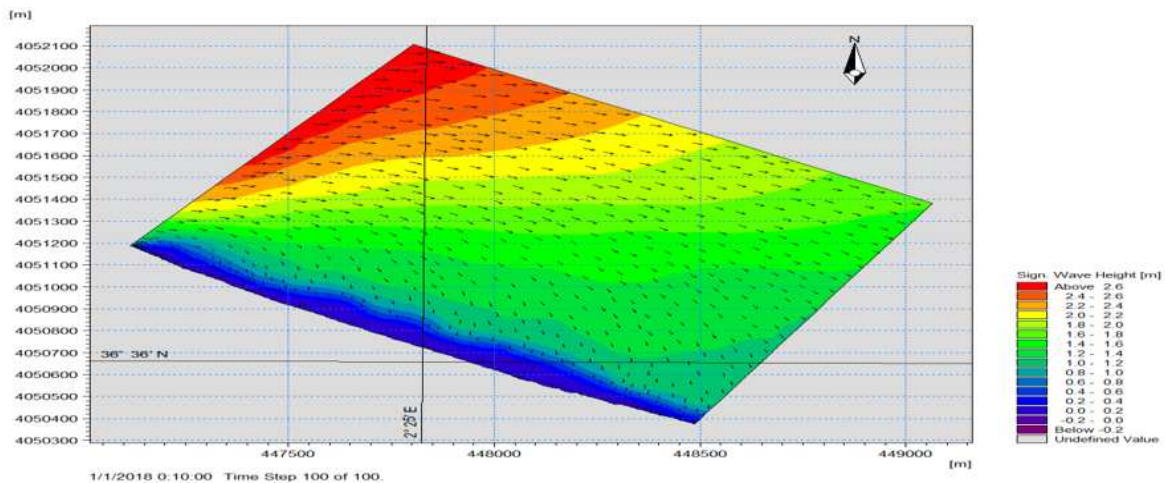


Figure III.11 : Champs de houles (MWD=315°) sur la zone d'étude

1.7. Modélisation des champs de courants générés par la houle

Lorsqu'elle s'approche du rivage, la houle déferle et perd ainsi la majeure partie de son énergie qui se dissipe lors du moutonnement des brisants ou par frottement des particules d'eau. Cependant, une fraction de l'énergie demeure mécanique et transmet au fluide un courant de masse. L'énergie de ce courant de houle se dissipe quant à elle par frottement latéral et sur le fond. Un régime permanent est atteint lorsque la totalité de cette énergie a été dissipée. (Longuet-Higgins, et al. 1964) ont montré que les forces motrices du courant de houle étaient dues aux variations du flux des quantités de mouvement induites par la houle. Schématiquement, dans le cas d'une plage rectiligne, la composante de cette poussée parallèle à la côte engendre une dérive littorale tandis que sa composante normale induit une surélévation du niveau moyen. La définition des contraintes de radiation par (Longuet-Higgins, et al. 1964) a marqué la naissance de la modélisation des courants littoraux et de leur répartition dans la zone de déferlement. (Bowen, 1969) montre que le long d'une plage de pente constante, une houle monochromatique ne crée une force motrice pour le courant qu'à l'intérieur de la zone de déferlement. C'est le mélange latéral qui permet l'extension de ce courant au large de la ligne de déferlement. Bowen montre par ailleurs que la largeur de la zone de déferlement et l'intensité du courant augmentent avec la hauteur de houle, et propose un profil de vitesse du courant littoral montrant une bonne correspondance avec les mesures.

L'objectif de cette partie est de modéliser les champs de courants générés par les houles approchant le rivage, au moyen du module HD. Les contraintes de radiation étant calculées par le module SW elles nous ont servi à modéliser la courantologie au niveau de la grande baie de Bou Ismail.

1.7.1. Conditions aux limites et autres paramètres :

Le niveau de la mer est considéré constants (0.34 m). Les flux tout au long des limites ouvertes sont considérés perpendiculaires par rapport aux limites. Par conséquent la surface initiale est considérée nulle aussi. La viscosité et la résistance sont considérées comme valeurs par défaut (0.5 et 32 m^{1/3}/s respectivement). Les contraintes de radiations incluses dans chaque grille de calcul sont calculées par le module SW.

1.7.2 Résultats des simulations HD et interprétations :

Les figures ci-après (Figure III.12 à Figure III.17) montrent les champs de courants induits par les vagues calculées au moyen du modèle numérique MIKE21-HD pour les trois directions de houles sélectionnées.

D'après cette figure II.12, on observe que les champs des courants montrent des activités hydrodynamiques dans toute la zone, surtout dans la partie Sud-Est où on observe un courant important qui est dirigé vers l'Ouest avec une vitesse de 0.35 m/s. Des vitesses importantes varient entre 0.5m/s à 1m/s enregistrées dans la zone centre et dû généralement à la concentration des orthogonales de la houle dans cette zone.

Les houles issues du secteur Nord-Ouest donnent naissance près de la côte à un courant de dérive dirigé vers l'Est ce courant prend une direction avec des vitesses moyennes dans la partie centre où les vitesses des courant de dérive ne dépassent pas 0.7m/s.

On observe que les houles de secteur Nord donnent naissance à des courants moins importants par rapport aux autres t, qui est dirigé vers le secteur Ouest avec une vitesse de 0.2 m/s dans la partie Ouest et une vitesse de 0.7 m/s dans la partie Est.

Ces courants favorisent le déplacement des quantités importantes de sédiment et accentuer l'érosion de ses zones (voir fig. III.12, III.13).

▪ Champs des courant pour un MDW=45° :

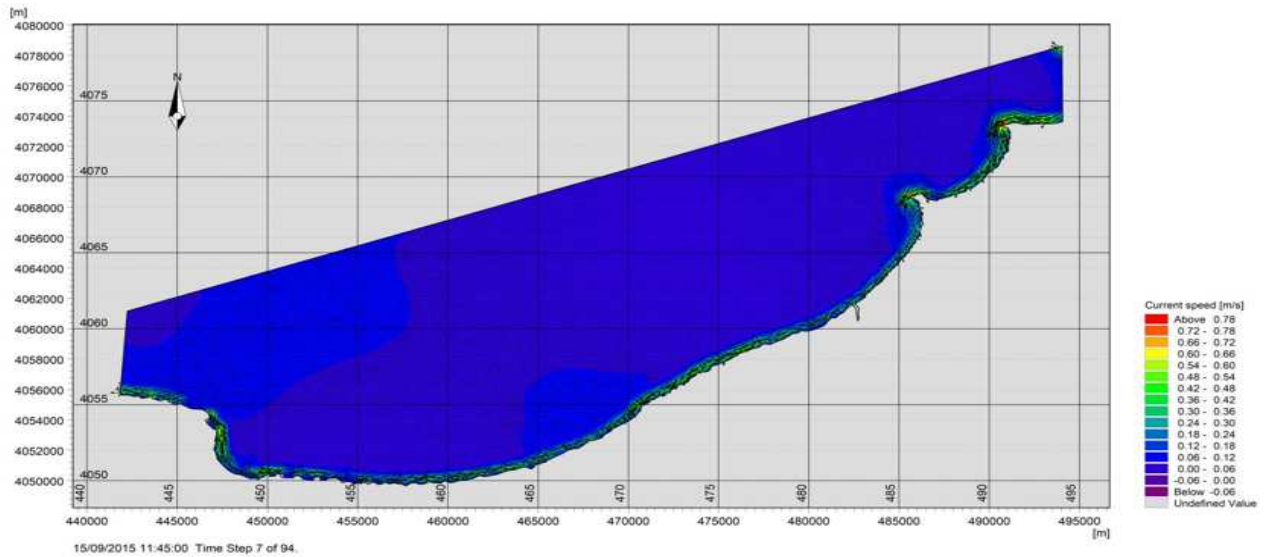


Figure III.12 : Champs des courants sur la Baie de Bou-Ismaïl pour : MWD= 45°.

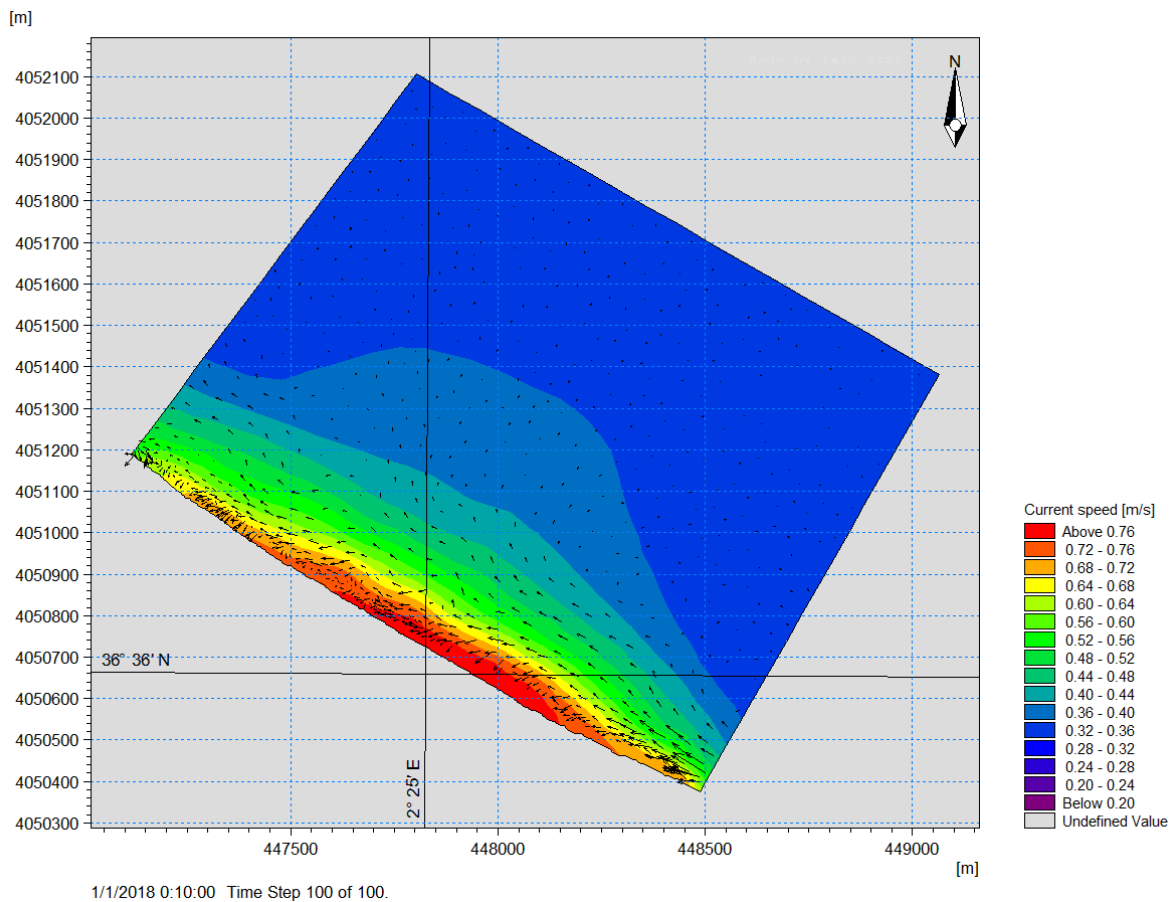


Figure III.13 : Champs des courants sur la zone d'étude pour : MWD= 45°.

▪ Champs des courant pour un MDW=360° :

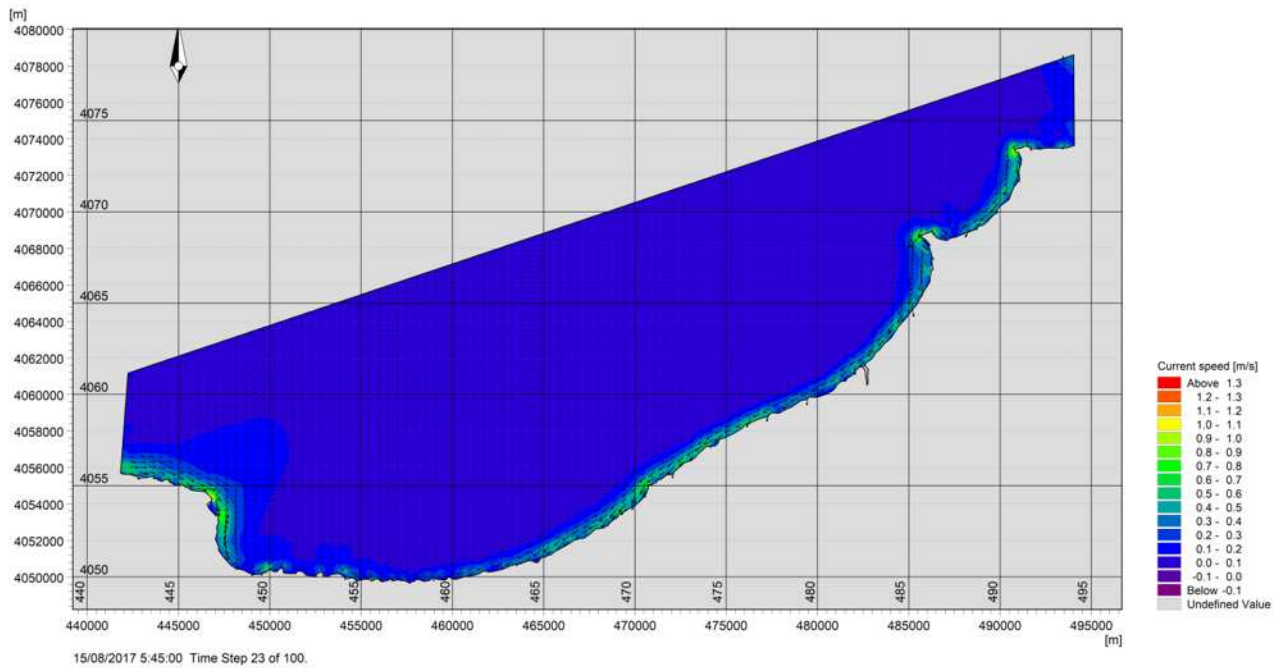


Figure III.14 : Champs des courants sur la Baie de Bou-Ismaïl pour : MWD= 360°.

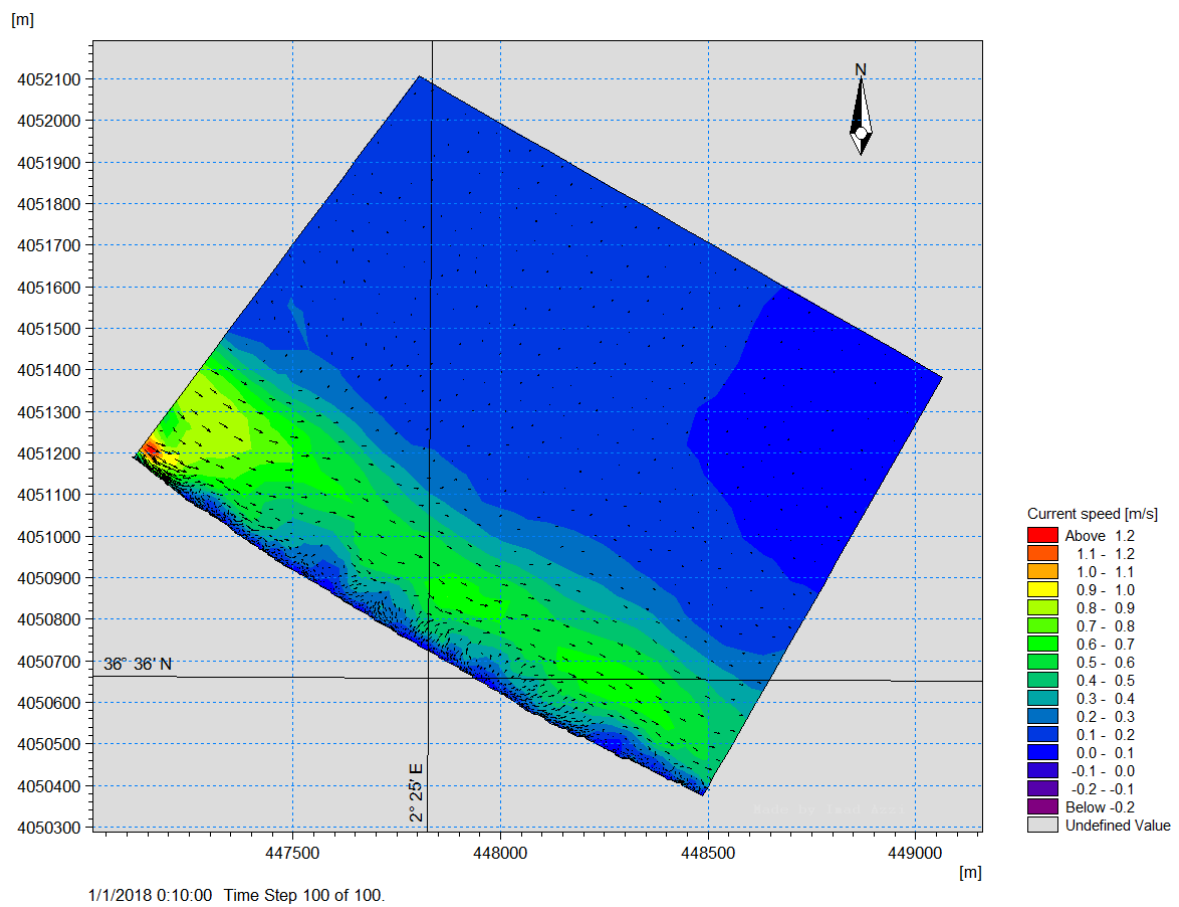


Figure III.15 : Champs des courants sur la zone d'étude pour : MWD= 360°.

▪ Champs des courant pour un MDW=315° :

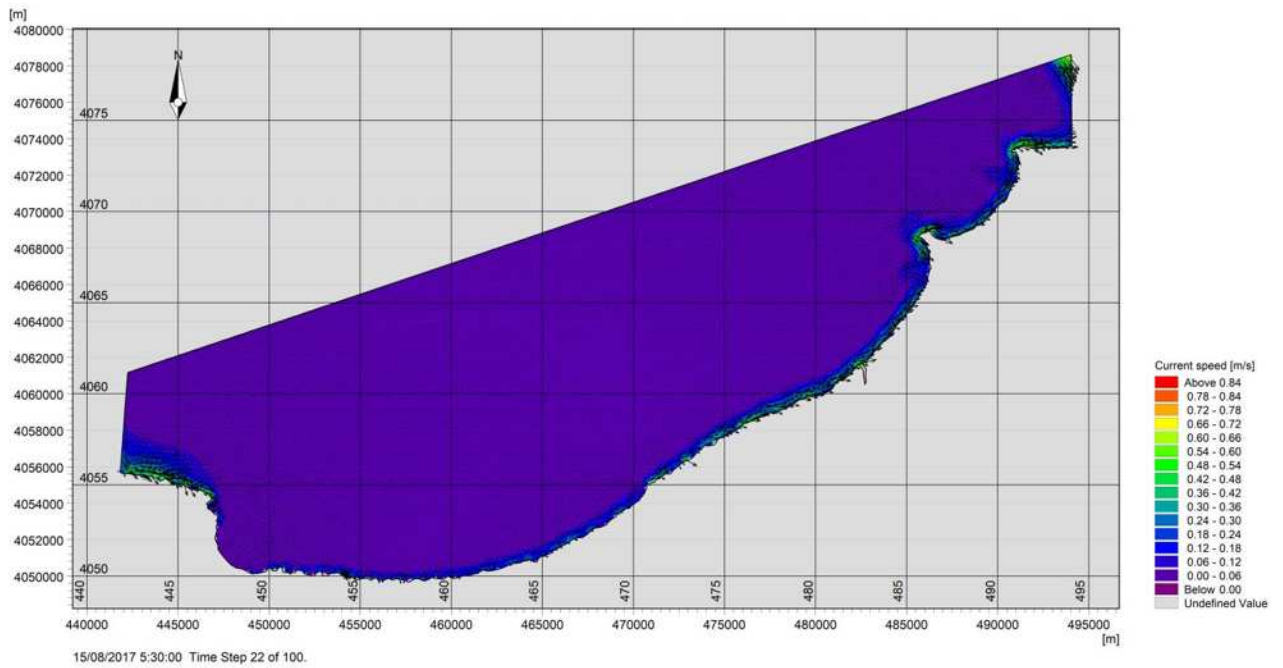


Figure III.16 : Champs des courants sur la Baie de Bou-Ismaïl pour : MWD= 315°.

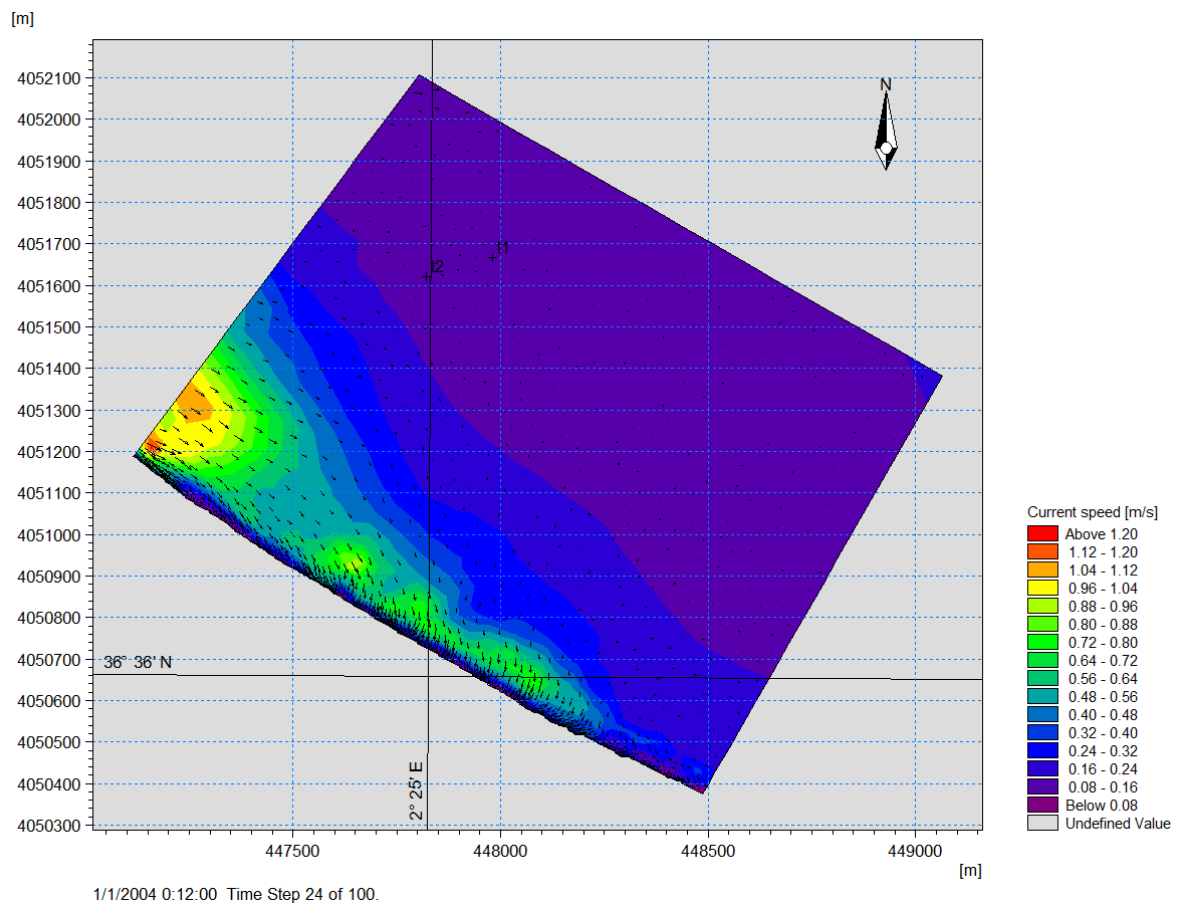


Figure III.17 : Champs des courants sur la zone d'étude pour : MWD= 315°.

1.8. Modélisation du transport sédimentaire sous l'effet de houle et de courant

Le calcul et la prévision de l'évolution du littoral dépendent de l'équilibre du transport des sédiments dans le secteur d'étude.

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

Les données disponibles ont été étudiées et analysées pour l'étude et la compréhension des processus côtiers. Bien que les données sur la bathymétrie, les niveaux de la mer et des sédiments fussent peu disponibles, les données essentielles sur le site de l'érosion, en particulier sur le régime des vagues, n'étaient pas suffisantes. De plus, le travail sur le terrain ne peut pas couvrir toutes les conditions météorologiques possibles qui se produisent. Par conséquent, une simulation a été développée pour combler cet écart et déterminer l'évolution du littoral. L'ensemble des données disponibles complétées par des mesures spécifiques sur le terrain ont été utilisées pour la configuration, le calibrage et vérifier les modèles numériques.

Le modèle numérique nous permet d'illustrer les houles, le courant dû aux vagues et les modes de transport du littoral, ainsi que l'influence des ouvrages de protection et portuaires au cours de la simulation.

Le modèle morphodynamique repose sur un couplage des modèles de propagation de la houle et du modèle de circulation et du modèle de transport sédimentaire dans MIKE21.

Le long du littoral, des ouvrages artificiels ont été construits pour stabiliser les plages et les zones subissant une forte érosion. L'implantation d'ouvrages littoraux entraîne des modifications de la dynamique côtière dont l'impact dépend de beaucoup de paramètres intrinsèques à l'ouvrage, comme son type (longitudinal ou transversal), sa forme, sa taille, sa composition... Des ouvrages longitudinaux sont généralement observés en haut de plage (digues, perrés), pour protéger les zones littorales des forçages météo-marins, mais peuvent aussi se trouver en bas de plage sous forme de brise-lames. Les ouvrages transversaux (épis, jetées) stoppent le transit sédimentaire et limitent les accumulations de sédiments (voir entraînent une érosion) en aval dérive. Les ouvrages transversaux induisent une perturbation hydrodynamique, avec une accentuation des courants de retour au niveau de l'ouvrage (Short, 1991 ; Sabatier, 2001), une accentuation des vitesses de transit au-delà du musoir de l'ouvrage (Short, 1991) et des impacts en aval (Saunez, 1997 ; Sabatier, 2001 ; Bertier, 2009).

1.9. Dynamique hydro sédimentaire

Les systèmes côtiers ont été analysés selon leurs caractéristiques hydro-sédimentaires. D'abord, les dérives littorales principale et secondaire et les courants de retours ont été déterminés par l'analyse des zones d'accumulation et des reculs récents et historiques et selon les obstacles au transit sédimentaire. Ensuite, unités et les cellules hydro-sédimentaires ont pu être identifiées.

La dérive littorale est due à une houle oblique. Les courants de dérive littorale sont responsables de la dérive littorale de sédiment. Ils déplacent les sédiments dans la zone de déferlement (Beach et Sternberg, 1992 ; Calliari, 1994 ; Courtaud, 2000). Ils créent des chenaux d'érosion longitudinaux, parallèles au rivage et aux isobathes. Selon Blanc (1973), ces chenaux peuvent déplacer les sédiments enlevés du fond jusqu'à des distances supérieures 2,5 kilomètres. La dérive littorale peut, selon les cas, apporter ou exporter des sédiments et

influer sur le bilan sédimentaire. La dynamique côtière de ce secteur est donc essentiellement contrôlée par (1) la propagation de la houle la côte, (2) la dérive littorale, parallèle au trait de côte les courants de retours. L'action éolienne a un effet sur un trait de côte sableux.

Les forçages hydrodynamiques ont permis de structurer les formations superficielles du littoral centre algérois.

Le transit littoral des sédiments dépend, pour une grande part, des directions et de l'obliquité des houles par rapport au rivage

1.9.1. Description et configuration du modèle Mike 21 ST

La modélisation intégrée du transport de sédiments doit tenir compte à la fois des courants de vent et des courants associées aux vagues. Dans ce cas, l'approche est complexe et doit faire appel à un système de modélisation intégrée comprenant trois modèles numériques : un modèle hydrodynamique, un modèle de vagues et un modèle de transport de sédiments non-cohésifs (sables) sous l'effet combiné des vagues et des courants.

Le critère de choix pour la houle représentative concerne donc sa capacité à induire une dérive littorale conforme à la dérive mesurée ou estimée. Ce chapitre consiste à modéliser le transport sédimentaire induit par les courants et les houles simulés durant les trois périodes citées précédemment au moyen du module ST de la compilation MIKE 21.

Sous l'action combinée des courants et des vagues, le modèle Mike 21 ST calcule les taux de transport de sédiments non cohésifs. Les courants qui transportent les sédiments sont causés par les vents, les vagues ou une combinaison des deux. L'effet des vagues déferlantes et non déferlantes est inclus dans le calcul des taux de transport.

Les taux de transport de sédiments sont calculés à partir de données bathymétriques, des profondeurs instantanées de l'eau, les tailles et la gradation spatiale des sédiments et les variations spatio-temporelles des courants et des vagues dans la région étudiée.

L'érosion et la déposition des sédiments peuvent ensuite être calculées par l'utilisateur à partir des gradients spatiaux des taux de transport de sédiments fournis par le modèle ST. Dans la zone de déferlement, les courants de retour sont inclus.

Pour calculer le débit sédimentaire dans chaque point, Deux méthodes de simulation sont disponibles dans les conditions combinées de la houle et du courant (DHI, 2014g) : la méthode Bijkeret la méthode STP du DHI.

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. Deux méthodes de simulation sont disponibles pour le calcul des taux de transport : modèle 2DH et modèle STPQ3D.

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

Le modèle STPQ3D est une quasi-tridimensionnelle (Q3D) de l'hydrodynamique et du transport de sédiment. Il calcule l'hydrodynamique instantanée et moyenne dans le temps et le transport des sédiments dans deux directions horizontales : perpendiculaire et parallèle au rivage. Comme le modèle calcule le transport par charriage et par suspension séparément, les valeurs de la table de transport des sédiments sont le transport total.

Avant la simulation des valeurs de transport des sédiments non cohésifs, une « table de sédiment » doit être générée à l'aide d'utilitaires de génération de table de sédiment offerts avec le module MIKE 21-ST. Les valeurs de transport interpolées au préalable sont utilisées

au cours de la simulation numérique et évitent l'effort de calcul additionnel si les mêmes transports doivent être calculés chaque fois que les mêmes paramètres de grains de sable, de vagues et de courants se présentent aux différents pas temporels de calcul. Un sable de diamètre médian 0.2 mm, de gradation 1.4 et de porosité 0.4 est considéré sur l'ensemble du modèle. Les sortants du module PMS (Hm0 – Tp – Dir) et HD (Vitesses et directions des courants) simulés pour les trois périodes précédentes sont utilisés dans le module ST.

1.9.2. Résultats du modèle Mike 21 ST :

Pour comprendre les phénomènes naturels mis en cause dans la mobilité du trait de côte, on ne peut pas se contenter de suivre simplement ses déplacements au cours du temps. Le littoral étant un système ouvert, il convient d'appréhender son évolution à travers l'analyse de son bilan sédimentaire au sein de chaque cellule hydro sédimentaire. Ces cellules sont délimitées par des frontières fixes (cap rocheux, jetées, digues...) ou mobiles (dunes, limite d'action des houles, point d'inversion de la dérive littorale...) et peuvent renfermer plusieurs types de cote. Afin d'évaluer les échanges sédimentaires et la morphodynamique des côtes, une modélisation numérique du transport sédimentaires est appliquée pour la zone d'étude où les taux initiaux de sédimentation/érosion sont calculés à l'aide de l'équation de conservation de la masse sédimentaire. Et afin de calculer les échanges sédimentaires entre la plage et l'avant cote.

En effet, lorsque le trait de côte recule significativement sans se reconstituer, cela signifie qu'il y a déjà des pertes de sable ou de sédiment dans la partie sous-marine et que le rechargement naturel ne peut se faire. Un recul d'un mètre dans zone où la plage sous-marine est bien alimentée et un recul d'un mètre dans une zone en déficit sédimentaire traduit deux réalités totalement différentes. Cependant, les processus de transport des sédiments sont tridimensionnels et peuvent induire des changements brutaux de comportement du système sur courtes distances.

Les résultats de la modélisation du transit littoral de la baie de Bou-Ismaïl seront présentés indépendamment pour chaque segment suivis par une synthèse de la dynamique littorale sur l'ensemble de l'unité sédimentaire (voir fig.III.18-III.23) :

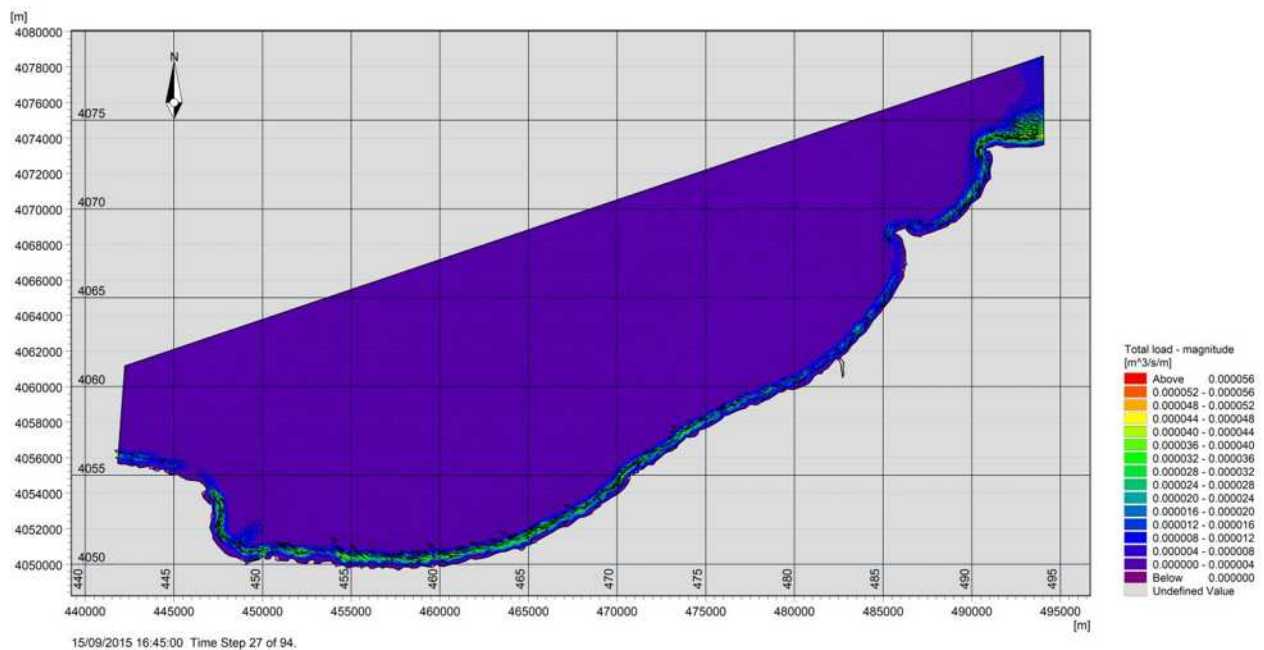


Figure III.18 : Dynamique sédimentaire sur la Baie de Bou-Ismaïl pour : MWD= 45°.

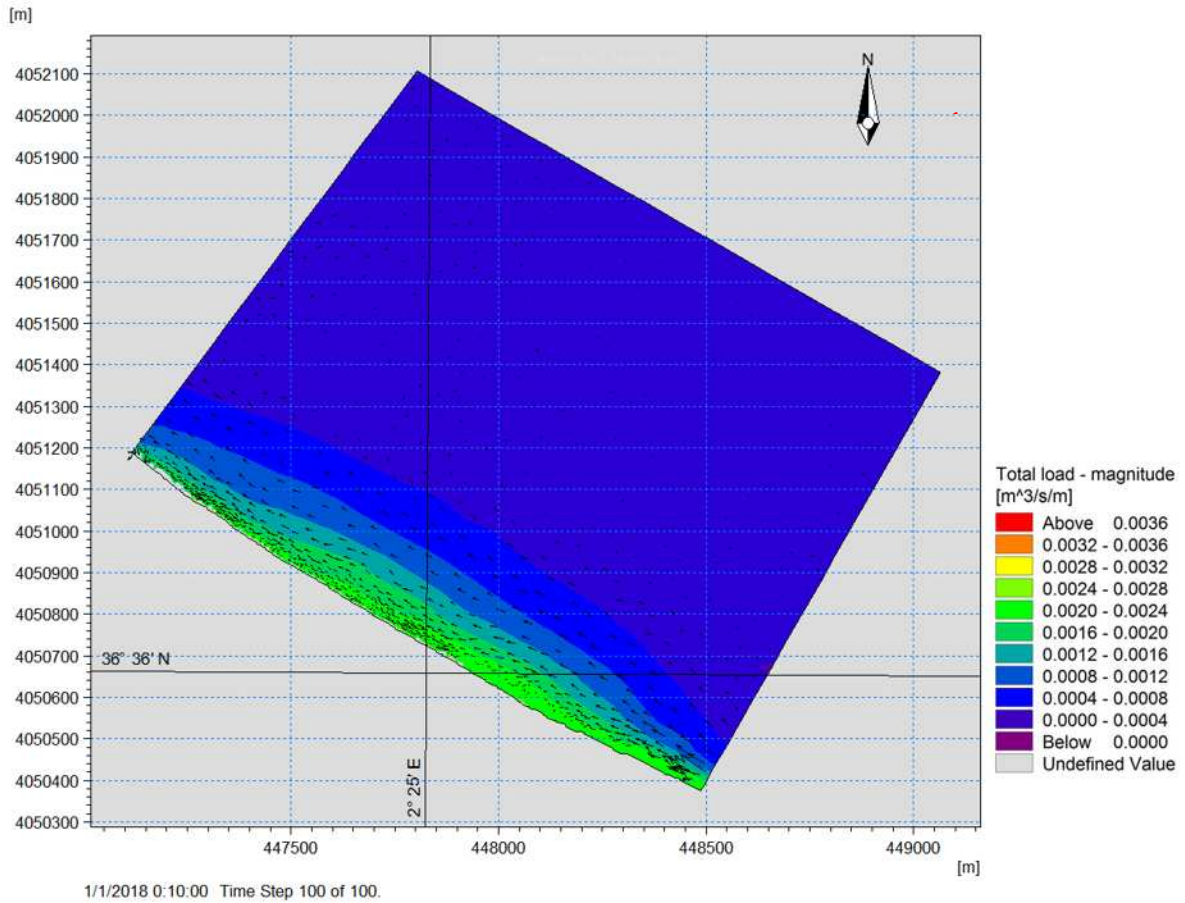


Figure III.19 : Dynamique sédimentaire sur la partie Ouest de la Baie de Bou-Ismaïl : MWD= 45°.

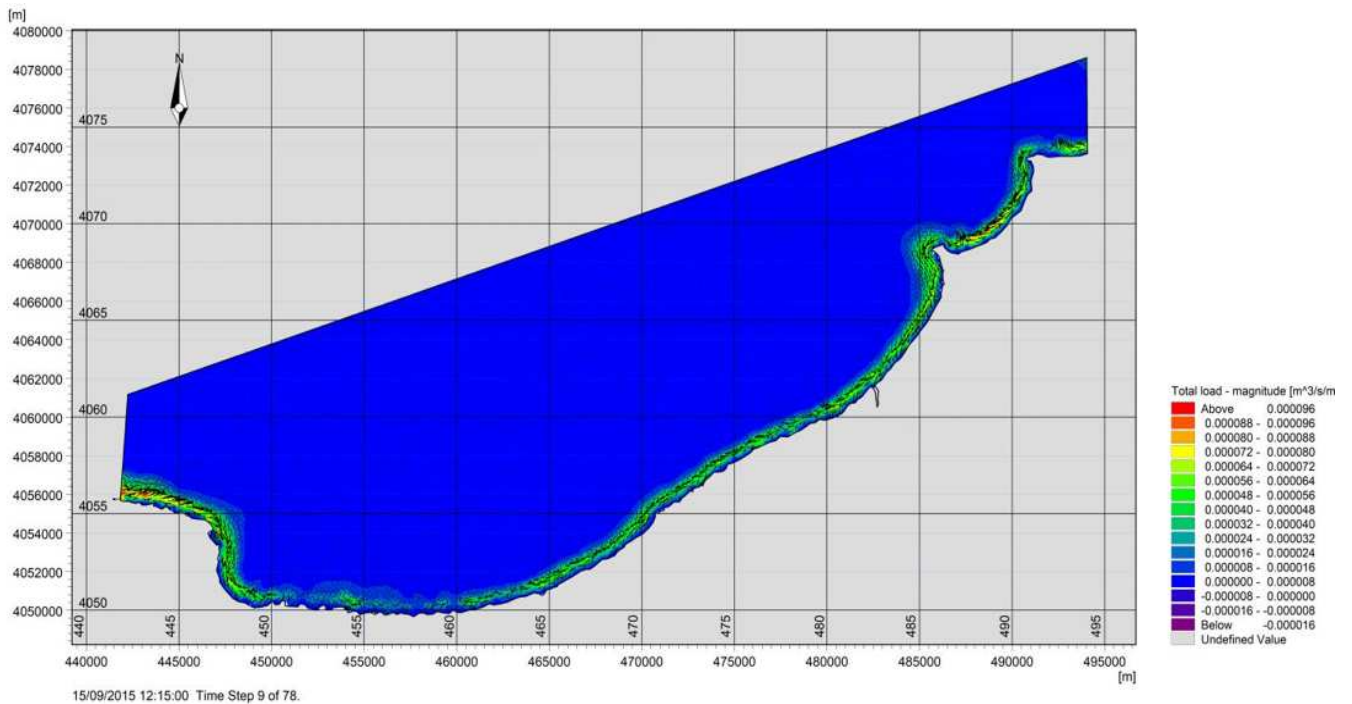


Figure III.20 : Dynamique sédimentaire sur la Baie de Bou-Ismaïl pour : MWD= 360°.

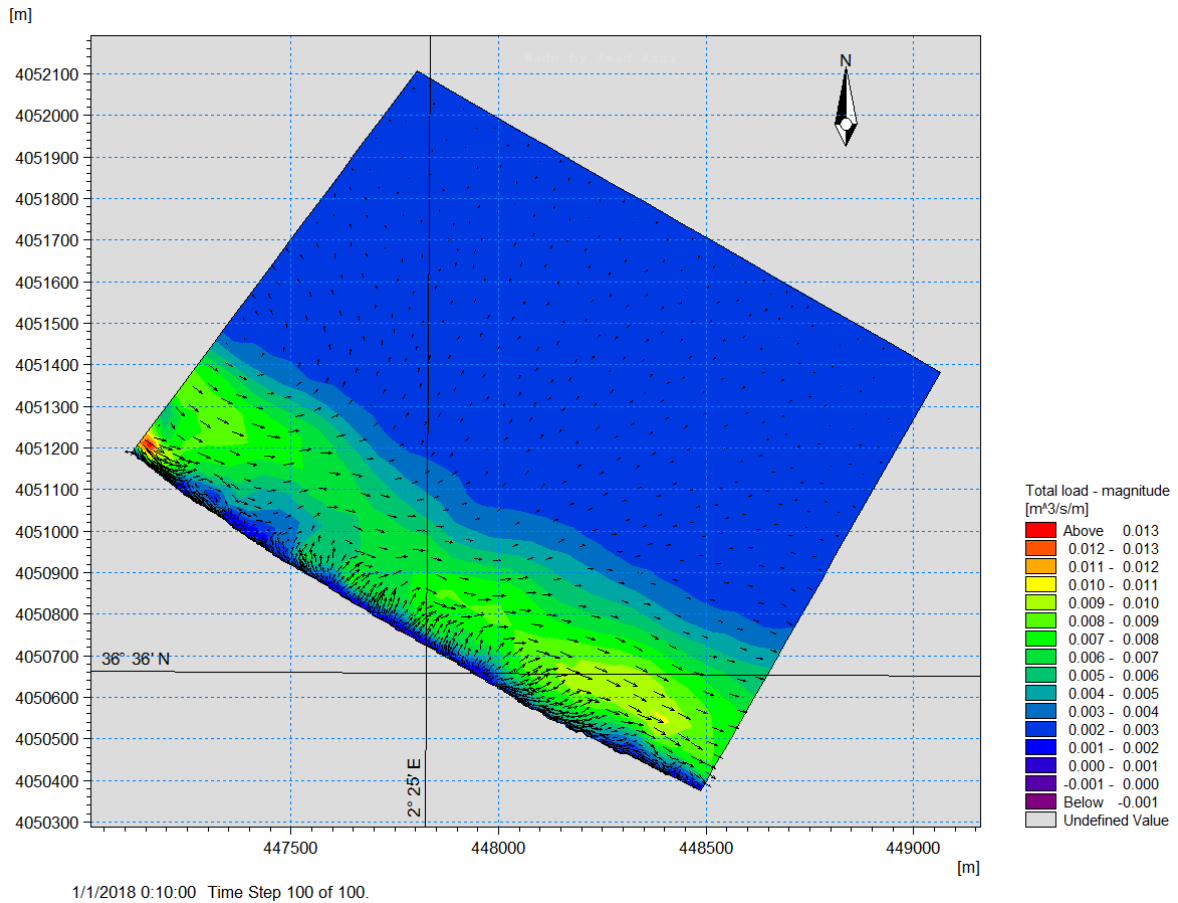


Figure III.21 : Dynamique sédimentaire sur la partie Ouest de la Baie de Bou-Ismaïl : MWD= 360°

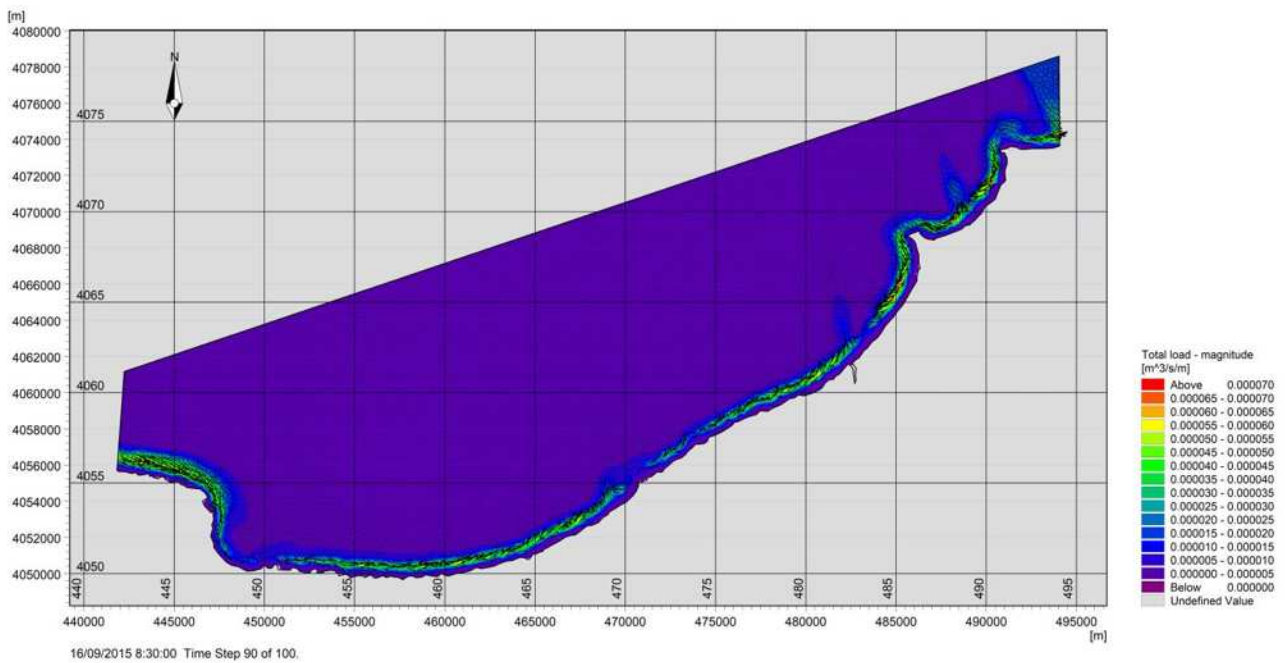


Figure III.22 : Dynamique sédimentaire sur la Baie de Bou-Ismaïl pour : MWD= 315°.

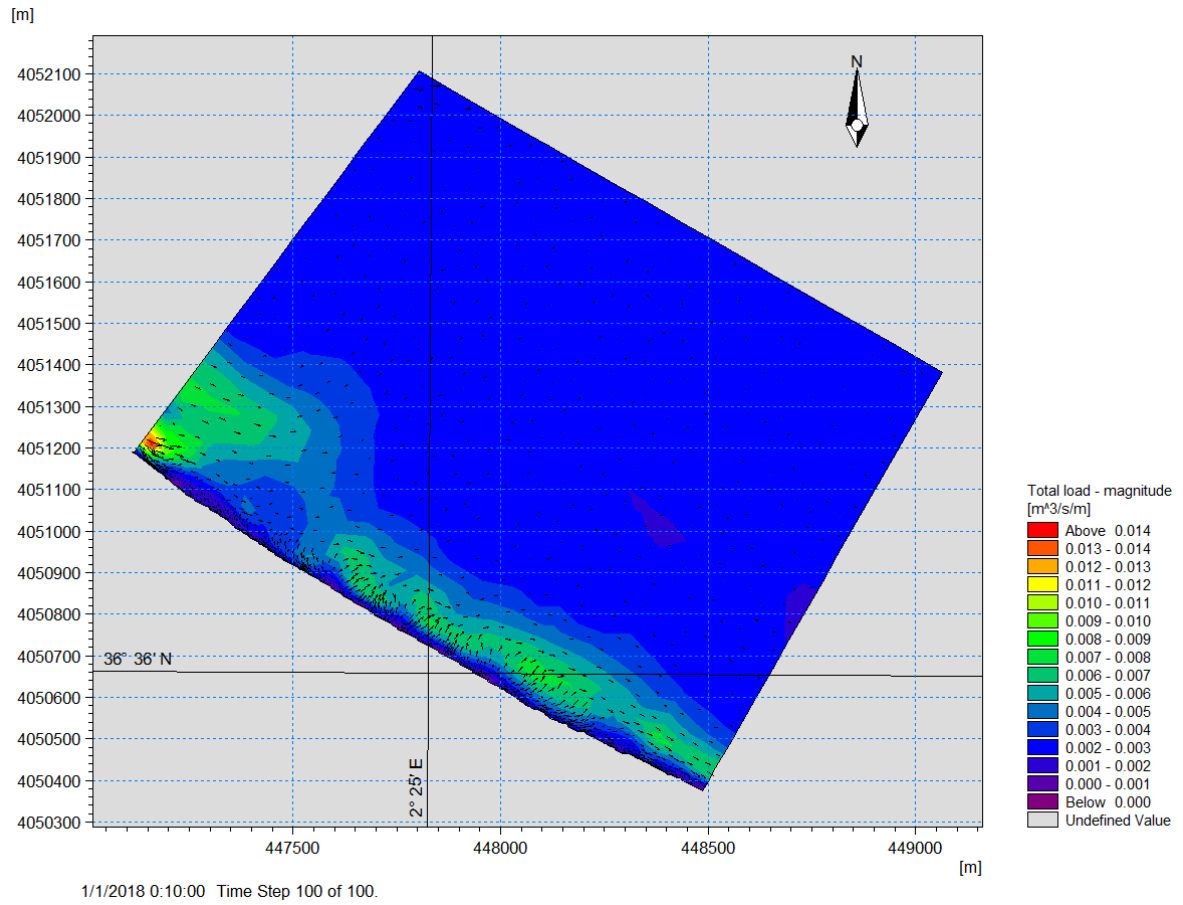


Figure III.23 : Dynamique sédimentaire sur la partie Ouest de la Baie de Bou-Ismaïl (zone d'étude).

Chapitre IV
Evolution spatio-temporelle
du trait de côte

Chapitre IV : évolution spatio-temporelle du trait de côte

L'étude de l'évolution du littoral se base sur le suivi de la dynamique du trait de côte.

Les mesures et les analyses des changements observés sur la côte permettent une évaluation précise et globale de la morphodynamique littorale (*Jego, 2003*).

Afin de réaliser ce suivi, l'étude d'évolution historique du trait de côte est mise en compte. Elle permet de décrire son changement morphologique à l'échelle spatio-temporelle et de déterminer les variations de sa position.

L'étude de la mobilité du trait de côte a souvent été abordée sous l'angle qualitatif : érosion, engraissement ou stabilité du linéaire côtier (*Jego, 2003*).

1 A propos de trait de côte

Le trait de côte est dynamique, il représente une limite qui sépare entre la plage aérienne et la plage sous-marine. Cette limite n'est pas fixe à l'échelle spatio-temporelle. Elle peut avancer vers la mer (accrétion) dans le cas où il y a un gain des sédiments pour la plage, comme elle peut reculer vers la terre (érosion) par la perte des sédiments. Ou bien, elle peut rester stable dans le cas d'équilibre du budget sédimentaire (*Belkherroubi Z et Belgurguid A, 2017*).

2 Méthodologie

L'étude du changement du trait de côte peut se faire par différentes méthodes d'analyse : l'interprétation de photographies aériennes, l'analyse de cartes (historiques, topographiques et hydrographiques), l'étude des images satellitaires, des relevés sur le terrain et des enquêtes auprès des gens du milieu constituent autant de sources d'information pour étudier le trait de côte (*Grenier et Dubois, 1990*).

L'approche méthodologique dans ce travail consiste à réaliser une étude diachronique du trait de côte à l'aide de missions de photographies aériennes, ainsi que des images satellitaires, afin de quantifier la dynamique spatio-temporelle du trait de côte.

2.1 Collecte des données

Dans cette étude, des photographies aériennes corrigées à différentes échelles 1/10 000 provenant de différentes missions (1980, 1996) et les images satellites (Quick-birdMulti-spectral) couvrant la côte du littoral chenoua (2013 et 2018) ont été utilisé pour détecter les changements de rivage le long de la côte. Les sources de données utilisées pour examiner les mouvements du littoral sont consignées dans le tableau IV.1 :

Document	Date	Source	Echelle
Photo aérienne	1980	INCT	1/10000
Photo aérienne	1996	INCT	1/10000
Image satellitaire	2013	Google Earth Pro	1/10000
Image satellitaire	2018	Google Earth Pro	1/10000

Tableau IV.1 : Les données utilisées

2.2 Les logiciels utilisés

Dans le but d'étudier l'évolution du trait de côte, on a utilisé ces logiciels :

- Google Earth Pro pour télécharger les images satellitaires ;
- ArcGis pour géoréférencer et digitaliser les traits de côte ;
- L'extension DSAS pour suivre l'évolution des traits de côte.

2.2.1 Aperçu du logiciel Google Earth Pro (version 7.1)

Google Earth est une interface graphique qui permet d'explorer la surface de la Terre. Le programme utilise de multiples sources d'informations, y compris des satellites et des relevés aériens. Il permet d'afficher des images satellites, des plans, des reliefs et des bâtiments 3D. Il contient des images de grande résolution, qui sont archivées sur le serveur et mises à jour au fur et à mesure.

2.2.2 Aperçu sur le logiciel ArcGis Desktop 10.2.2 et l'extension DSAS

2.2.2.1 ArcGis Desktop 10.2.2

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, ArcToolbox.

1. ArcCatalog : est un explorateur de données tabulaires et cartographiques offrant des outils de gestion et d'organisation. ArcCatalog permet aussi de visualiser les données tabulaires et des couches géographiques ainsi qu'une exploration des différents thèmes qui les constituent.

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

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

4. ArcReader : est une application gratuite permettant d'échanger des cartes publiées entre différents utilisateurs (*Kamel, 2006*).

2.2.2.2 DSAS (digital shoreline analysis system)

Pour quantifier les changements de position des différents traits de côtes ainsi obtenus, nous préconisons l'utilisation d'un module dénommé The Digital Shoreline Analysis System (DSAS 4.3) (*Himmelstoss, 2009*).

L'outil DSAS permet d'analyser l'évolution passée du littoral. Il est rapidement pris en main et facilement opérationnel et permet une grande traçabilité des différentes étapes de construction des traits de côte future. Cet outil permet de réaliser un calcul statistique des taux d'évolution à partir des différents traits de côte dans un temps précis. Il s'opère sous le logiciel SIG ArcMap.

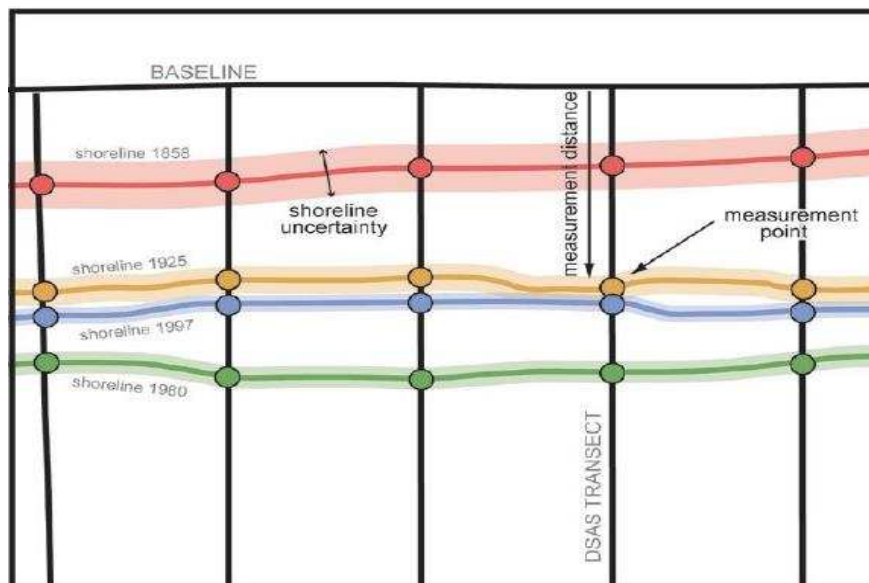


Figure IV.1 : Illustration du calcul du module DSAS (*Himmelstoss, 2009*)

a. Barre d'outils (Toolbar) de DSAS



Figure IV.2 : barre d'outils de 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 transects à SCE** : lance une boîte de dialogue offrant aux utilisateurs la possibilité de générer une copie du fichier de profil spécifié qui est accroché à

l'enveloppe de changement de rivage (SCE) ou la distance maximale entre tous les rivages.

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, 2009*).

b. Création d'une ligne de base

L'outil DSAS nécessite la réalisation manuelle d'une ligne de base (Figure IV.1) se trouvent soit en mer, soit en terre. L'utilisation de cet outil nécessite également, de définir une longueur pour les transects, un pas de mesure et de disposer de trait de côte projetés dans un même système géographique .Il génère automatiquement, selon le pas de mesure les distances entre les traits de côte et calcule les taux moyens de déplacement le long de chaque transects (FigureIV.1).l'analyse automatique de ces derniers permet de définir des secteurs d'évolution type et d'en calculer les valeurs moyennes.

c. Génération des transects

Lorsque tous les paramètres d'entrée sont correctement saisis, DSAS génère automatiquement, selon le pas de mesure défini, des transects perpendiculaires aux linéaires côtiers, mesure les écarts entre les traits de côte et calcule les taux moyens de déplacement le long de chaque transects. Dans les modèles présentés, l'espacement utilisé entre les transects varie entre 1 m, 5 met 10 m (Figure IV.2).C'est l'analyse automatique de tous ces transects qui permet de définir des secteurs d'évolution type et d'en calculer les valeurs moyennes. Dans les tables attributaires des transects, on dispose, à l'issue du traitement, en plus des attributs géographiques, des attributs statistiques dont deux, au moins, sont à retenir (voir fig. IV.3).

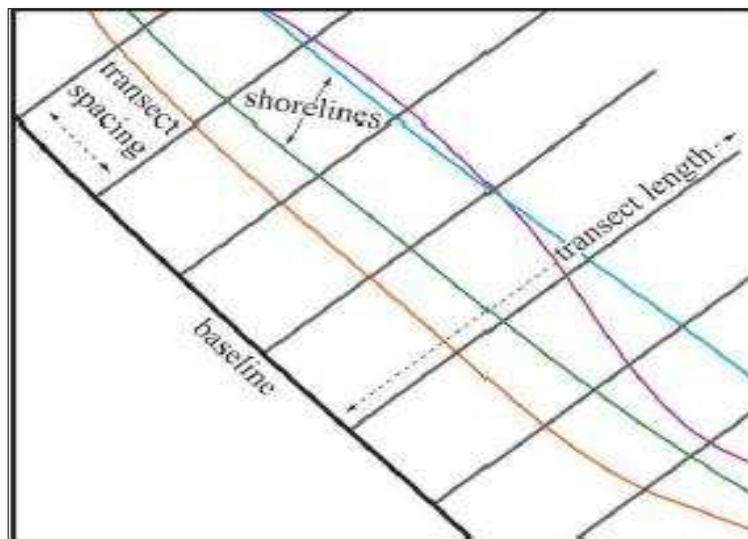


Figure IV.3 : Paramètres de sortie spécifiés par l'utilisateur comprennent l'espacement et la longueur des transects

d. Les statistiques calculées par le DSAS

- Mouvement net du rivage NSM

Le mouvement net du littoral rapporte une distance, pas un taux. Le NSM est associé aux dates de deux traits de côte seulement. Il rapporte la distance entre les lignes les plus anciennes et les plus jeunes pour chaque transects (*Himmelstoss, 2009*).

- Taux des points extrême EPR

L'End Point Rate (EPR) est le rapport de la distance entre le trait de côte le plus ancien et le plus récent sur le temps (nombre d'années) écoulé entre les deux dates (Figure IV.3), exprimé en mètre/an. L'EPR convient bien lorsque l'on ne dispose que de deux traits de côte pour évaluer la cinématique littorale (*Himmelstoss, 2009*) (voir fig.IV.4)

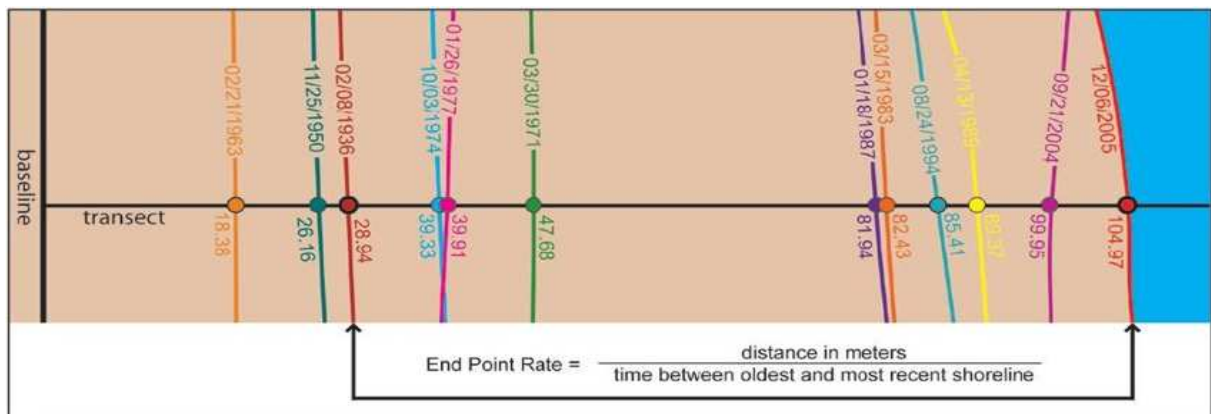


Figure IV.4 : Principe de calcul de l'End Point Rate EPR (*Himmelstoss, 2009*)

- Linear regression rate-of-change LRR

Le Liner Régression Rate-of-change (LRR), 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 transects et des traits de côte comparés.

Cet attribut, qui traduit également le taux d'évolution annuelle de la ligne de référence le long de chaque transects 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 (*Himmelstoss, 2009*) (voir fig. IV.4).

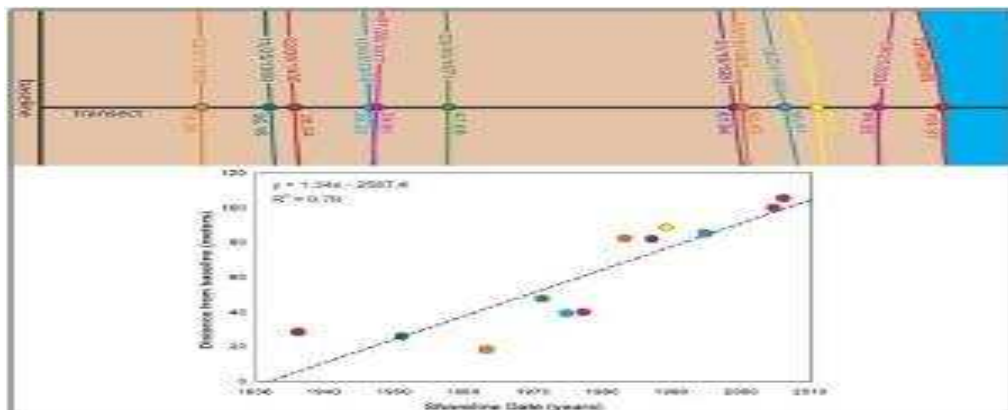


Figure IV.5 : Principe de la régression linéaire pondérée pour le calcul par DSAS de l'évolution du trait de côte (*Himmelstoss, 2009*)

3 Variations historiques de la ligne de rivage le long de la côte de la plage Chenoua

L'étude diachronique du littoral de Chenoua, consiste à générer 138 transects perpendiculaires au trait de côte. L'avancée ou le recul du trait de côte ont été mesurés pour chacun des transects et ont permis d'appréhender l'évolution générale de la ligne du rivage. A partir du point d'intersection du trait de côte avec le transects à une date définie, nous obtenons les distances de déplacement du trait de côte.

Afin de suivre l'évolution du trait de côte de notre zone et déterminer les variations des positions, l'étude est faite sur une période de trente-huit ans (1980-2018). La réalisation de cette étude est composée de deux volets :

3.1 Cartographier le trait de côte

Cette étape consiste en premier lieu à géoréférencer Les images satellitaires à l'aide d'un logiciel de cartographie (Arc Gis 10.2) dans la projection **WGS 1984 UTM Zone 31N** à l'aide des repères qu'on a fixé sur Google Earth Pro afin d'obtenir les coordonnées de latitude et de longitude. Puis on a procédé par le georeferencement des photos aériennes où on a calé ces dernières à partir des images satellitaires déjà géoréférencés en choisissant des points fixes .Enfin la création de la ligne de base ; qui est une ligne virtuelle, elle sert à être une référence fixe. (Figure IV.6)

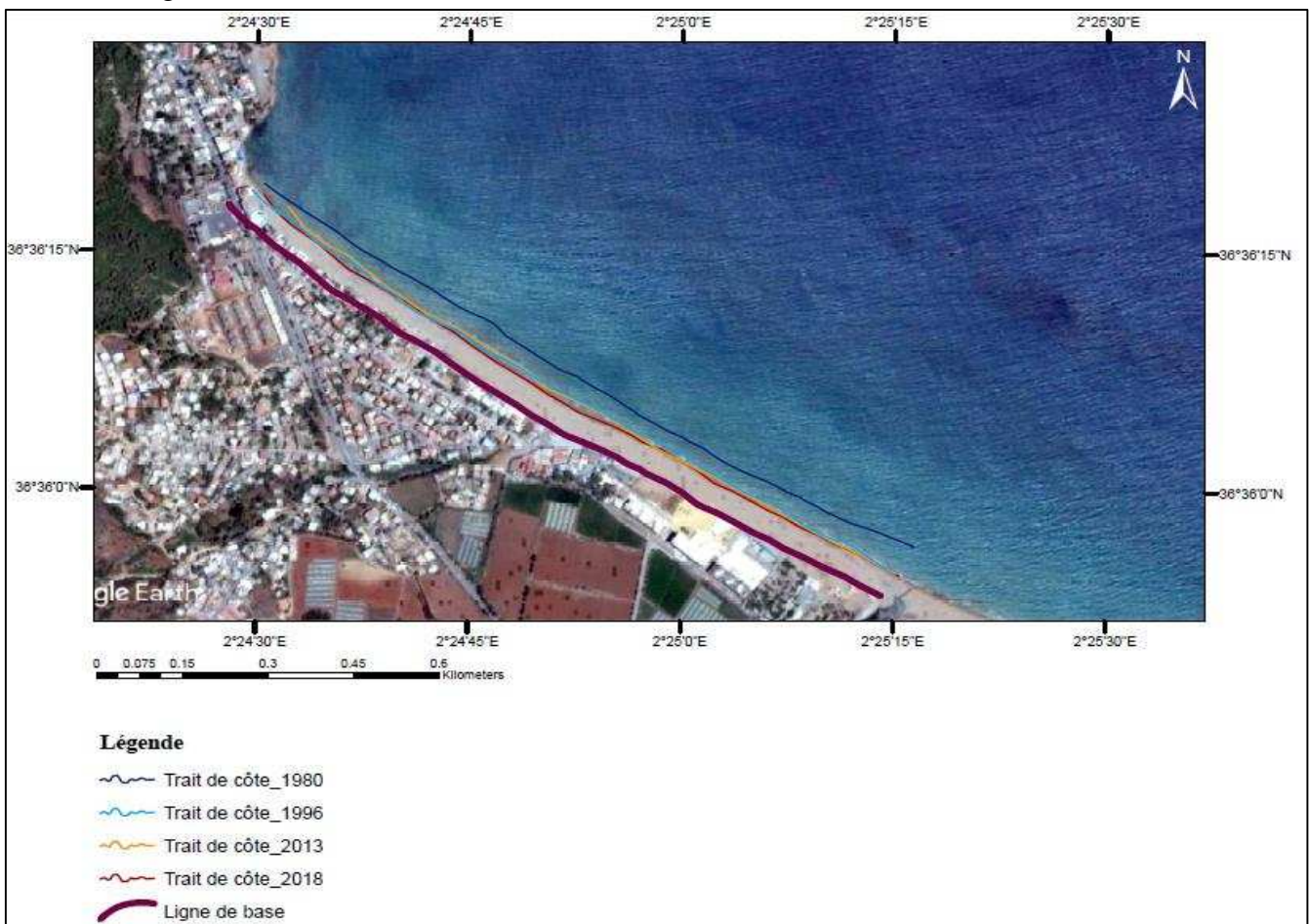


Figure IV.6 : les différentes positions du trait de côte entre 1980 et 2018 par rapport à la ligne de base

3.2 Représentation et analyse statistique d'évolution du trait de côte

La digitalisation des traits de côte de différentes années sert à représenter leurs différentes positions pendant cette période. L'analyse des variations de ces positions est faite par rapport à la ligne de base après la génération des transects (138 transects) d'une longueur de 150 mètre, sont espacés avec une équidistance de 10 mètre entre eux. Ces derniers sont perpendiculaires à la ligne de base et en intersection avec les traits de côte. (Figure IV.7)

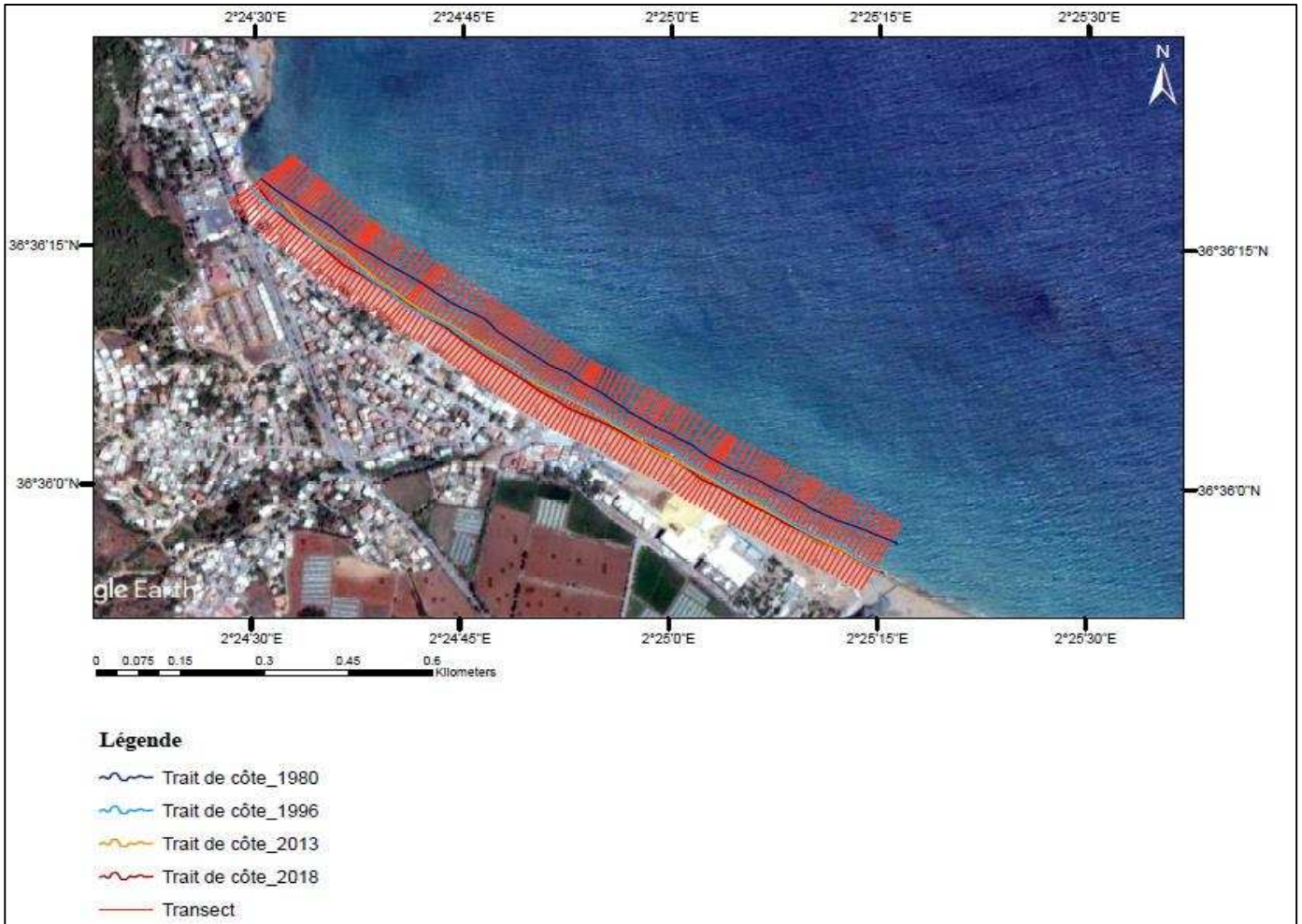


Figure IV.7 : l'évolution des traits de côte selon les transects entre 1980 et 2018

3.3 Résultats des statistiques

Les résultats des analyses statistiques des variations de trait de côte selon les paramètres précédents pour chaque transects pendant la période entre 1980 et 2018 sont représentés dans un tableau statistique. (Annexe)

3.4 Résultats de volet graphique

Pour comprendre l'évolution de la zone d'étude entre 1980 et 2018, les paramètres statistiques (NSM, LRR, EPR) calculés à l'aide de DSAS sont représentés graphiquement.

3.4.1 Mouvement net de rivage (NSM)

Le calcul statistique de mouvement net de rivage permet de déterminer les distances d'évolution de trait de côte entre 1980 et 2018 calculées par rapport à la ligne de base, ces distances peuvent être négatives dans le cas d'érosion ou positives dans le cas d'accrétion. (Figure IV.8)

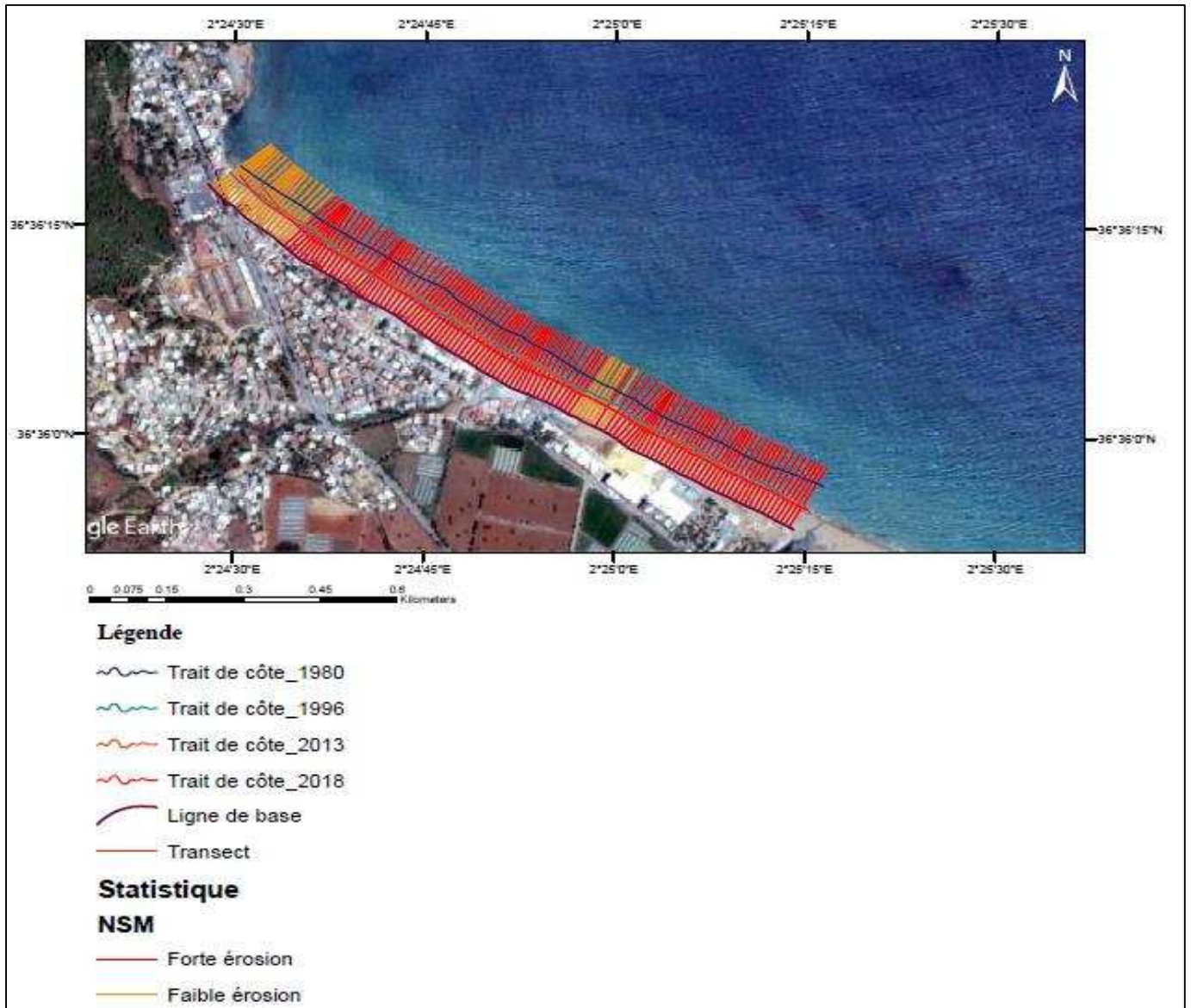


Figure IV.8 : Représentation de l'évolution de la plage en fonction de NSM entre 1980 et 2018

Par rapport aux résultats obtenus, durant cette période (1980-2018) la plage est en générale état d'une forte érosion avec une moyenne de l'ordre de 48 m ou les distances entre l'ancien et le récent trait de côte sont négatives. Ce qui se manifeste par les transects rouges et la distance maximale de recul est d'environ de 60 m. et dans la partie ouest les distances sont aussi négatives et elle est caractérisé par une faible érosion et représentées par les transects oranges, avec une moyenne de presque 30 m avec une distance d'érosion maximale de 40 m.

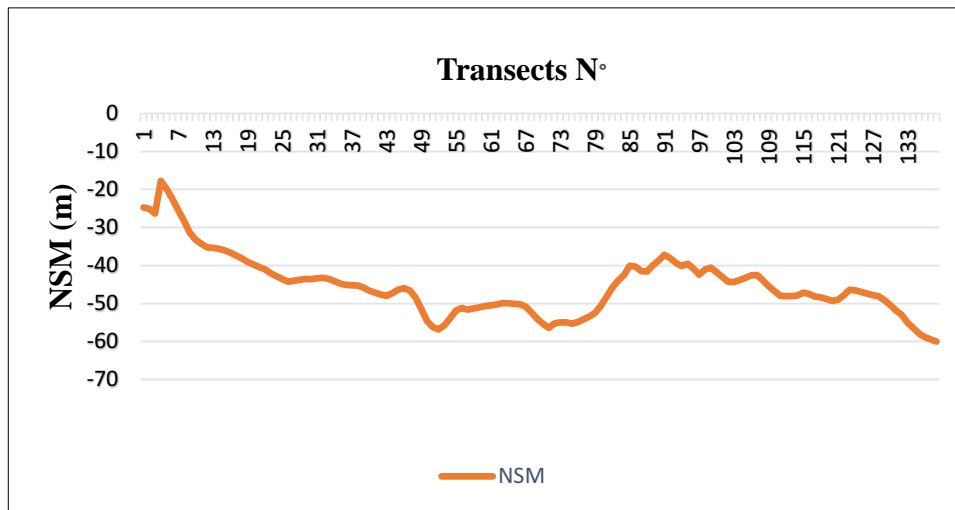


Figure IV.9 : diagramme d'évolution de trait de côte entre 1980 et 2018 en fonction de NSM

3.4.2 Le taux d'évolution de trait de côte entre 1980 et 2018 (EPR)

Le calcul statistique du taux du point final permet de distinguer les variations que la zone d'étude a subies (figure IV.9), il renseigne sur la vitesse d'évolution en prenant en considération le plus ancien et le plus récent trait de côte. La valeur maximale de ce dernier est d'environ de 1.7 m/an dans le cas de recul.

Les transects oranges montrent que la grande partie de la plage est en état d'érosion (figure IV.10) avec une vitesse moyenne de 1.12 m/an, par contre les transects rouges signifient que la partie à proximité d'oued Nador et la partie centrale ont connu une forte érosion (figure IV.9) avec une moyenne de 1.44 m/an.

D'après le diagramme (figure IV.10) la vitesse d'érosion de la plage varie selon les transects, avec quatre pics de vitesse au niveau des transects 4, 51, 70 et 138 et la vitesse minimale de recul est 0.47 m/an au niveau de transects 3.

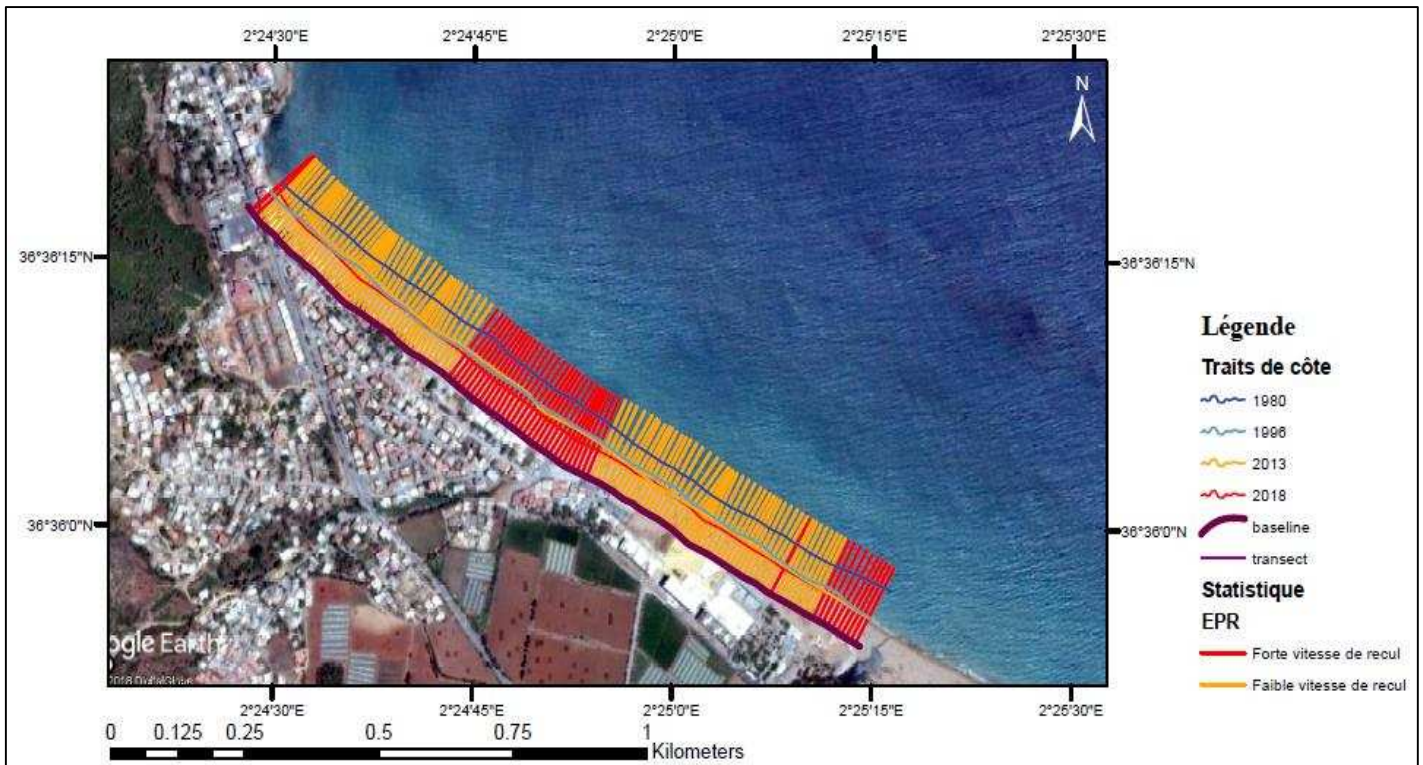


Figure IV.10 : Représentation de la vitesse d'évolution de la plage (recul ou accrétion) en fonction de l'EPR entre 1980 et 2018

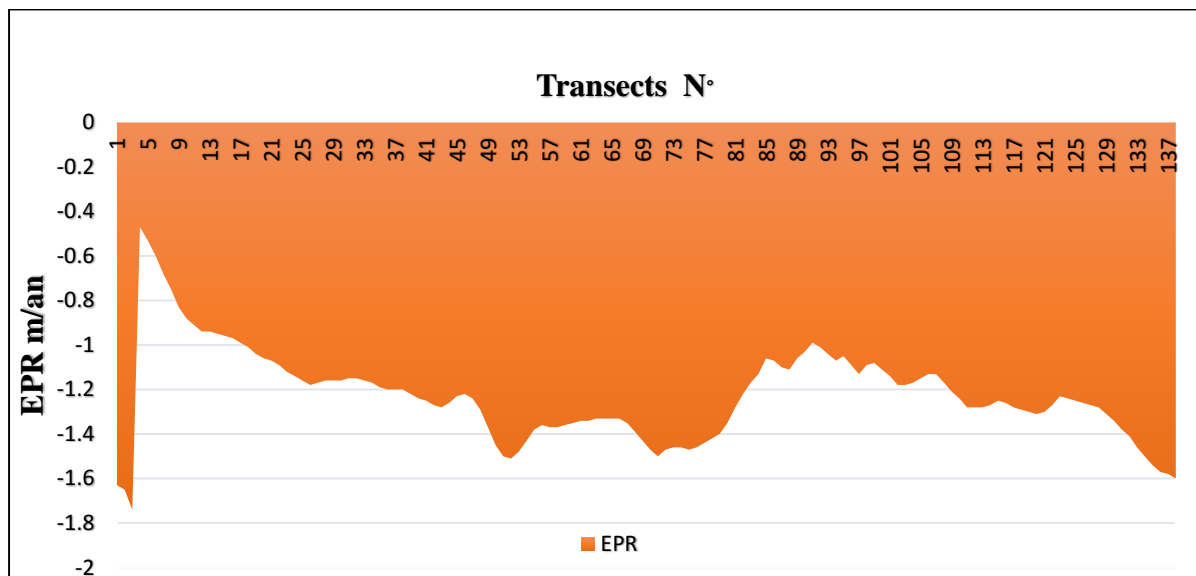


Figure IV.11 : diagramme d'évolution de trait de côte entre 1980 et 2018 en fonction de l'EPR

3.4.3 La régression linéaire de trait de côte entre 1980 et 2018 (LRR)

La synthèse de l'analyse de la régression linéaire dans la zone d'étude entre 1980 et 2018 a permis de définir que la plage globalement a tendance de régresser, ce paramètre permet d'avoir une idée sur la vitesse d'évolution de la plage pendant cette période en prenant en considération les variations de trait de côte entre plusieurs années.

Les transects rouges montrent que la plage a tendance de régresser de façon importante (figure IV.12) avec une vitesse moyenne de 1.14 m/an, et les transects orange signifient une régression qui est moyenne avec une moyenne de 0.8 m/an.

D'après le diagramme (figure IV.13), la vitesse de régression augmente en allant de partie centrale vers le côté de l'oued. Les transects du 50 jusqu'à 78 ont la plus grande vitesse de régression. Elle varie entre 1.2 et 1.47 m/an.

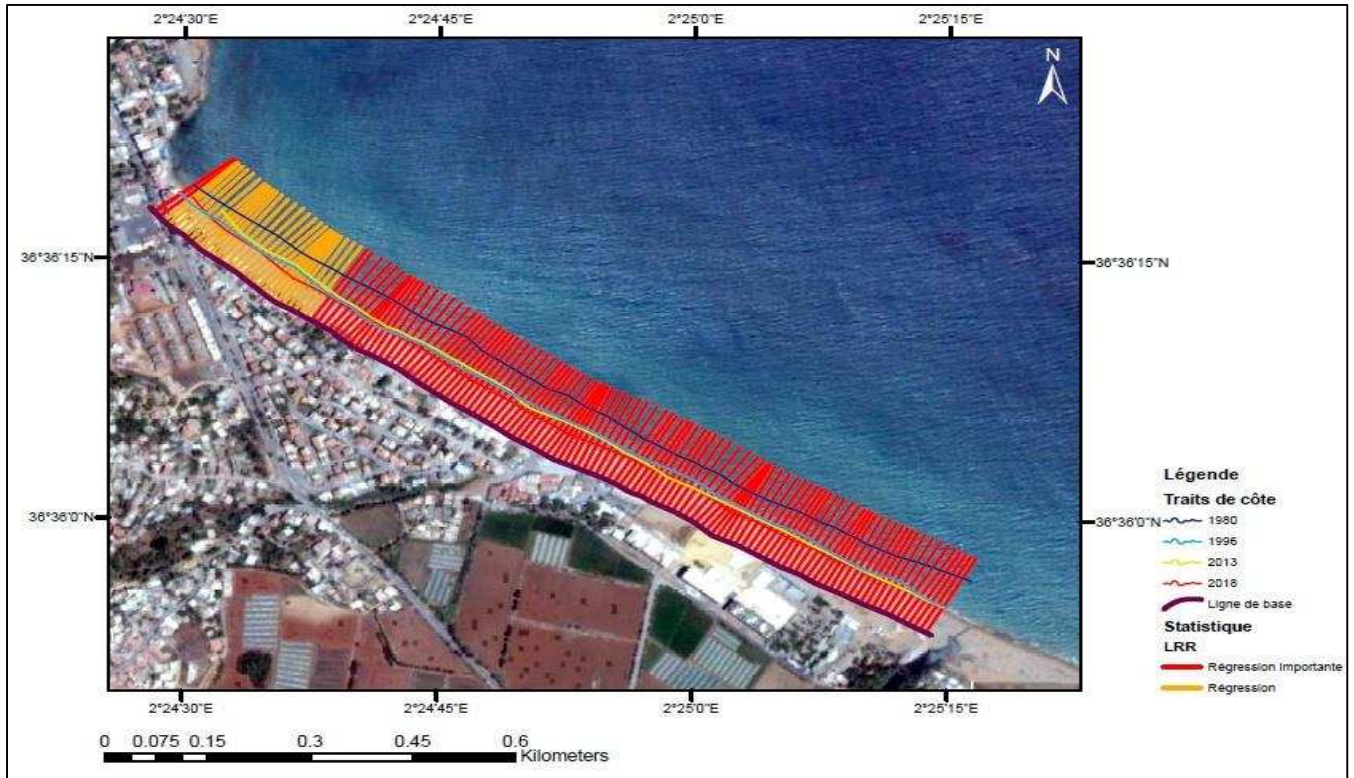


Figure IV.12 : Représentation de la vitesse d'évolution de la plage (Régression ou engraissement) en fonction de LRR entre 1980 et 2018

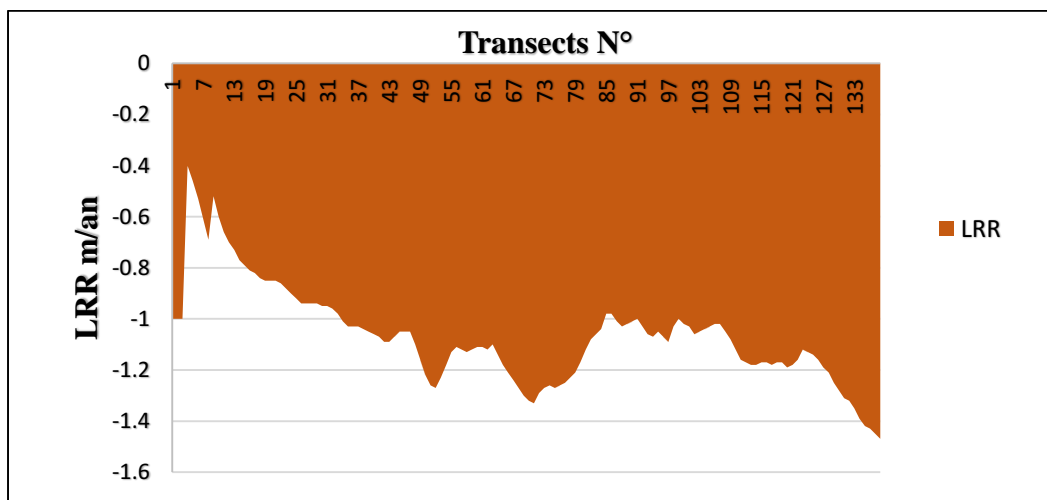


Figure IV.13 : diagramme d'évolution de trait de côte entre 1980 et 2018 en fonction de LRR

L'analyse du diagramme EPR/LRR en fonction des transects montre que les variations des vitesses évolutives d'érosion évoluent dans le même sens, parfois elle indique même des vitesses identiques, comme le cas des transects 5 et 90. (Figure IV.14)

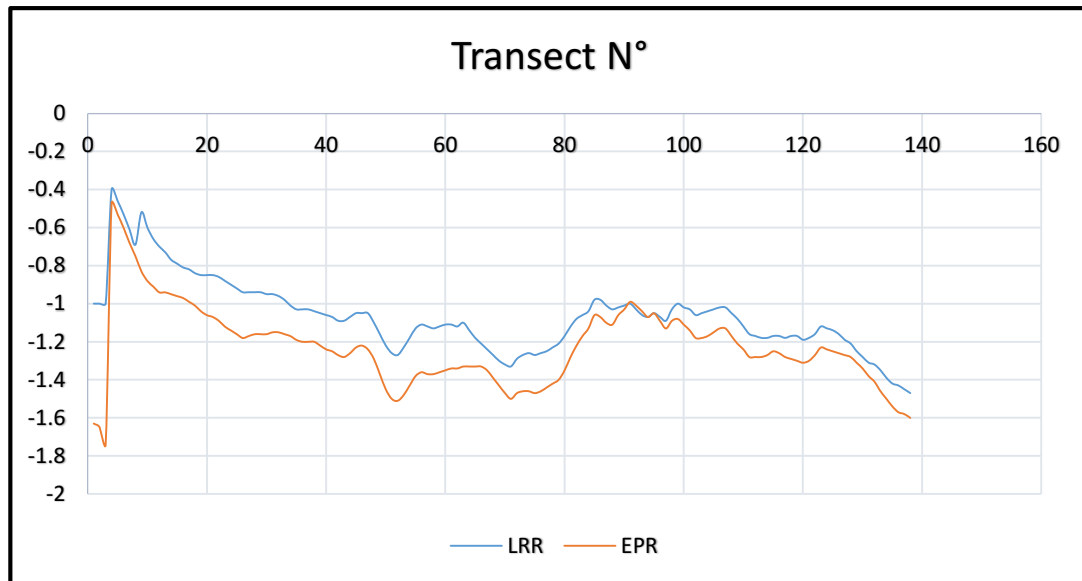


Figure IV.14 : Représentation graphique des variations des paramètres d'évolution de trait de côte (LRR et EPR)

3.4.4 L'évolution de la plage entre 1980 et 2018

La cartographie des variations surfaciques de la plage durant les dernières trente-huit années (1980-2018), montre que cette dernière à perdre assez d'espace vers la terre alors une grande perte sédimentaire. Figure (IV.15) a permis de calculer les surfaces perdues pendant cette période.

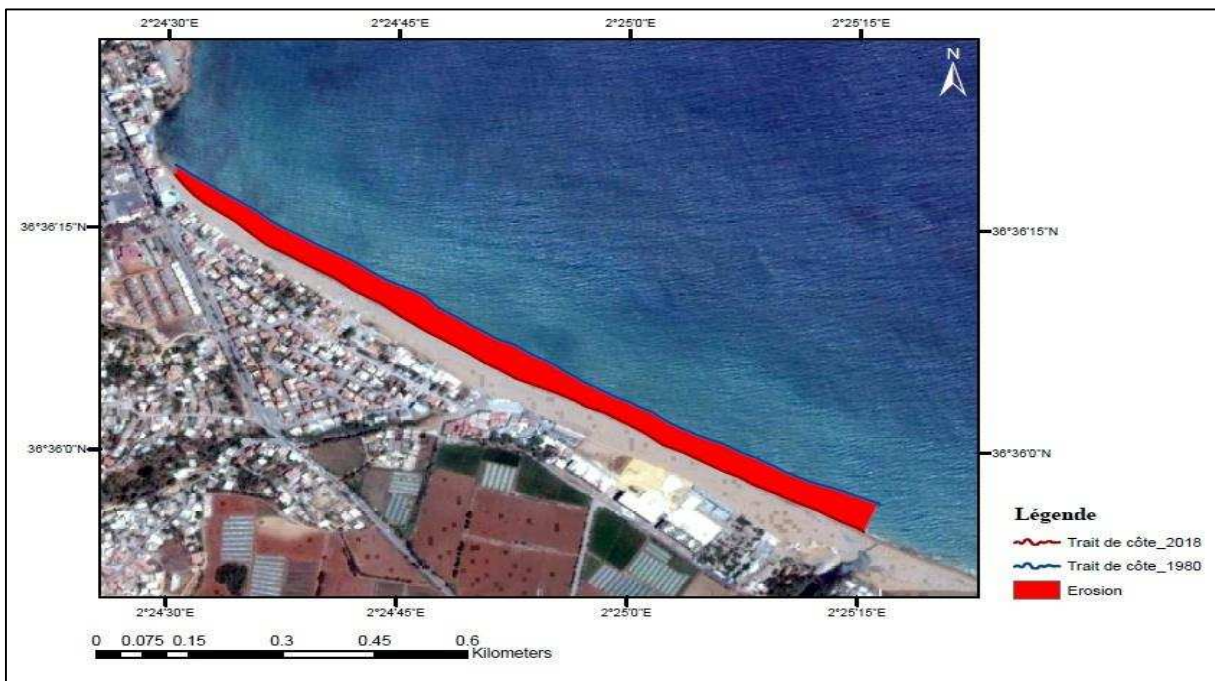


Figure IV.15 : représentation d'évolution de la plage entre 1980 et 2018

La cartographie des variations a permis de calculer la surface perdue. Ce calcul montre un bilan négatif de la zone d'étude, elle a perdu une surface de l'ordre de 61199.4 m².

Cette érosion est peut-être due à la forte densité d'urbanisation et constructions proches de la ligne de rivage qui a pratiquement explosé pendant cette période de 38 ans ainsi qu'à la présence de l'oued qui cause parfois l'érosion. (Fig.IV.16).

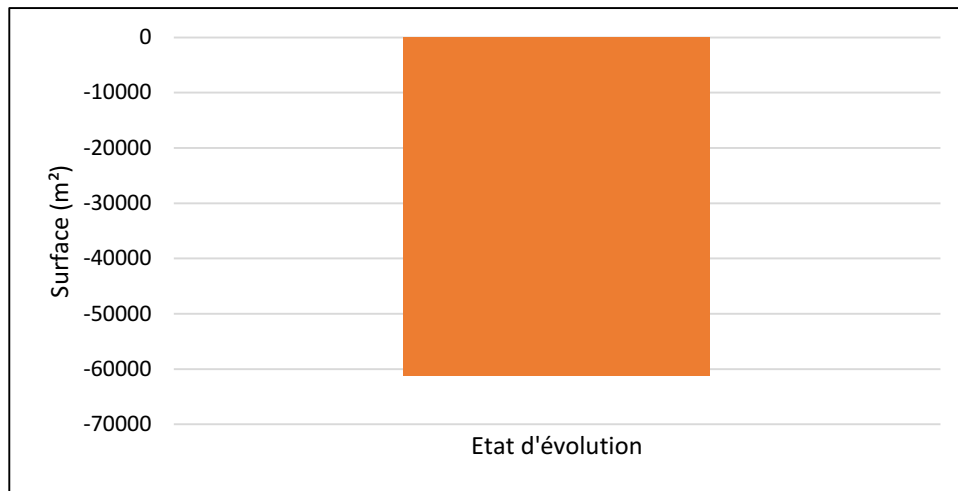


Figure IV.16 : l'histogramme représentatif de la variation de la surface de la plage entre 1980 et 2018

Conclusion

En général, et après l'application du module DSAS au niveau de la plage chenoua, cette ligne de rivage montre beaucoup de problèmes d'érosion.

Les origines de ces problèmes d'érosions sont très diverses, les plus répandus sont l'urbanisation anarchique sur la bande côtière des 100 m où la zone connaît une forte urbanisation sur le littoral, le prélevement illicite du sable de la plage, la pollution par les rejets en mer et l'utilisation des pesticides en agriculture côtières qui va nuire à la flore marine qui est connue par le maintien de l'équilibre sédimentaire côtier... ainsi qu'à la présence d'oued qui cause parfois l'érosion au lieu d'accumulation.

À l'instar de cette situation inquiétante, plusieurs solutions peuvent être prises en charge : en premier lieu la maîtrise obligatoire de l'urbanisation anarchique, l'éliminer de tout type de rejets en mer, aussi pour la protection du rivage ou la consolidation de ce dernier.



Conclusion

L'objectif principal de cette étude contribue à la compréhension des processus hydro-sédimentaires ainsi l'évolution spatio-temporelle qui s'effectue à la côte de Chenoua. C'est une côte qui est située dans une zone dont les caractéristiques hydrodynamiques et morphologiques sont complexes du fait de sa configuration et de son exposition aux agitations marines et météorologiques.

En vue des multiples impacts des infrastructures maritimes implantés au niveau des plages chenoua, et les agents météo-océanique sur l'équilibre naturel des zones sableuses de la baie, nous avons concentré notre travail sur les processus physiques responsables de l'évolution de la zone de Chenoua. Pour mener à bien cette recherche, notre intérêt s'est porté sur l'hydrodynamique, le transport sédimentaire et l'évolution du trait de côte de la zone d'étude que nous avons étudié par une approche numérique basée sur les résultats de simulation empiriques et de modélisation au moyen du logiciel Mike 21 DHI et l'analyse diachronique de la position de la ligne du rivage sur une période de 28ans l'aide d'un outil DSAS.

Le logiciel MIKE21 a été appliqué pour reproduire les régimes hydrodynamiques et les processus morphologiques, L'intégration d'un certain nombre de modules donne en effet des résultats raisonnables, compatibles avec le phénomène réel. Les résultats de nos calculs ont donné une image complète du processus d'évolution du site d'étude .en effet :

- Les houles du secteur Nord qui abordent la côte avec une incidence frontale engendrent un courant de retour (avec une vitesse de 0.2 m/s dans la partie Ouest et une vitesse de 0.7 m/s dans la partie Est) et assurant le déplacement des sédiments dans le profil et accentue l'érosion de la zone.
- Les houles du secteur Nord-Est abordent la côte avec une incidence oblique et engendrent un courant de dérive littoral Est-Ouest avec une vitesse de 0.35 m/s
- Les houles du secteur Nord-Ouest abordent la côte avec une incidence oblique et engendrent un courant de dérive littoral Ouest-Est. ce courant prend une direction avec des vitesses moyennes qui ne dépassent pas 0.7m /s.

L'outil DSAS, il nous offre la possibilité d'étudier l'évolution historique du trait de côte, par la détermination des variations de sa position au cours du temps. Il nous a permis de calculer les paramètres statistiques des changements qu'a subit le trait de côte pendant la période 1980-2018.

Cette étude a relevé des résultats intéressants à travers une analyse diachronique qui nous a permis de déterminer l'évolution historique de la plage où nous avons conclu que notre zone dans un état de régression avec une forte érosion. Ce dernier est d'origine d'une part naturelle tel que les tempêtes, les variations du niveau de la mer à terme plus ou long, et d'autre part anthropiques essentiellement l'artificialisation de cette portion de la côte par une urbanisation anarchique.

Afin d'atténuer ce processus de dégradation, il est nécessaire d'intervenir en protégeant la côte contre le phénomène d'érosion, dans ce but nous proposons des solutions envisageables contre l'érosion marine au niveau de Chenoua plage dont l'objectif central de ces solutions

Conclusion

est de réduire l'érosion marine et de favoriser l'accrétion, pour cela, nous proposons quelques recommandations :

- Il est recommandé de préconiser une protection au niveau du site d'étude. Néanmoins, et afin de préserver l'aspect paysager, et touristique de cette côte, ces protections doivent être immergées.

Dans ce but, trois types de protection peuvent être envisagés :

1. Des techniques classiques : par la mise en place des brise-lames avec des caractéristiques optimales pour diminuer l'amplitude de la houle et limitent la dispersion des sédiments dans le profil en favorisant la formation de tombolo.

 2. Des techniques douces : en effectuant un rechargement artificiel des plages pour élargir le haut estran afin de créer une plage « sèche », c'est-à-dire non recouverte par les plaines mers, plus étendue. Cette solution veille à la sécurité des aménagements de bordure de mer et de rendre à la plage son rôle de défense contre la mer ; d'augmenter la superficie de la plage en retrouvant la ligne de côte et de limiter l'énergie de la houle en haut de plage ; et d'augmenter en conséquence la fréquentation touristique de la plage

 3. la combinaison des deux techniques : qui consiste en la réalisation de brise-lames en associant un rechargement de plage.
- Il est recommandé aussi de prendre des mesures de réductions voir même d'interdiction d'extraction de sable de plage, de dune et de lit de l'oued Nador permettront de freiner le processus d'érosion de la côte.
 - Interdiction de l'urbanisation près de la côte.

Le travail réalisé dans le cadre de notre mémoire de fin d'études nous a permis d'abord, d'approfondir les connaissances acquises durant notre cursus et de mieux connaître ensuite, les avantages offerts par l'usage et l'exploitation des systèmes d'information géographique et la télédétection pour les besoins des applications liées à l'aménagement du littoral. Néanmoins, tout travail est perfectible et son amélioration continue doit constituer une nécessité pour le faire évoluer vers d'autres perspectives.



Bibliographie



Bibliographie

Abdelhak K. Chabou S (2001). Aspect morphologique de Matares plage(Tipaza).Mémoire d'ingénieur. Aménagement du Littoral, ISMAL : Alger. 9, 96 p.

Aurélié Dehouck (2006). Morphodynamique des plages sableuses de la mer d'Iroise (Finistère). PhD thesis, Université de Bretagne Occidentale.

Belkherroubi Z. Belguerguid A (2017). Evaluation du risque d'érosion de la plage Est de Sidi Fredj(Alger).Mémoire d'ingénieur .Aménagement du littoral .ENSSMAL : Alger, 76 p.

BONNEFILLE, R (1992). Cours d'hydraulique maritime. 3eme édition .France : Masson. 208 p.

Borloo, Jean-Louis (2010), la gestion du trait de côte. Paris : Quæ, 12.30 p.

Bouchenak A. Karim A. Sadiki S (1997), baie de Bou-Ismaïl : contribution à l'Elaboration de Données de Bases, Avec d'un Site : le cas de la baie de Chenoua. . Mémoire d'ingénieur. ISMAL : Alger.23 p.

(Beach et Sternberg, 1992 ; Calliari, 1994 ; Courtaud, 2000). Analyse multi-échelle de la morphodynamique d'une plage artificielle, Avant-port Ouest de Dunkerque (Nord de la France) [en ligne]. [Consulte le 12/06/2018]. Disponible sur le web : <https://www.google.com/>

Cowell and Thom (1994). Coastal evolution late quaternary shoreline morphodinamics .Edited by R.W.G Carter and C.D .woodroffe, Combridge Universty press, 34 p

De Vriend, H. (1991). Mathematical modelling and large-scale coastal behavior. Part I

DHI (2014) f. MIKE 2I. Spectral Wave Module Scientifique Documentation. Denmark : Hørsholm, 385 p.

Eco-Chatabi, A et Sais K (2000). Recherche sur les méthodes de typologie côtière dans la zone Chenoua-Mazafran, Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral, ENSSMAL: Alger. 8 p.

Fenster et al. (1993). A new method for predicting shoreline positions from historical data. Journal of Coastal Research, Vol. 9, pp. 147-171.

Ghazali, A (2016). Évolution du trait de côte au niveau de la baie de Bou-Ismaïl recours à l'image satellite et système d'information géographique. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral, ENSSMAL : Alger. 15 p.

GOURLAY, Michael R. MEULEN, T (1968). Beach and Dune Erosion Report Delft Hydraulics Laboratory1 [en ligne].[consulte le 22/05/2018] M935/M936.

GRASSO FLORENT. (2009). Modélisation physique de la dynamique hydro-sédimentaires des plages [En ligne]. Thèse de doctorat. Océans, Atmosphère, Hydrologie. Grenoble l'Université Joseph Fourier- Grenoble, 18 p.

Grenier, A. Dubois, J.M.M (1990). Évolution littorale récente par télédétection : synthèse méthodologique. Photo-interprétation, no 1990/6, 3-16 p.

Bibliographie

- Grimes, S (2003).** Plan d'action national pour protection des sites sensibles naturels marins du secteur Cap Djanet au mont Chenoua .Contrat PNUE/PAM/CASP/MATE, Alger ,64 p.
- Guilcher, A (1954).** Morphologie littoral et sous-marine .Paris, PUF, coll.Orbis.216 p.
- Himmelstoss, E.A (2009).**DSAS 4.0 Installation Instructions and User Guide, 4.3. 79 p.
- Jego, R (2003).** Evolution du trait de côte : du suivi des érosions côtières à la gestion intégrée du littoral. Observatoire Départemental de l'Environnement du Morbihan, France. 46 p.
- Idrissi M. (2015).** Institut National de Recherche Halieutique, Casablanca, Maroc LSEET, UMR 6017, Université du Sud Toulon-Var, La Garde Cedex, France 229p.
- Kamel, S (2006).** Initiation aux Systèmes d'Informations Géographiques sous ArcGis 9.
- Kanet, M (2014).** Calcul d'indice multi-échelle de la vulnérabilité côtière : application sur le littoral centre (du mont Chenoua au cap Djinet), Mémoire d'ingénieur, Aménagement du littoral, ENSSMAL : Alger, 38 p.
- Khalfani, D (2014).** Étude hydro-sédimentaires à l'avant côte de cap Djinet wilaya de Boumerdes. Mémoire de magistère. Géo-Risque et Aménagement du Littoral. Alger : ENSSMAL, 196 p.
- Klervi, H(2014).** Etude de la morphodynamique et du profile d'équilibre d'une plage de poche macrotidal ,7 p.
- Laugel, A (2013).** Climatologie des états de mer en Atlantique Nord-Est : analyse du climat actuel et des évolutions futures sous scénarios de changement climatique par descente d'échelle dynamique et statistique. Thèse de doctorat. Génie Côtier. Paris : Université Paris-Est. 196 p.
- LAUGIER, M., MORTIER, L., DEKEYSER, I (1994).** Un modèle bidomaine aux équations primitives en océanographie physique. Oceanologica acta, vol. 4, no 17, p. 355-367.
- Leclaire, L (1972).** La sédimentation holocène sur le versant méridional du bassin Algéro-Baléares.thèse d'état .Faculté des sciences de Paris ,382 p.
- Leclaire, L (1973).** La sédimentation holocène sur le versant méridional du bassin Algéro-baléares (pré continent Algérien). Paris : Du muséum, 521 p.
- LEM, 2009.** Etude de protection du rivage du complexe culturel du Chenoua. Rapport d'avant-projet. Document non publié. Alger : Laboratoire d'études maritimes.14 ,17 p.
- 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, 156 p
- Migniot. C (1990).** Manuel sur l'hydrodynamique sédimentaire et l'érosion et sédimentation du littoral. 1^èEd. France : Centre d'Etudes techniques maritimes et fluviales ,159 p.
- PAC Tipaza, (2016).** Etude d'élaboration du plan d'aménagement côtier de la wilaya de Tipaza .rapport d'activité. Document non publié. Tipaza : PAC

Bibliographie

Paskoff, R (2010). Les littoraux : impacte des aménagements sur leur evolution.3^{eme} édition. France : ARMOND COLIN. 12,54 p

Paskoff, R (2005). Les plages vont-elles disparaître, France, Le Pommier. 27, 46, 50, 23,80 p.

Paskoff, R et Christine Clus-auby (2007). L'érosion des plages : les causes, les remèdes .Paris : institut océanographique, 25, 28,32.46.54 p.

Saad Allah, A (1981). Le massif cristalophylien d'El Djazair (Algérie) : Evolution d'un charriage à Vergence Nord dans les internides des maghrébides .Thèse de Doctorat 3^{ème} cycle, IST, USTH : Alger.160 p.

Said Haddad, S (2017). Impact des ouvrages portuaires sur l'évolution d'un littoral soumis à un forte dynamique sédimentaire -Cas de Cap Djinet-. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral .Alger : ENSSMAL, p 6. 80.

Salamon et al (1981). Etude de l'estuaire de la Seine-Modélisation numérique des phénomènes physiques. Rapport .Document non publié. France : IFREMER.

Sallay M. Berkennou N. (2012). Etude de protection du rivage du complexe culturel de Chenoua, Mémoire d'ingénieur .Aménagement du littoral, Alger : ENSSMAL, 58 p.

Saoudi, N. (1982). Pliocène et Pléistocène inférieur et moyen du Sahel occidental d'Alger. Thèse de Doctorat 3^{ème} cycle .France : Univ d'Aix Marseille II, Fac des Sci de luminy.Vol I-II ,227 p.

Seffah, D. Talaa, A. (2017). Effet de l'urbanisation sur l'évolution des cotes-cas de la baie de chenoua-, Mémoire d'ingénieur .Aménagement du littoral, Alger : ENSSMAL, 30 p.

Serge Allain et al (2000) Données géographie de référence en domaine littoral marin Groupe de travail SHOM- INFERM 2 p.

Stépanian, A. (2002). Evolution morphodynamique d'une plage macrotidal à barres : Omaha Beach (Normandie). Thèse de doctorat. Université de Caen. Synthèse méthodologique. Photo-interprétation, n° 1990/6, 3-16 p.

Than V (2015). Modélisation d'érosion côtière : application à la partie ouest du tombolo de Giens.Thèse de doctorat. Université d'Aix Marseille, école doctorale : ED184, institut de mathématique de Marseille UMR 7373 : France, 50,51p.

Wright and Short, (1984). L. D. Wright, A. D. Short, and M. O. Green. Short-term changes in the morphodynamique states of beaches and surf zones: An empirical predictive model. Marine Geology, 62:339 p.

WRIGHT, J, COLLING, A, PARK, D. (1999). Waves, tides, and shallow-water processes. 2^{ème} Ed. Dave. Vol.4, n° 3 .234



Annexe

Annexe N°01

Étape n°1 : la préparation des données d'entrée (traits de côte et ligne de base)

1- Ouvrir ArcGIS

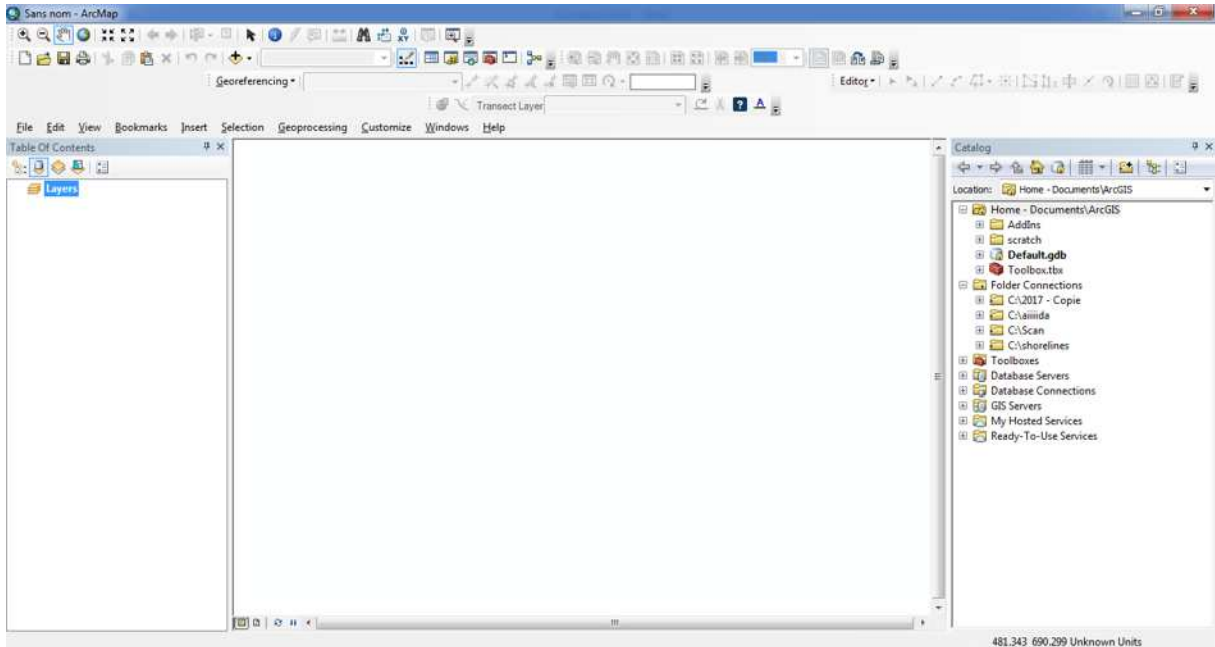


Figure 1 : ArcMap

2- Défini la projection WGS 1984

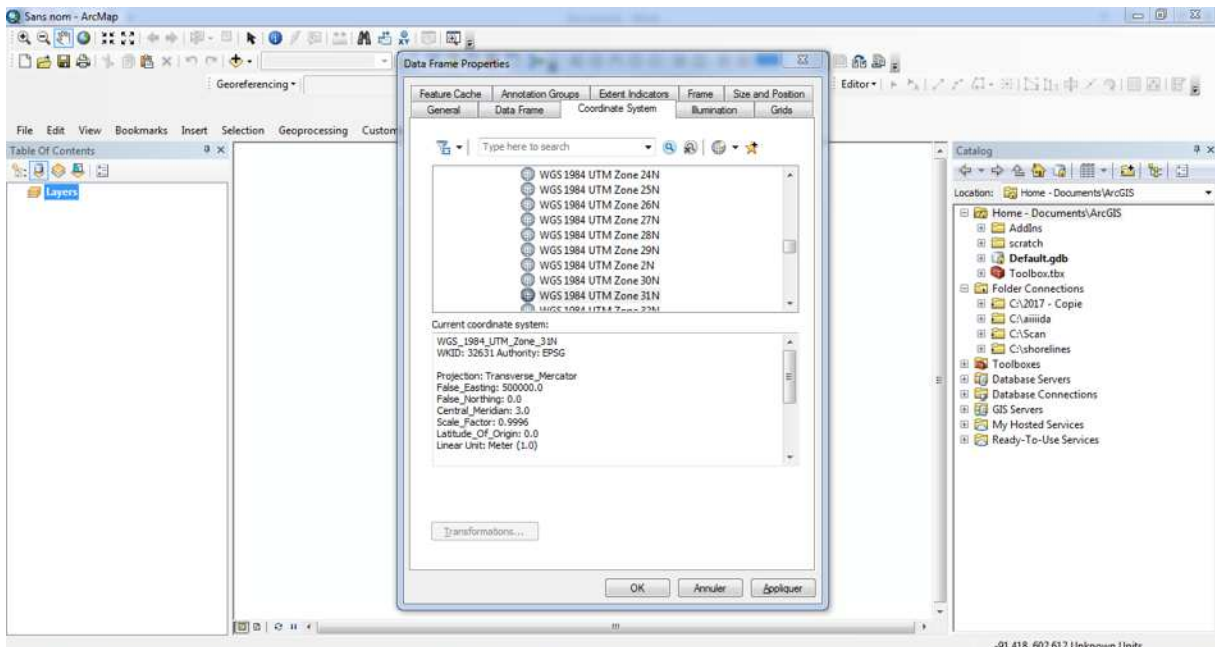


Figure 2 : définition du système de projection

3- Ouvrir les images satellitaires où bien les photos aériennes qui sont déjà géoréférencés

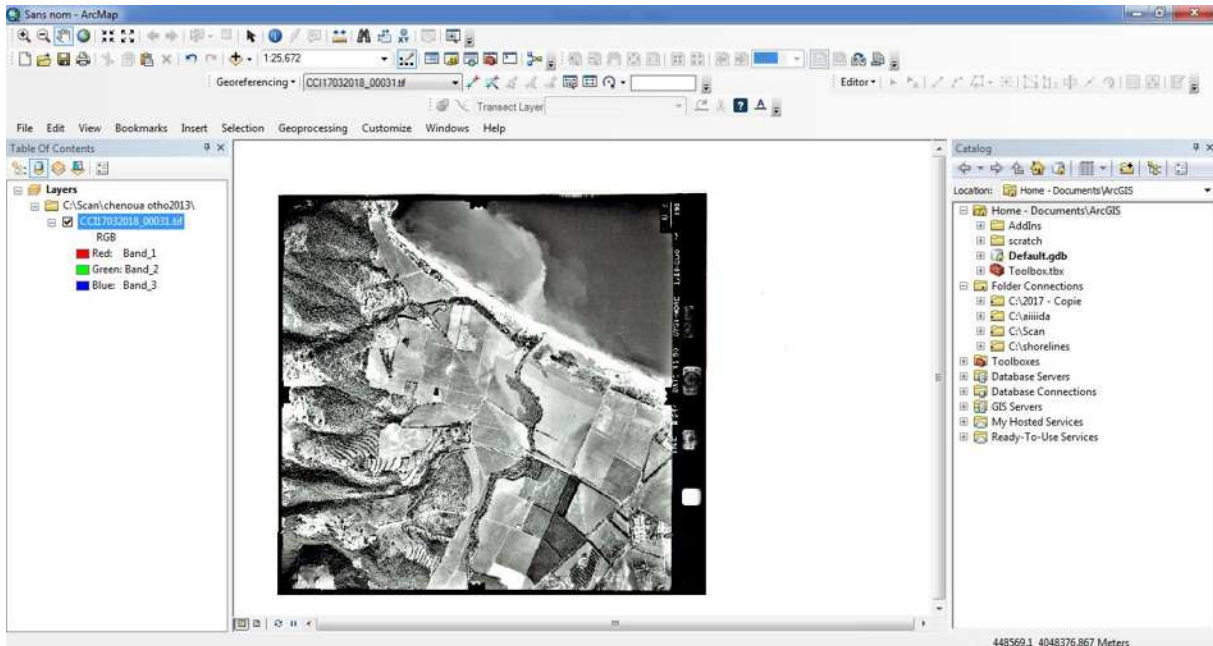


Figure 3 : Ouverture des images

4- Grée d'une base de données

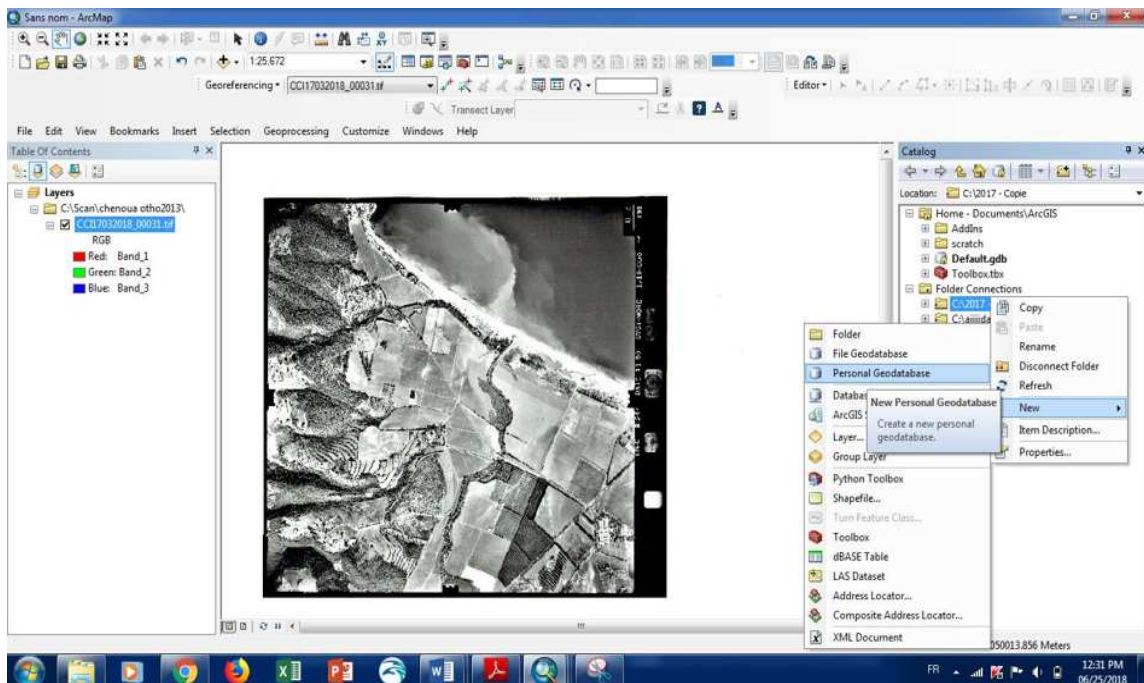


Figure 4 : création d'une base de données

5- Création des couches (pour chaque trait de côte on crée une couche)

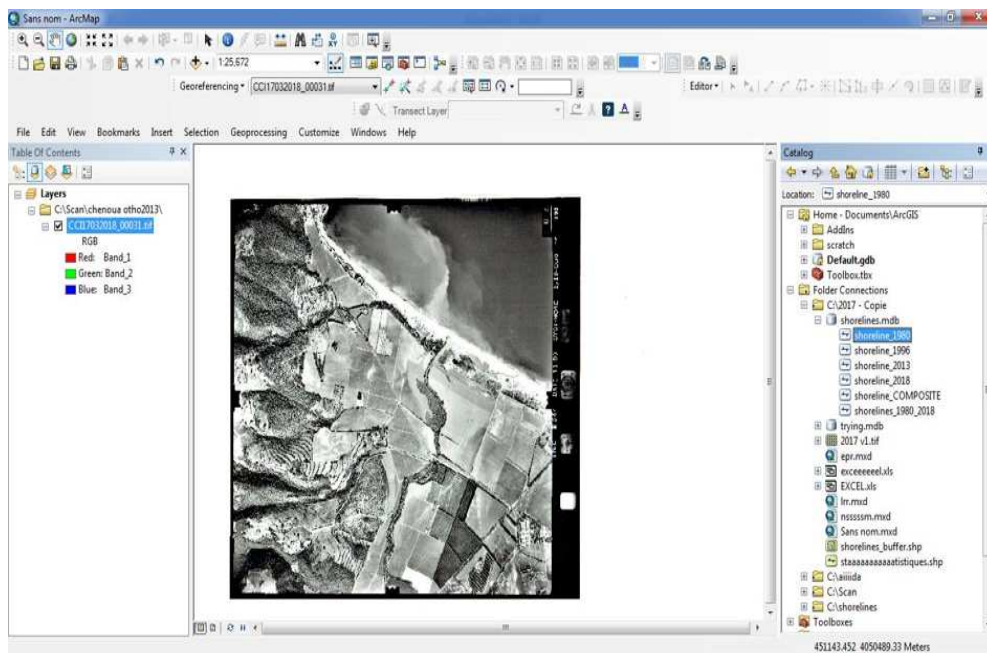


Figure 5 : Création des couches

6- Digitalisation des traits de côte de chaque image qui correspond à une date donnée :

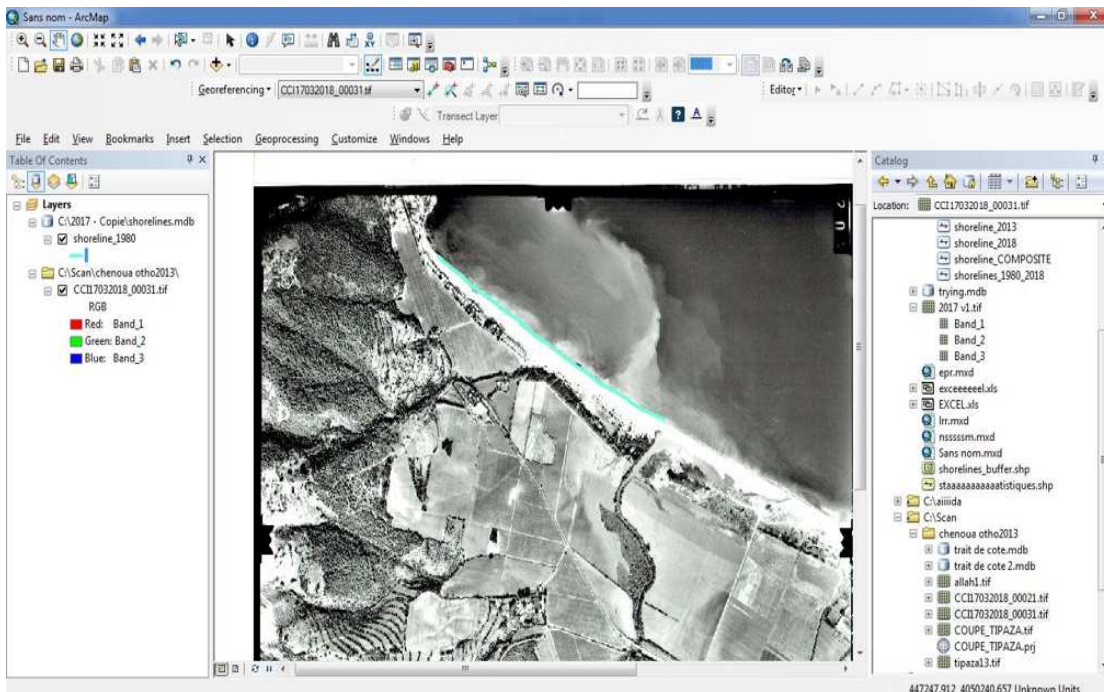


Figure 6 : La digitalisation des traits de côtes

7- La superposition des traits de côte des différentes années :

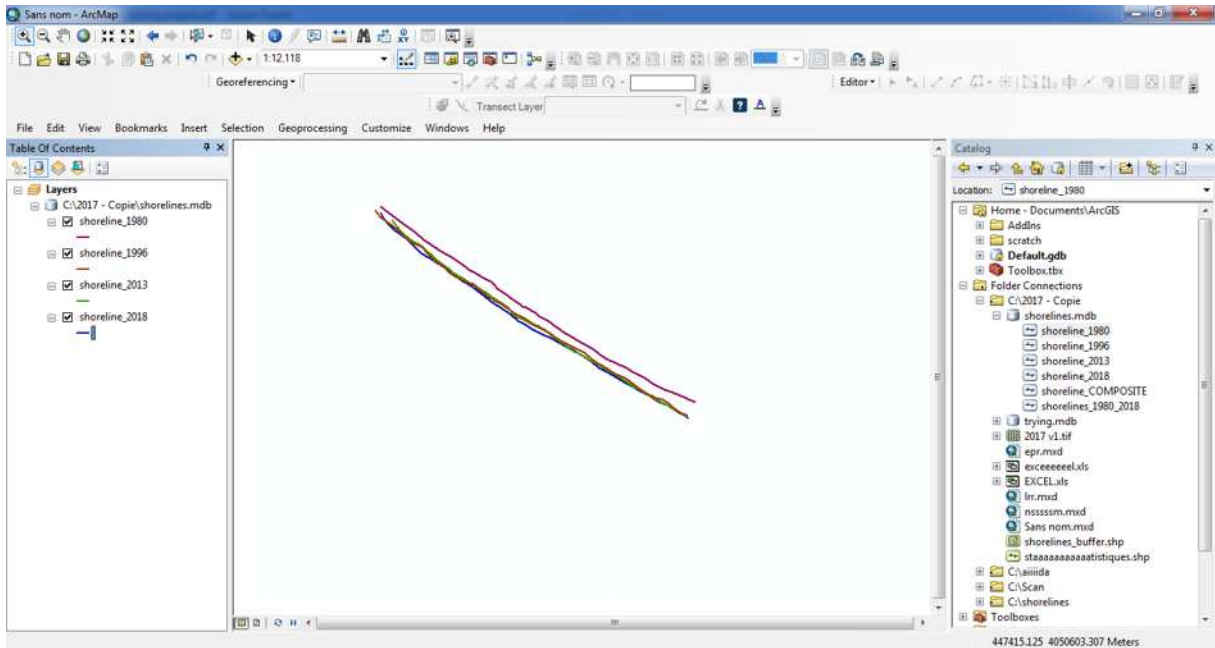


Figure 7 : Les différents traits de côte digitalisés

8- Création d'une zone tampon

Dans la barre d'ArcGis en cliquant sur la fonction « Géotraitement », le choix de « Zone tampon »

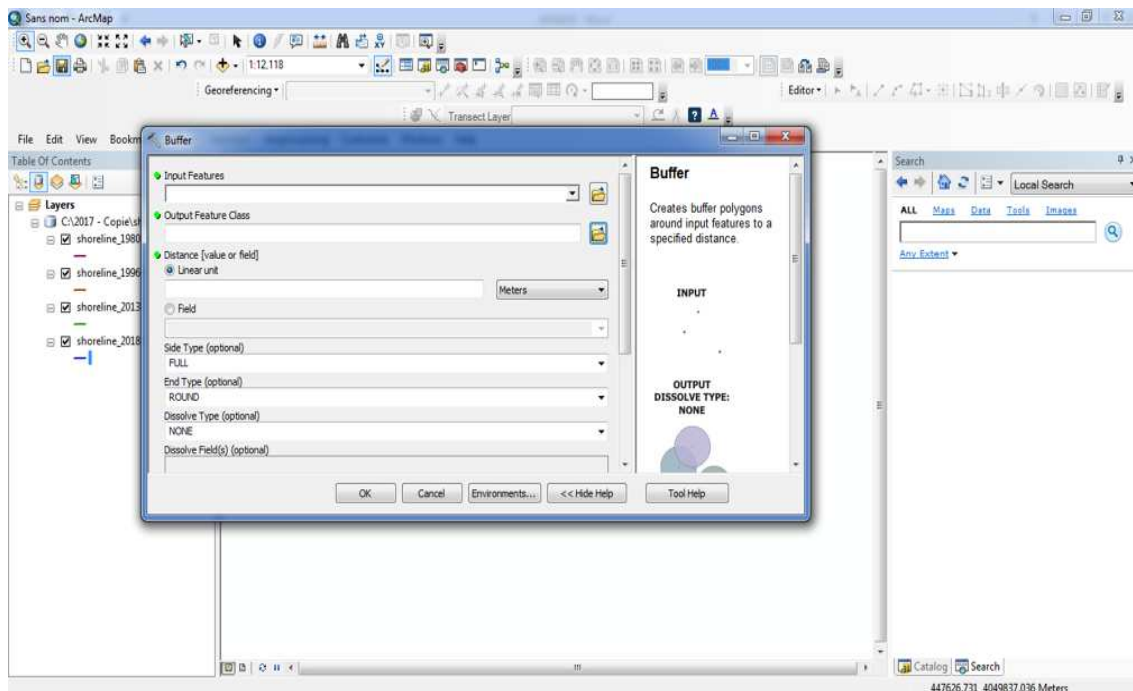


Figure 8 : création d'une zone tampon

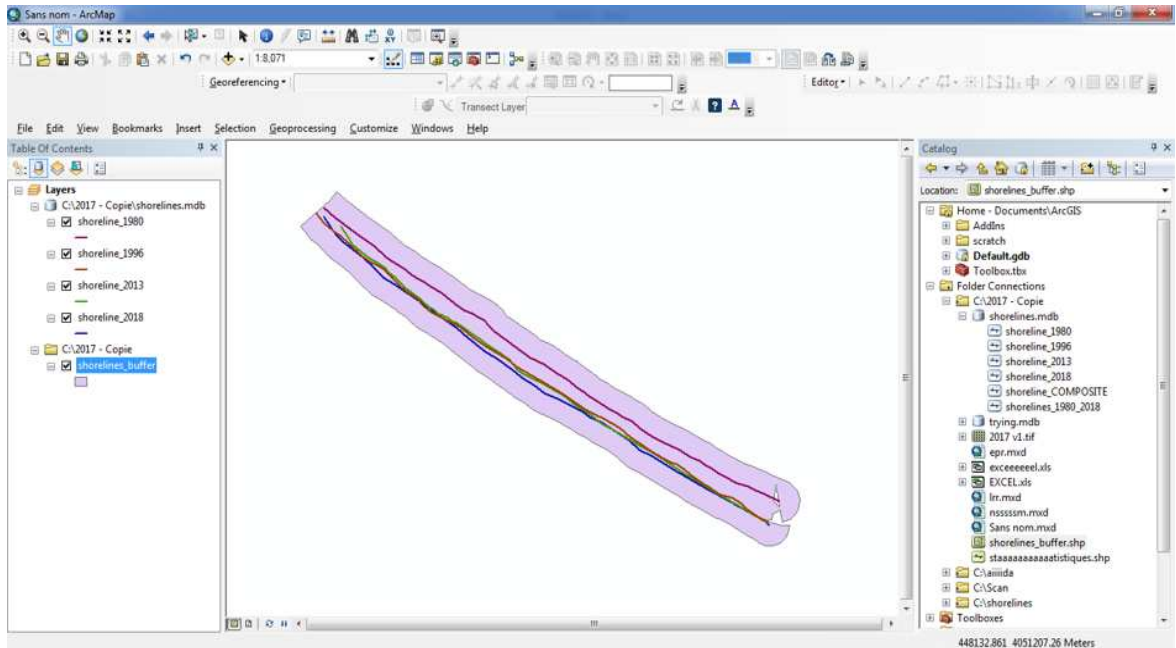


Figure 9 : Zone tampon

9- Création d'une ligne de base

1. La création d'une classe d'entité « Baseline » dans le personnel géodatabase qui contient les traits de côtes tracés.
2. La ligne de base se crée avec l'outil de traçage dans l'Editeur pour suivre l'allure des traits de côte à l'aide du périmètre de la zone tampon

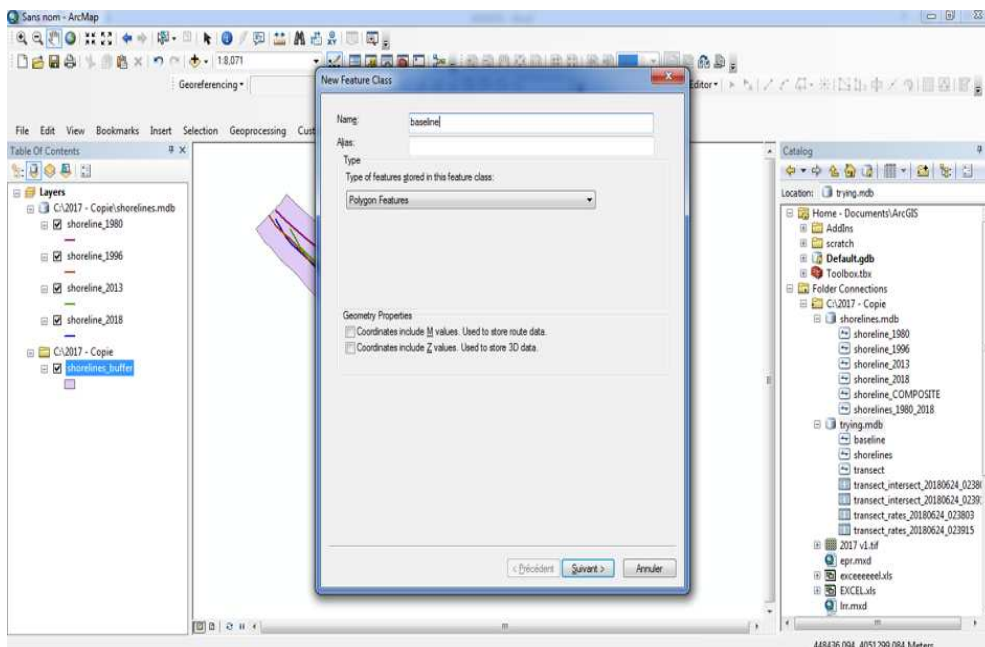


Figure 10 : Création d'une classe d'entité « Baseline » dans le personnel géodatabase

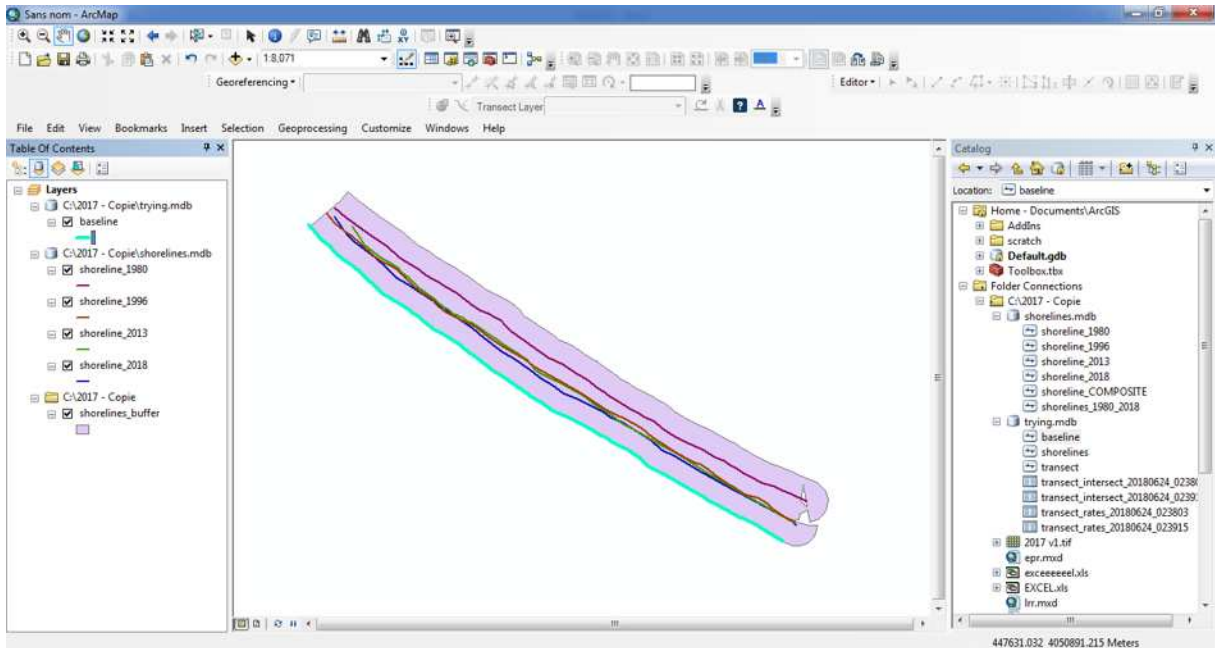


Figure 11 : Création de la ligne de base

Étape n°2 : Le calcul du taux de changement des différents traits de côte

Après la préparation des données d'entrée, l'application de DSAS peut être utilisée en passant par des étapes :

1. Définition des paramètres :
 - a. Sélectionner la ligne de base, ainsi sa position et définir les dimensions (la longueur de transects et l'espacement entre eux) ;
 - b. Sélectionner les traits de côte combinés et les champs sont pris en considération ;
 - c. Génération des transects.

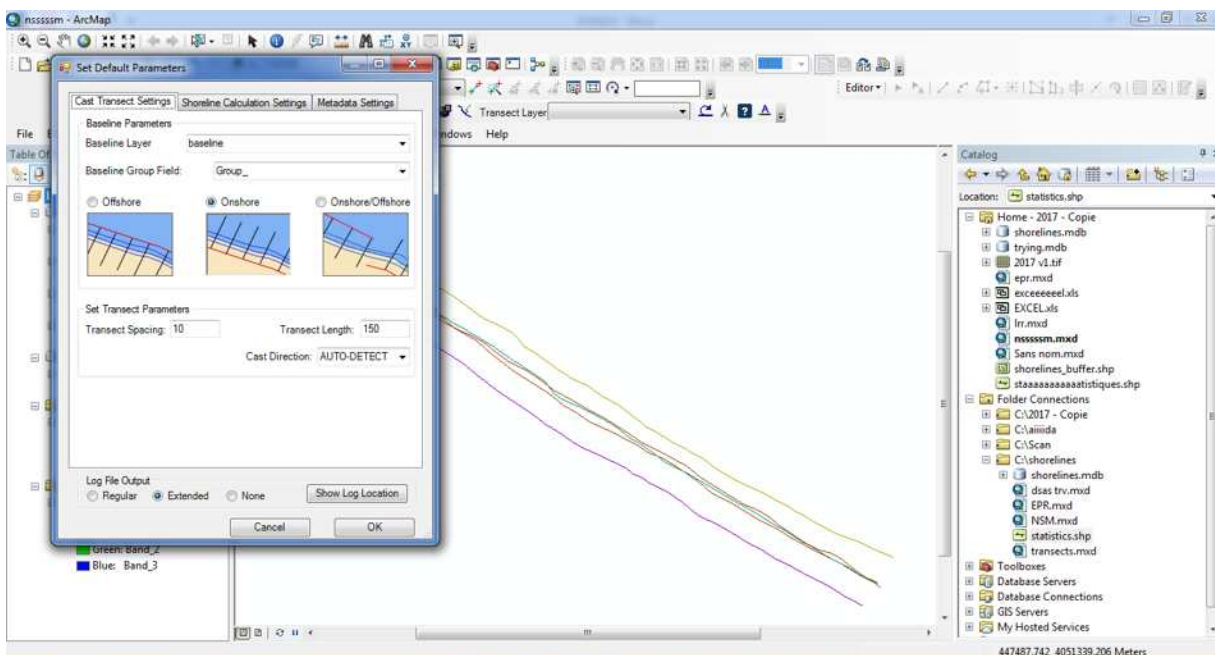


Figure 12 : La définition des paramètres

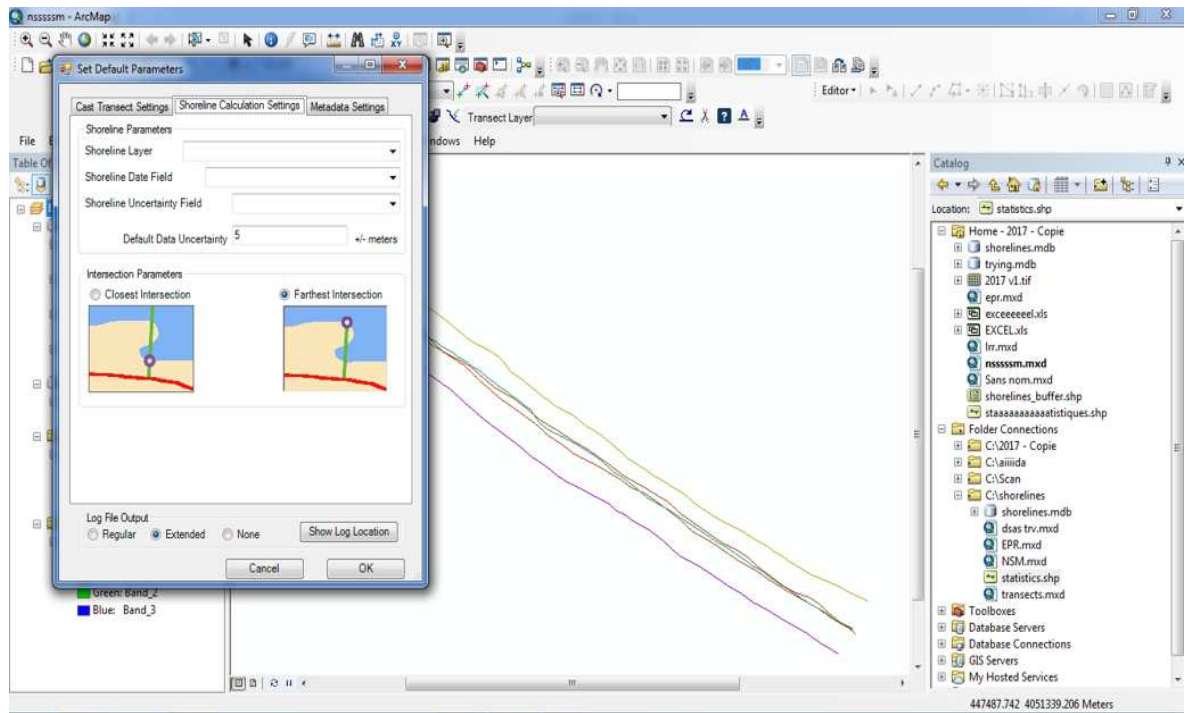


Figure 13 : Introduction des traits de côte et les champs nécessaires pour le calcul statistique

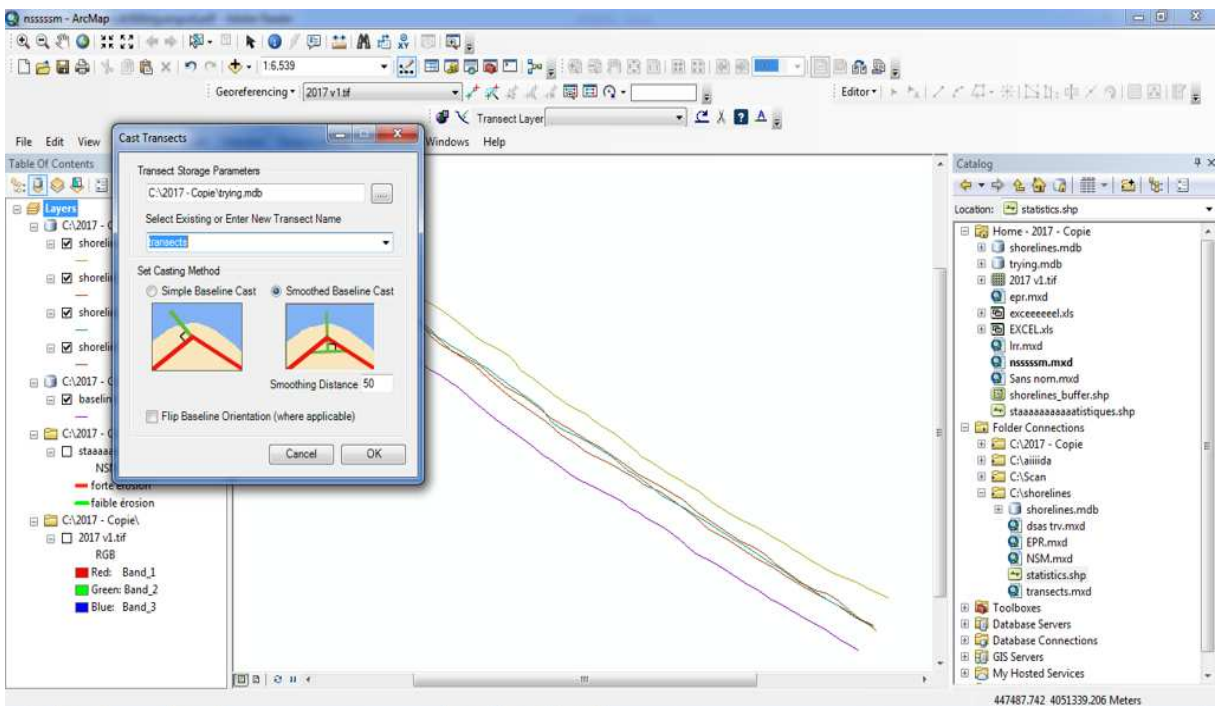


Figure 14 : Génération des transects

2. Le calcul statistique

Lancer le calcul statistique et choisir les paramètres à calculer

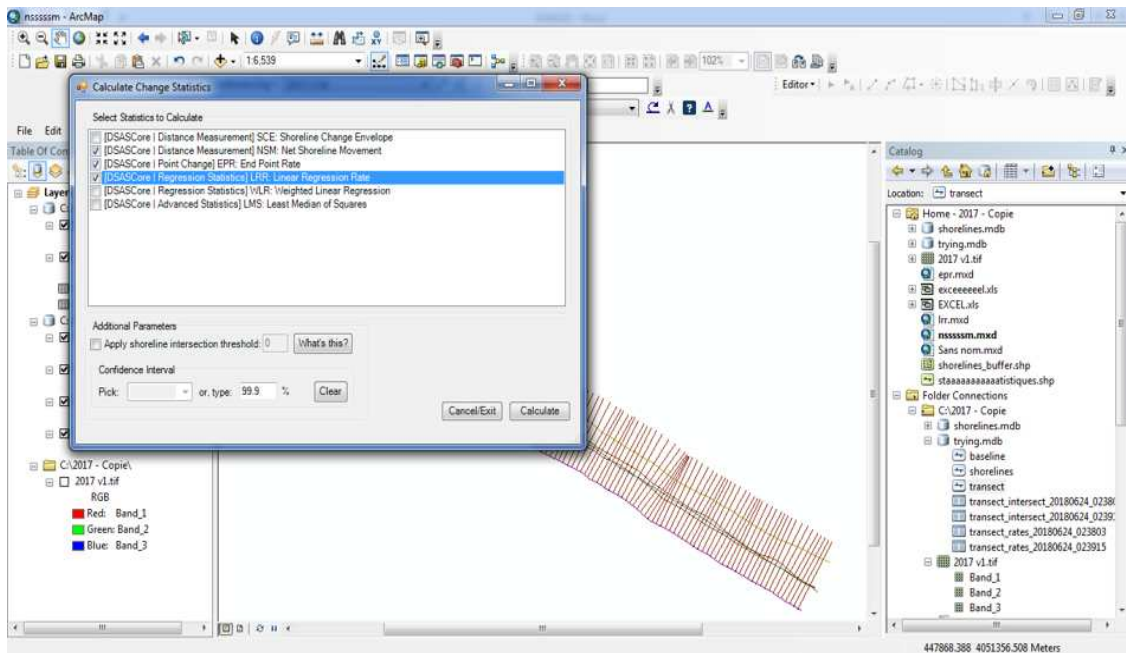


Figure 15 : Calcule statistique

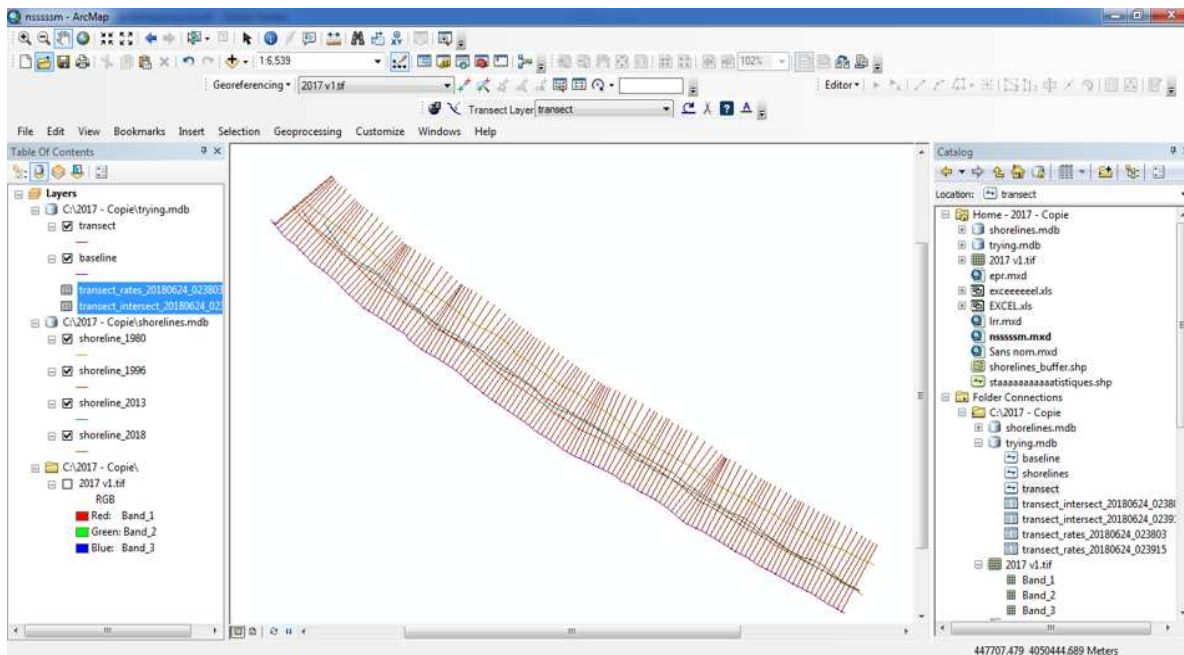


Figure 16 : Les résultats da calcule statistique (sous forme des tableaux)

Tableau : Les résultats de calculs statistiques

FID	OBJECT ID	Baseline ID	Group	TransOrder	ProcTime	Autogen	StartX	StartY	EndX	EndY
0	1	1	1	1	2018/06/24 02:33:41	1	447040.9	4051208.23	447157.78	4051302.24
1	2	1	1	2	2018/06/24 02:33:41	1	447042.47	4051206.31	447158.57	4051301.28
2	3	1	1	3	2018/06/24 02:33:41	1	447048.96	4051198.7	447161.55	4051297.81
3	4	1	1	4	2018/06/24 02:33:41	1	447055.45	4051191.09	447163.16	4051295.49
4	5	1	1	5	2018/06/24 02:33:41	1	447062.16	4051183.68	447165.36	4051292.53
5	6	1	1	6	2018/06/24 02:33:41	1	447069.92	4051177.39	447171.31	4051287.94
6	7	1	1	7	2018/06/24 02:33:41	1	447077.86	4051171.3	447178.28	4051282.74
7	8	1	1	8	2018/06/24 02:33:41	1	447085.77	4051165.19	447186.8	4051276.06
8	9	1	1	9	2018/06/24 02:33:41	1	447092.17	4051157.51	447196.05	4051265.72
9	10	1	1	10	2018/06/24 02:33:41	1	447099.23	4051150.43	447203.98	4051257.8
10	11	1	1	11	2018/06/24 02:33:41	1	447106.3	4051143.36	447208.14	4051253.49
11	12	1	1	12	2018/06/24 02:33:41	1	447113.56	4051136.49	447211.59	4051250.03
12	13	1	1	13	2018/06/24 02:33:41	1	447121.51	4051130.42	447216.47	4051246.53
13	14	1	1	14	2018/06/24 02:33:41	1	447129.48	4051124.38	447221.55	4051242.8
14	15	1	1	15	2018/06/24 02:33:41	1	447137.45	4051118.34	447228.74	4051237.36
15	16	1	1	16	2018/06/24 02:33:41	1	447145.36	4051112.22	447238.01	4051230.18
16	17	1	1	17	2018/06/24 02:33:41	1	447153.25	4051106.08	447248.73	4051221.77
17	18	1	1	18	2018/06/24 02:33:41	1	447161.14	4051099.94	447259.32	4051213.35
18	19	1	1	19	2018/06/24 02:33:41	1	447168.38	4051093.05	447268.96	4051204.34
19	20	1	1	20	2018/06/24 02:33:41	1	447175.57	4051086.09	447278.19	4051195.49
20	21	1	1	21	2018/06/24 02:33:41	1	447182.75	4051079.14	447286.41	4051187.55

21	22	1	1	22	2018/06/2 4 02:33:41	1	447190	4051072. 25	447293. 33	4051180. 98
22	23	1	1	23	2018/06/2 4 02:33:41	1	447197. 28	4051065. 4	447299. 66	4051175. 04
23	24	1	1	24	2018/06/2 4 02:33:41	1	447204. 57	4051058. 55	447302. 57	4051172. 12
24	25	1	1	25	2018/06/2 4 02:33:41	1	447211. 86	4051051. 71	447304. 44	4051169. 72
25	26	1	1	26	2018/06/2 4 02:33:41	1	447219. 82	4051045. 67	447306. 77	4051167. 9
26	27	1	1	27	2018/06/2 4 02:33:41	1	447228. 44	4051040. 61	447310. 17	4051166. 39
27	28	1	1	28	2018/06/2 4 02:33:41	1	447237. 11	4051035. 64	447315. 23	4051163. 69
28	29	1	1	29	2018/06/2 4 02:33:41	1	447245. 79	4051030. 66	447324. 21	4051158. 53
29	30	1	1	30	2018/06/2 4 02:33:41	1	447254. 18	4051025. 23	447334. 18	4051152. 11
30	31	1	1	31	2018/06/2 4 02:33:41	1	447262. 53	4051019. 72	447343. 93	4051145. 71
31	32	1	1	32	2018/06/2 4 02:33:41	1	447270. 88	4051014. 22	447352. 69	4051139. 94
32	33	1	1	33	2018/06/2 4 02:33:41	1	447279. 23	4051008. 72	447360. 47	4051134. 81
33	34	1	1	34	2018/06/2 4 02:33:41	1	447287. 67	4051003. 36	447374. 7	4051125. 53
34	35	1	1	35	2018/06/2 4 02:33:41	1	447296. 14	4050998. 05	447387. 27	4051117. 2
35	36	1	1	36	2018/06/2 4 02:33:41	1	447303. 91	4050991. 94	447396. 76	4051109. 74
36	37	1	1	37	2018/06/2 4 02:33:41	1	447310. 65	4050984. 57	447405. 58	4051100. 71
37	38	1	1	38	2018/06/2 4 02:33:41	1	447318. 44	4050978. 31	447415. 25	4051092. 89
38	39	1	1	39	2018/06/2 4 02:33:41	1	447326. 41	4050972. 27	447416. 31	4051092. 34
39	40	1	1	40	2018/06/2 4 02:33:41	1	447334. 38	4050966. 23	447417. 01	4051091. 42
40	41	1	1	41	2018/06/2 4 02:33:41	1	447342. 64	4050960. 62	447422. 32	4051087. 71
41	42	1	1	42	2018/06/2 4 02:33:41	1	447351. 55	4050956. 08	447428. 79	4051084. 66
42	43	1	1	43	2018/06/2 4 02:33:41	1	447360. 4	4050951. 45	447435. 38	4051081. 36
43	44	1	1	44	2018/06/2	1	447368.	4050946.	447444.	4051075.

					4 02:33:41		91	19	68	64
44	45	1	1	45	2018/06/2 4 02:33:41	1	447377. 41	4050940. 93	447455. 72	4051068. 87
45	46	1	1	46	2018/06/2 4 02:33:41	1	447385. 92	4050935. 67	447468. 25	4051061. 06
46	47	1	1	47	2018/06/2 4 02:33:42	1	447394. 42	4050930. 41	447480. 23	4051053. 45
47	48	1	1	48	2018/06/2 4 02:33:42	1	447402. 54	4050924. 61	447491. 76	4051045. 2
48	49	1	1	49	2018/06/2 4 02:33:42	1	447410. 23	4050918. 22	447502. 53	4051036. 46
49	50	1	1	50	2018/06/2 4 02:33:42	1	447417. 92	4050911. 83	447512. 49	4051028. 26
50	51	1	1	51	2018/06/2 4 02:33:42	1	447425. 61	4050905. 44	447519. 24	4051022. 62
51	52	1	1	52	2018/06/2 4 02:33:42	1	447433. 5	4050899. 3	447526. 13	4051017. 28
52	53	1	1	53	2018/06/2 4 02:33:42	1	447441. 46	4050893. 24	447533. 07	4051012. 02
53	54	1	1	54	2018/06/2 4 02:33:42	1	447449. 42	4050887. 18	447540. 26	4051006. 55
54	55	1	1	55	2018/06/2 4 02:33:42	1	447457. 37	4050881. 13	447547. 6	4051000. 96
55	56	1	1	56	2018/06/2 4 02:33:42	1	447465. 33	4050875. 07	447553. 45	4050996. 46
56	57	1	1	57	2018/06/2 4 02:33:42	1	447473. 29	4050869. 02	447559. 28	4050991. 93
57	58	1	1	58	2018/06/2 4 02:33:42	1	447481. 65	4050863. 53	447565. 82	4050987. 68
58	59	1	1	59	2018/06/2 4 02:33:42	1	447490. 1	4050858. 19	447572. 82	4050983. 32
59	60	1	1	60	2018/06/2 4 02:33:42	1	447498. 56	4050852. 85	447580. 47	4050978. 51
60	61	1	1	61	2018/06/2 4 02:33:42	1	447506. 86	4050847. 27	447589. 5	4050972. 45
61	62	1	1	62	2018/06/2 4 02:33:42	1	447515. 15	4050841. 69	447598. 52	4050966. 39
62	63	1	1	63	2018/06/2 4 02:33:42	1	447523. 45	4050836. 1	447607. 99	4050960. 01
63	64	1	1	64	2018/06/2 4 02:33:42	1	447531. 75	4050830. 52	447617. 67	4050953. 48
64	65	1	1	65	2018/06/2 4 02:33:42	1	447540. 02	4050824. 9	447627. 3	4050946. 89
65	66	1	1	66	2018/06/2 4 02:33:42	1	447547. 99	4050818. 87	447636. 39	4050940. 05

66	67	1	1	67	2018/06/2 4 02:33:42	1	447555. 96	4050812. 83	447643. 35	4050934. 75
67	68	1	1	68	2018/06/2 4 02:33:42	1	447563. 94	4050806. 79	447649. 14	4050930. 24
68	69	1	1	69	2018/06/2 4 02:33:42	1	447572. 2	4050801. 18	447654. 61	4050926. 51
69	70	1	1	70	2018/06/2 4 02:33:42	1	447580. 8	4050796. 07	447662. 22	4050922. 05
70	71	1	1	71	2018/06/2 4 02:33:42	1	447589. 4	4050790. 97	447670. 22	4050917. 33
71	72	1	1	72	2018/06/2 4 02:33:42	1	447597. 81	4050785. 58	447680. 26	4050910. 9
72	73	1	1	73	2018/06/2 4 02:33:42	1	447605. 98	4050779. 82	447688. 58	4050905. 03
73	74	1	1	74	2018/06/2 4 02:33:42	1	447614. 15	4050774. 05	447693. 97	4050901. 05
74	75	1	1	75	2018/06/2 4 02:33:42	1	447622. 41	4050768. 41	447697. 3	4050898. 39
75	76	1	1	76	2018/06/2 4 02:33:42	1	447631. 33	4050763. 92	447701. 01	4050896. 75
76	77	1	1	77	2018/06/2 4 02:33:42	1	447640. 47	4050759. 87	447705. 03	4050895. 27
77	78	1	1	78	2018/06/2 4 02:33:42	1	447649. 62	4050755. 82	447711. 18	4050892. 6
78	79	1	1	79	2018/06/2 4 02:33:42	1	447658. 76	4050751. 77	447720. 5	4050888. 47
79	80	1	1	80	2018/06/2 4 02:33:42	1	447667. 84	4050747. 59	447729. 98	4050884. 11
80	81	1	1	81	2018/06/2 4 02:33:42	1	447676. 93	4050743. 41	447740. 78	4050879. 14
81	82	1	1	82	2018/06/2 4 02:33:42	1	447686. 01	4050739. 22	447751. 81	4050874. 02
82	83	1	1	83	2018/06/2 4 02:33:42	1	447695. 02	4050734. 89	447762. 54	4050868. 84
83	84	1	1	84	2018/06/2 4 02:33:42	1	447703. 82	4050730. 14	447776. 75	4050861. 21
84	85	1	1	85	2018/06/2 4 02:33:42	1	447712. 61	4050725. 38	447790. 5	4050853. 58
85	86	1	1	86	2018/06/2 4 02:33:42	1	447721. 05	4050720. 06	447799. 09	4050848. 17
86	87	1	1	87	2018/06/2 4 02:33:42	1	447729. 05	4050714. 06	447804. 51	4050843. 7
87	88	1	1	88	2018/06/2 4 02:33:42	1	447737. 49	4050708. 73	447814. 6	4050837. 38
88	89	1	1	89	2018/06/2	1	447746.	4050704.	447822.	4050833.

					4 02:33:42		61	65	96	76
89	90	1	1	90	2018/06/2 4 02:33:42	1	447755. 7	4050700. 55	447828. 47	4050831. 71
90	91	1	1	91	2018/06/2 4 02:33:42	1	447763. 63	4050694. 47	447836. 16	4050825. 76
91	92	1	1	92	2018/06/2 4 02:33:42	1	447772. 23	4050689. 39	447846. 89	4050819. 49
92	93	1	1	93	2018/06/2 4 02:33:42	1	447781. 11	4050684. 8	447854. 36	4050815. 7
93	94	1	1	94	2018/06/2 4 02:33:42	1	447790	4050680. 22	447862. 55	4050811. 51
94	95	1	1	95	2018/06/2 4 02:33:42	1	447798. 88	4050675. 61	447873. 88	4050805. 52
95	96	1	1	96	2018/06/2 4 02:33:42	1	447807. 37	4050670. 35	447885. 04	4050798. 67
96	97	1	1	97	2018/06/2 4 02:33:42	1	447815. 73	4050664. 87	447899. 19	4050789. 51
97	98	1	1	98	2018/06/2 4 02:33:42	1	447824. 1	4050659. 39	447912. 84	4050780. 33
98	99	1	1	99	2018/06/2 4 02:33:42	1	447832. 13	4050653. 46	447924. 22	4050771. 86
99	100	1	1	100	2018/06/2 4 02:33:42	1	447839. 64	4050646. 87	447933. 35	4050764
100	101	1	1	101	2018/06/2 4 02:33:42	1	447847. 16	4050640. 28	447938. 45	4050759. 3
101	102	1	1	102	2018/06/2 4 02:33:42	1	447854. 78	4050633. 8	447939. 57	4050757. 54
102	103	1	1	103	2018/06/2 4 02:33:42	1	447863. 25	4050628. 53	447940. 94	4050756. 85
103	104	1	1	104	2018/06/2 4 02:33:42	1	447872. 29	4050624. 25	447942. 76	4050756. 66
104	105	1	1	105	2018/06/2 4 02:33:42	1	447881. 34	4050619. 99	447948. 97	4050753. 88
105	106	1	1	106	2018/06/2 4 02:33:42	1	447890. 39	4050615. 74	447959. 73	4050748. 75
106	107	1	1	107	2018/06/2 4 02:33:42	1	447899. 18	4050611. 01	447971. 2	4050742. 59
107	108	1	1	108	2018/06/2 4 02:33:42	1	447907. 76	4050605. 86	447982. 51	4050735. 91
108	109	1	1	109	2018/06/2 4 02:33:42	1	447916. 33	4050600. 72	447993. 74	4050729. 2
109	110	1	1	110	2018/06/2 4 02:33:42	1	447924. 9	4050595. 57	448002. 45	4050723. 97
110	111	1	1	111	2018/06/2 4 02:33:42	1	447933. 45	4050590. 37	448011. 14	4050718. 69

111	112	1	1	112	2018/06/2 4 02:33:42	1	447942	4050585. 18	448018. 09	4050714. 45
112	113	1	1	113	2018/06/2 4 02:33:42	1	447950. 54	4050579. 99	448024. 26	4050710. 63
113	114	1	1	114	2018/06/2 4 02:33:42	1	447959. 2	4050574. 98	448030. 45	4050706. 97
114	115	1	1	115	2018/06/2 4 02:33:42	1	447968. 19	4050570. 61	448039. 73	4050702. 44
115	116	1	1	116	2018/06/2 4 02:33:42	1	447977. 18	4050566. 23	448050. 22	4050697. 25
116	117	1	1	117	2018/06/2 4 02:33:42	1	447986. 03	4050561. 61	448062. 26	4050690. 8
117	118	1	1	118	2018/06/2 4 02:33:42	1	447994. 26	4050555. 94	448071. 56	4050684. 49
118	119	1	1	119	2018/06/2 4 02:33:42	1	448002. 5	4050550. 27	448079. 95	4050678. 72
119	120	1	1	120	2018/06/2 4 02:33:42	1	448010. 97	4050544. 97	448085. 88	4050674. 93
120	121	1	1	121	2018/06/2 4 02:33:42	1	448019. 92	4050540. 5	448091. 04	4050672. 57
121	122	1	1	122	2018/06/2 4 02:33:42	1	448028. 88	4050536. 07	448097. 45	4050669. 49
122	123	1	1	123	2018/06/2 4 02:33:42	1	448037. 85	4050531. 65	448106. 75	4050664. 89
123	124	1	1	124	2018/06/2 4 02:33:42	1	448046. 72	4050527. 03	448116. 88	4050659. 61
124	125	1	1	125	2018/06/2 4 02:33:42	1	448055. 46	4050522. 18	448126. 88	4050654. 09
125	126	1	1	126	2018/06/2 4 02:33:42	1	448064. 21	4050517. 33	448135. 76	4050649. 17
126	127	1	1	127	2018/06/2 4 02:33:42	1	448072. 95	4050512. 48	448143. 1	4050645. 07
127	128	1	1	128	2018/06/2 4 02:33:42	1	448081. 77	4050507. 76	448150. 44	4050641. 12
128	129	1	1	129	2018/06/2 4 02:33:42	1	448090. 77	4050503. 41	448157. 95	4050637. 52
129	130	1	1	130	2018/06/2 4 02:33:42	1	448099. 77	4050499. 05	448167. 89	4050632. 69
130	131	1	1	131	2018/06/2 4 02:33:42	1	448108. 77	4050494. 7	448179. 53	4050626. 96
131	132	1	1	132	2018/06/2 4 02:33:42	1	448117. 61	4050490. 04	448191. 32	4050620. 68
132	133	1	1	133	2018/06/2 4 02:33:42	1	448126. 06	4050484. 7	448202. 52	4050613. 76
133	134	1	1	134	2018/06/2	1	448134.	4050479.	448212.	4050607.

					4 02:33:42		52	37	6	45
134	135	1	1	135	2018/06/2 4 02:33:42	1	448142. 98	4050474. 03	448220. 29	4050602. 57
135	136	1	1	136	2018/06/2 4 02:33:42	1	448151. 59	4050468. 95	448227. 59	4050598. 28
136	137	1	1	137	2018/06/2 4 02:33:42	1	448160. 31	4050464. 06	448235. 12	4050594. 07
137	138	1	1	138	2018/06/2 4 02:33:42	1	448169. 03	4050459. 16	448242. 56	4050589. 9

Azimuth	SHAPE_Len g	OBJECTID _1	TransectI d	TCD	E PR	EC I	NS M	LRR	LR 2	LSE	LCI99 _9
51.19	150.0000008	1	1	10	- 1.63	0.4 66	- 24.75	-1	-1	-1	-1
50.72	149.9999998	2	2	20	- 1.65	0.4 66	- 25.08	-1	-1	-1	-1
48.64	149.9999981	3	3	30	- 1.74	0.4 66	- 26.36	-1	-1	-1	-1
45.89	149.9999999	4	4	40	- 0.47	0.1 88	- 17.74	-0.4	0.3	16.53	393.51
43.47	150.0000009	5	5	50	- 0.53	0.1 88	- 19.86	-0.46	0.3 5	16.86	401.32
42.52	149.9999991	6	6	60	- 0.6	0.1 88	- 22.49	-0.53	0.4 5	15.71	373.88
42.02	150.0000007	7	7	70	- 0.68	0.1 88	- 25.41	-0.61	0.5 5	14.76	351.32
42.34	150.0000013	8	8	80	- 0.75	0.1 88	- 28.2	-0.69	0.6 4	14.02	333.64
43.83	149.9999981	9	9	90	- 0.83	0.1 88	- 31.33	-0.52	0.3 6	14.57	15.571
44.29	150.0000036	10	10	100	- 0.88	0.1 88	- 33.15	-0.6	0.4 9	13.01	13.902
42.76	150.0000011	11	11	110	- 0.91	0.1 88	- 34.34	-0.66	0.5 6	12.19	13.027
40.81	149.9999997	12	12	120	- 0.94	0.1 88	- 35.27	-0.7	0.6 1	11.65	12.446
39.28	150.0000013	13	13	130	- 0.94	0.1 88	- 35.34	-0.73	0.6 6	11.08	11.841
37.86	149.9999991	14	14	140	- 0.95	0.1 88	- 35.6	-0.77	0.6 9	10.77	11.507
37.49	149.9999987	15	15	150	- 0.96	0.1 88	- 36.03	-0.79	0.6 9	11.05	11.802
38.15	150.0000023	16	16	160	- 0.97	0.1 88	- 36.64	-0.81	0.6 7	11.81	12.615

39.53	150.0000007	17	17	170	-0.99	0.188	-37.35	-0.82	0.65	12.63	13.496
40.88	149.9999999	18	18	180	-1.01	0.188	-38.09	-0.84	0.64	13.23	14.129
42.1	150.0000001	19	19	190	-1.04	0.188	-39.08	-0.85	0.66	12.93	13.816
43.17	150.0000001	20	20	200	-1.06	0.188	-39.74	-0.85	0.66	12.67	13.532
43.72	149.9999982	21	21	210	-1.07	0.188	-40.38	-0.85	0.7	11.7	12.503
43.54	149.9999993	22	22	220	-1.09	0.188	-41.02	-0.86	0.72	11.14	11.899
43.04	149.9999992	23	23	230	-1.12	0.188	-42.07	-0.88	0.74	10.91	11.659
40.79	150.0000018	24	24	240	-1.14	0.188	-42.84	-0.9	0.75	10.76	11.493
38.11	149.9999976	25	25	250	-1.16	0.188	-43.61	-0.92	0.76	10.92	11.671
35.43	149.9999995	26	26	260	-1.18	0.188	-44.28	-0.94	0.76	10.95	11.697
33.02	149.9999988	27	27	270	-1.17	0.188	-44	-0.94	0.75	11.37	12.149
31.39	150.0000005	28	28	280	-1.16	0.188	-43.77	-0.94	0.73	11.93	12.744
31.52	149.9999995	29	29	290	-1.16	0.188	-43.54	-0.94	0.71	12.61	13.471
32.23	149.9999997	30	30	300	-1.16	0.188	-43.62	-0.95	0.69	13.42	14.335
32.87	150.0000005	31	31	310	-1.15	0.188	-43.32	-0.95	0.67	13.94	14.892
33.05	150.0000016	32	32	320	-1.15	0.188	-43.27	-0.96	0.68	13.95	14.909
32.79	149.9999983	33	33	330	-1.16	0.188	-43.52	-0.98	0.68	14.17	15.134
35.47	149.9999982	34	34	340	-1.17	0.188	-44.09	-1.01	0.69	14.09	15.058
37.41	150.0000011	35	35	350	-1.19	0.188	-44.78	-1.03	0.7	14.11	15.071
38.25	149.9999996	36	36	360	-1.2	0.188	-45.07	-1.03	0.65	15.89	16.977
39.26	150.0000009	37	37	370	-1.2	0.188	-45.17	-1.03	0.59	17.86	19.08
40.19	150.0000008	38	38	380	-1.2	0.188	-45.26	-1.04	0.57	18.75	20.031
36.82	149.9999991	39	39	390	-	0.1	-	-1.05	0.5	18.78	20.069

					1.22	88	45.8		8		
33.43	150.0000014	40	40	400	- 1.24	0.1 88	- 46.59	-1.06	0.5 8	18.92	20.215
32.08	150.0000019	41	41	410	- 1.25	0.1 88	- 47.15	-1.07	0.5 9	18.69	19.969
31	149.9999992	42	42	420	- 1.27	0.1 88	- 47.64	-1.09	0.6 3	17.6	18.799
29.99	149.9999988	43	43	430	- 1.28	0.1 88	- 47.99	-1.09	0.6 5	16.7	17.846
30.34	150.0000023	44	44	440	- 1.26	0.1 88	- 47.34	-1.07	0.6 6	16.08	17.175
31.47	150.0000009	45	45	450	- 1.23	0.1 88	- 46.39	-1.05	0.6 8	15.15	16.183
33.29	149.9999987	46	46	460	- 1.22	0.1 88	- 45.93	-1.05	0.7	14.22	15.196
34.89	150.0000009	47	47	470	- 1.24	0.1 88	- 46.54	-1.05	0.7 1	13.93	14.88
36.5	149.9999987	48	48	480	- 1.29	0.1 88	- 48.49	-1.1	0.7 4	13.65	14.586
37.98	150.0000001	49	49	490	- 1.37	0.1 88	- 51.53	-1.16	0.7 3	14.87	15.888
39.08	150.0000005	50	50	500	- 1.45	0.1 88	- 54.65	-1.22	0.7 2	15.9	16.99
38.62	150.0000001	51	51	510	- 1.5	0.1 88	- 56.23	-1.26	0.7 2	16.26	17.372
38.13	150.0000013	52	52	520	- 1.51	0.1 88	- 56.84	-1.27	0.7 2	16.39	17.509
37.64	149.9999988	53	53	530	- 1.48	0.1 88	- 55.68	-1.23	0.7 2	16.12	17.224
37.27	150.0000015	54	54	540	- 1.43	0.1 88	- 53.9	-1.18	0.7 1	15.68	16.751
36.98	149.9999992	55	55	550	- 1.38	0.1 88	- 51.83	-1.13	0.7 1	14.93	15.948
35.98	150.0000001	56	56	560	- 1.36	0.1 88	- 51.19	-1.11	0.7 3	14.18	15.155
34.98	150.0000011	57	57	570	- 1.37	0.1 88	- 51.59	-1.12	0.7 4	13.79	14.735
34.14	150.0000008	58	58	580	- 1.37	0.1 88	- 51.36	-1.13	0.7 6	13.24	14.143
33.47	150.0000007	59	59	590	- 1.36	0.1 88	- 51.03	-1.12	0.7 7	12.74	13.616
33.1	150	60	60	600	- 1.35	0.1 88	- 50.67	-1.11	0.7 7	12.7	13.569
33.43	149.9999984	61	61	610	- 1.34	0.1 88	- 50.51	-1.11	0.7 8	12.43	13.281

33.76	149.9999995	62	62	620	- 1.34	0.1 88	- 50.26	-1.12	0.7 9	12	12.817
34.31	149.9999981	63	63	630	- 1.33	0.1 88	- 49.92	-1.1	0.7 8	12.18	13.009
34.95	149.9999998	64	64	640	- 1.33	0.1 88	- 49.94	-1.14	0.8 1	11.58	12.369
35.58	150.0000012	65	65	650	- 1.33	0.1 88	- 50.1	-1.18	0.8 3	11.24	12.006
36.11	150.0000006	66	66	660	- 1.33	0.1 88	- 50.16	-1.21	0.8 6	10.25	10.947
35.63	149.9999972	67	67	670	- 1.35	0.1 88	- 50.72	-1.24	0.8 8	9.61	10.263
34.61	149.9999974	68	68	680	- 1.39	0.1 88	- 52.31	-1.27	0.8 8	9.6	10.257
33.33	150.0000019	69	69	690	- 1.43	0.1 88	- 53.92	-1.3	0.8 8	9.92	10.594
32.87	150.0000016	70	70	700	- 1.47	0.1 88	- 55.27	-1.32	0.8 7	10.43	11.142
32.6	150.0000023	71	71	710	- 1.5	0.1 88	- 56.38	-1.33	0.8 7	10.89	11.636
33.34	150.0000027	72	72	720	- 1.47	0.1 88	- 55.22	-1.29	0.8 7	10.63	11.358
33.41	149.9999986	73	73	730	- 1.46	0.1 88	- 54.99	-1.27	0.8 6	10.57	11.29
32.15	150.0000003	74	74	740	- 1.46	0.1 88	- 54.96	-1.26	0.8 7	10.42	11.128
29.95	150.0000006	75	75	750	- 1.47	0.1 88	- 55.33	-1.27	0.8 7	10.31	11.017
27.68	149.9999994	76	76	760	- 1.46	0.1 88	- 54.87	-1.26	0.8 7	10.12	10.809
25.49	149.9999989	77	77	770	- 1.44	0.1 88	- 54.22	-1.25	0.8 7	9.92	10.595
24.23	150.0000012	78	78	780	- 1.42	0.1 88	- 53.48	-1.23	0.8 7	9.92	10.602
24.31	149.9999976	79	79	790	- 1.4	0.1 88	- 52.54	-1.21	0.8 7	9.96	10.642
24.47	150.0000017	80	80	800	- 1.35	0.1 88	- 50.71	-1.17	0.8 6	9.79	10.456
25.19	150.0000018	81	81	810	- 1.28	0.1 88	- 48.29	-1.12	0.8 6	9.58	10.235
26.02	150.0000012	82	82	820	- 1.22	0.1 88	- 45.85	-1.08	0.8 6	9.17	9.793
26.75	150.0000002	83	83	830	- 1.17	0.1 88	- 43.97	-1.06	0.8 6	8.9	9.514
29.09	150.0000019	84	84	840	-	0.1	-	-1.04	0.8	8.76	9.364

					1.13	88	42.5		6			
31.28	149.9999994	85	85	850	- 1.06	0.1 88	- 40.03	-0.98	0.8 5	8.52	9.099	
31.35	149.999999	86	86	860	- 1.07	0.1 88	- 40.35	-0.98	0.8 4	8.81	9.41	
30.21	149.9999997	87	87	870	- 1.1	0.1 88	- 41.48	-1.01	0.8 7	8.34	8.906	
30.94	150.0000025	88	88	880	- 1.11	0.1 88	- 41.58	-1.03	0.8 9	7.63	8.156	
30.6	149.9999988	89	89	890	- 1.06	0.1 88	- 39.97	-1.02	0.8 9	7.32	7.821	
29.02	149.9999974	90	90	900	- 1.03	0.1 88	- 38.69	-1.01	0.8 9	7.29	7.793	
28.92	150.0000011	91	91	910	- 0.99	0.1 88	- 37.21	-1	0.8 9	7.5	8.009	
29.85	150.0000028	92	92	920	- 1.01	0.1 88	- 38.02	-1.03	0.8 9	7.6	8.117	
29.23	149.9999976	93	93	930	- 1.04	0.1 88	- 39.28	-1.06	0.9	7.46	7.975	
28.92	149.9999979	94	94	940	- 1.07	0.1 88	- 40.11	-1.07	0.9 1	7.19	7.678	
30	149.9999996	95	95	950	- 1.05	0.1 88	- 39.55	-1.05	0.9 2	6.41	6.847	
31.19	149.9999996	96	96	960	- 1.09	0.1 88	- 40.81	-1.07	0.9 1	6.86	7.327	
33.81	150.0000003	97	97	970	- 1.13	0.1 88	- 42.41	-1.09	0.8 8	8.36	8.932	
36.27	150.0000002	98	98	980	- 1.09	0.1 88	- 41.05	-1.03	0.8 6	8.87	9.477	
37.88	150.0000026	99	99	990	- 1.08	0.1 88	- 40.56	-1	0.8 6	8.62	9.214	
38.66	149.9999976	100	100	1000	- 1.11	0.1 88	- 41.71	-1.02	0.8 7	8.06	8.614	
37.49	150.0000039	101	101	1010	- 1.14	0.1 88	- 42.99	-1.03	0.8 8	7.85	8.39	
34.42	149.9999995	102	102	1020	- 1.18	0.1 88	- 44.26	-1.06	0.8 9	7.84	8.376	
31.19	150.0000024	103	103	1030	- 1.18	0.1 88	- 44.35	-1.05	0.8 8	8.06	8.606	
28.02	149.9999958	104	104	1040	- 1.17	0.1 88	- 43.83	-1.04	0.8 7	8.33	8.895	
26.8	150.0000027	105	105	1050	- 1.15	0.1 88	- 43.25	-1.03	0.8 6	8.72	9.32	
27.53	150.0000018	106	106	1060	- 1.13	0.1 88	- 42.59	-1.02	0.8 4	9.21	9.837	

28.69	150.0000021	107	107	1070	- 1.13	0.1 88	- 42.51	-1.02	0.8 4	9.42	10.067
29.89	150.0000007	108	108	1080	- 1.17	0.1 88	- 43.96	-1.05	0.8 3	9.96	10.645
31.07	149.9999995	109	109	1090	- 1.21	0.1 88	- 45.43	-1.08	0.8 2	10.47	11.184
31.13	150.0000019	110	110	1100	- 1.24	0.1 88	- 46.68	-1.12	0.8 4	10.12	10.81
31.19	150.0000005	111	111	1110	- 1.28	0.1 88	- 47.99	-1.16	0.8 6	9.67	10.332
30.48	150.0000001	112	112	1120	- 1.28	0.1 88	- 48.07	-1.17	0.8 9	8.74	9.342
29.44	149.9999977	113	113	1130	- 1.28	0.1 88	- 48.07	-1.18	0.9	8.15	8.709
28.36	149.9999964	114	114	1140	- 1.27	0.1 88	- 47.91	-1.18	0.9	8.06	8.614
28.49	149.9999981	115	115	1150	- 1.25	0.1 88	- 47.17	-1.17	0.9	8.16	8.713
29.14	149.9999994	116	116	1160	- 1.26	0.1 88	- 47.45	-1.17	0.8 6	10.08	10.769
30.54	149.9999998	117	117	1170	- 1.28	0.1 88	- 48.15	-1.18	0.8 1	11.9	12.712
31.02	150.0000008	118	118	1180	- 1.29	0.1 88	- 48.39	-1.17	0.8 1	12	12.821
31.09	149.9999993	119	119	1190	- 1.3	0.1 88	- 48.78	-1.17	0.8	12.13	12.96
29.96	150.0000001	120	120	1200	- 1.31	0.1 88	- 49.36	-1.19	0.8	12.48	13.328
28.31	150.0000019	121	121	1210	- 1.3	0.1 88	- 49.02	-1.18	0.7 9	12.87	13.747
27.2	150.0000004	122	122	1220	- 1.27	0.1 88	- 47.83	-1.16	0.7 8	13.01	13.903
27.34	149.9999983	123	123	1230	- 1.23	0.1 88	- 46.34	-1.12	0.7 6	13.15	14.047
27.89	149.9999997	124	124	1240	- 1.24	0.1 88	- 46.52	-1.13	0.7 5	13.64	14.568
28.43	150.0000017	125	125	1250	- 1.25	0.1 88	- 46.98	-1.14	0.7 5	13.95	14.907
28.49	149.9999981	126	126	1260	- 1.26	0.1 88	- 47.41	-1.16	0.7 7	13.33	14.238
27.88	150.0000004	127	127	1270	- 1.27	0.1 88	- 47.8	-1.19	0.8	12.45	13.298
27.24	150.0000016	128	128	1280	- 1.28	0.1 88	- 48.05	-1.21	0.8 3	11.49	12.271
26.61	150.0000031	129	129	1290	-	0.1	-	-1.25	0.8	11.06	11.818

					1.31	88	49.1		5		
27.01	150.0000011	130	130	1300	- 1.34	0.1 88	- 50.42	-1.28	0.8 4	11.85	12.663
28.14	150.0000002	131	131	1310	- 1.38	0.1 88	- 51.89	-1.31	0.8 2	12.71	13.578
29.43	149.9999973	132	132	1320	- 1.41	0.1 88	- 53.06	-1.32	0.7 8	14.76	15.764
30.64	150.0000007	133	133	1330	- 1.46	0.1 88	- 55.04	-1.35	0.7 4	16.7	17.845
31.37	150.0000028	134	134	1340	- 1.5	0.1 88	- 56.52	-1.39	0.7 3	17.52	18.714
31.03	149.9999997	135	135	1350	- 1.54	0.1 88	- 57.88	-1.42	0.7 2	18.26	19.509
30.44	149.9999985	136	136	1360	- 1.57	0.1 88	- 58.85	-1.43	0.7 1	19.13	20.435
29.91	149.9999998	137	137	1370	- 1.58	0.1 88	- 59.44	-1.45	0.7 1	19.23	20.549
29.35	149.9999997	138	138	1380	- 1.6	0.1 88	- 60.01	-1.47	0.7 2	19.11	20.414

Annexe N°02

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.

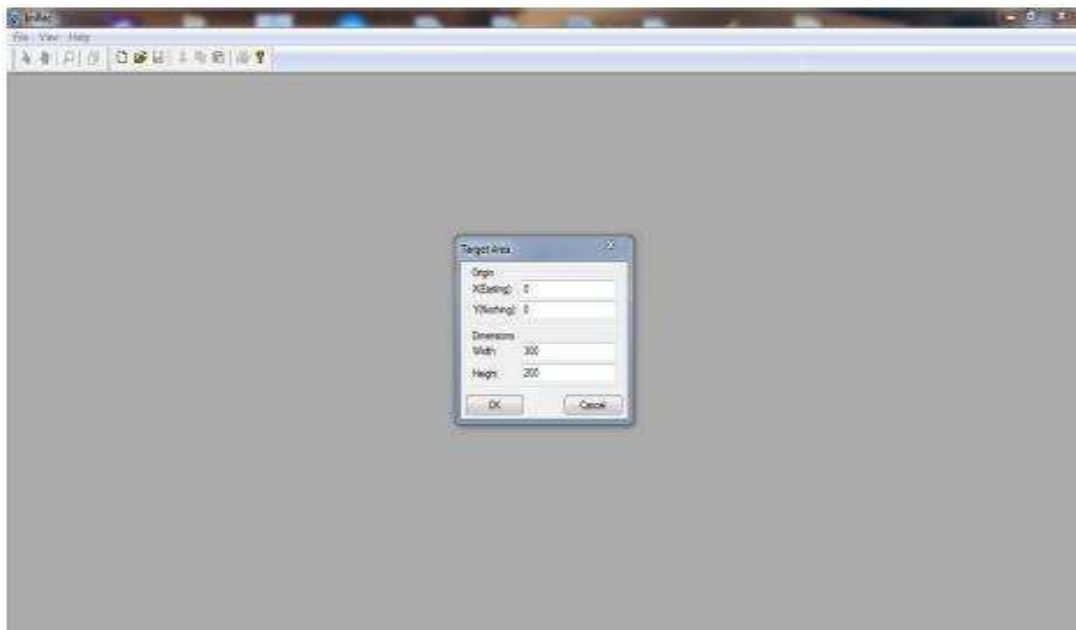


Figure1 : Coordonnées géographiques

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

Après chaque 3 points géoréférencés une rectification est demandée :

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

1-2. Digitalisation de la bathymétrie

- Ouvrir Mike zéro → new file → bathymétrie

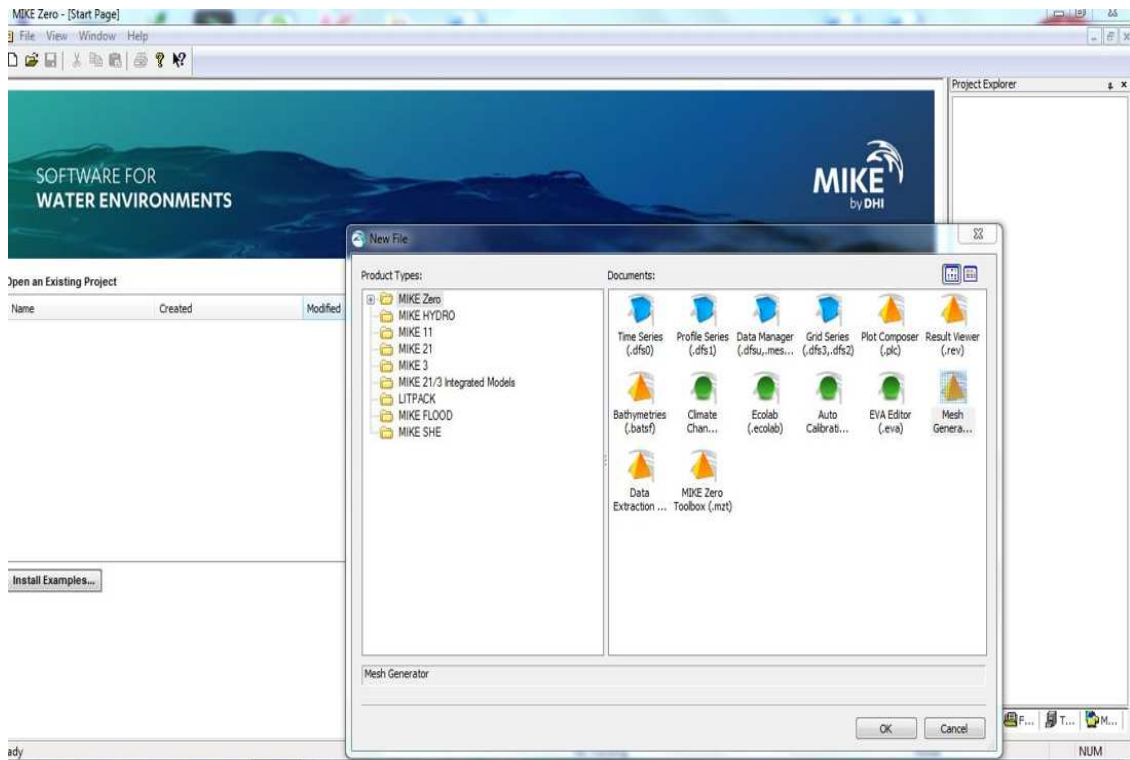


Figure 2 : Outils logiciel Mike zéro

- Définir la zone de travail avec le système de projection (WGS-1984-UTM-zone-31N)

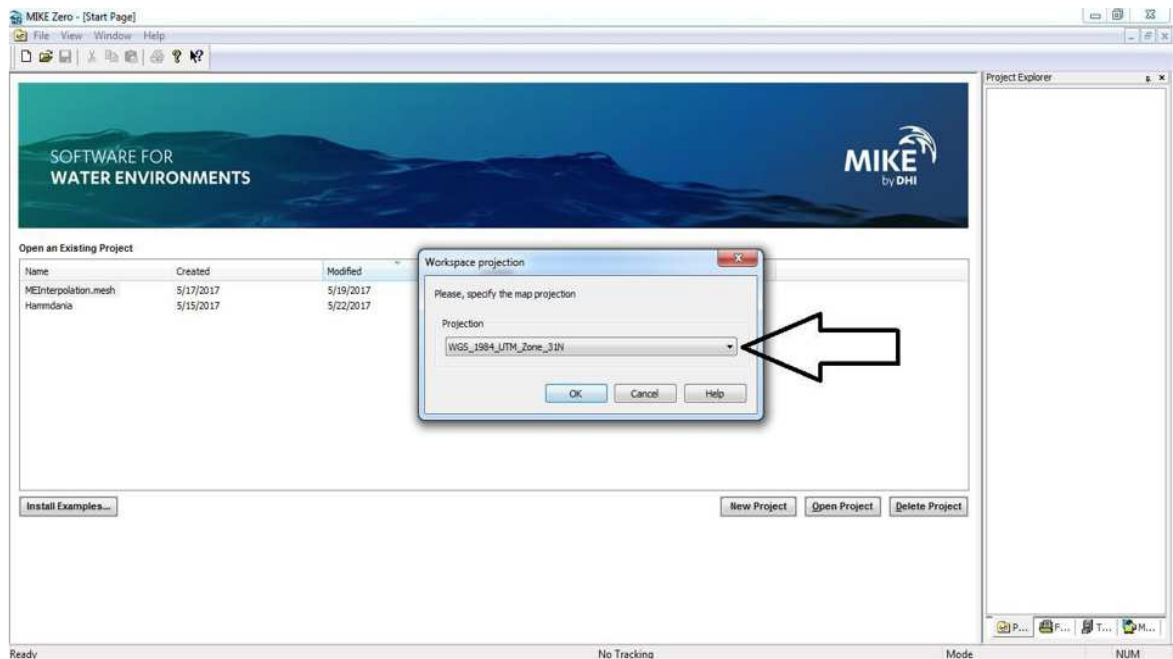


Figure3 : Système de projection

- Importer les données XYZ : Data → manage Scatter Data

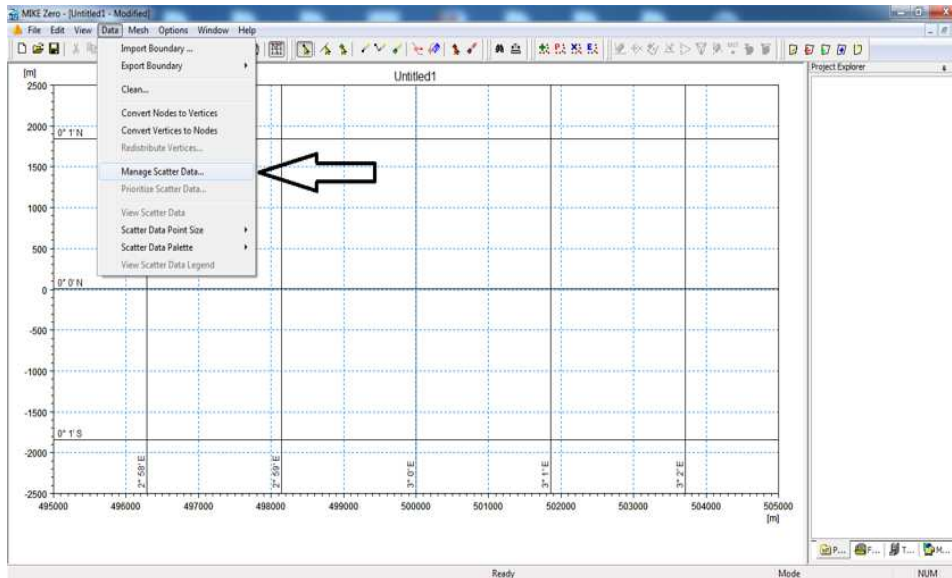


Figure 4 : Importe les données XYZ

- Add → fichier de la digitalisation « XYZ » → apply

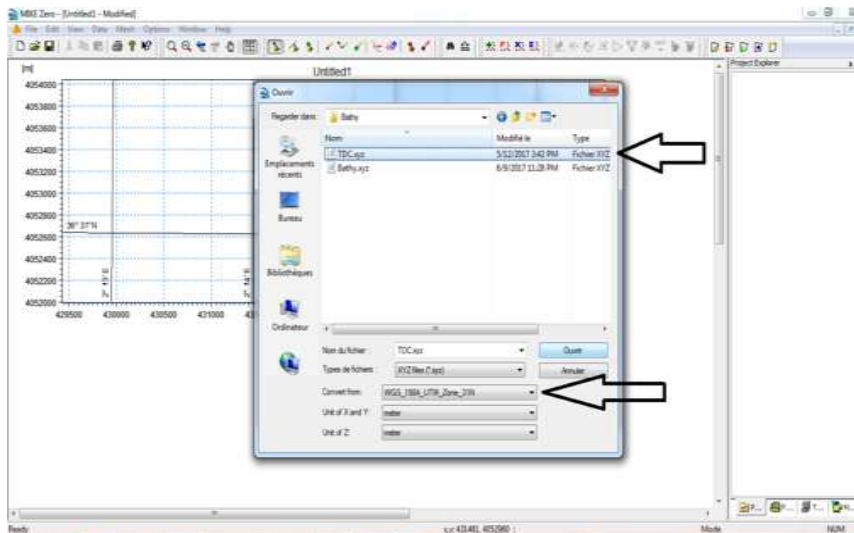


Figure 5 : Ajouter des données bathymétries

- Data → load boundary

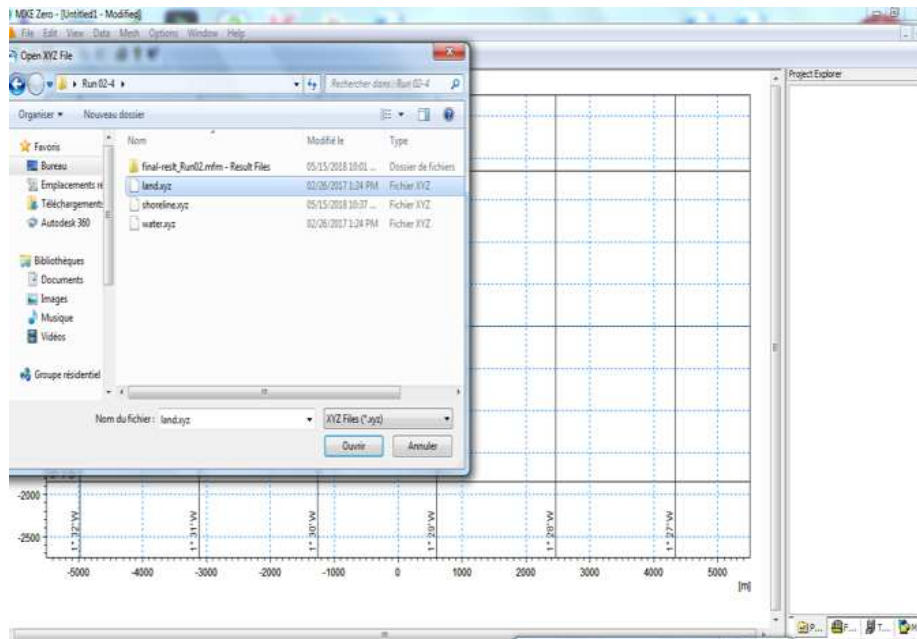


Figure 6 : Importe des données terre « land ».

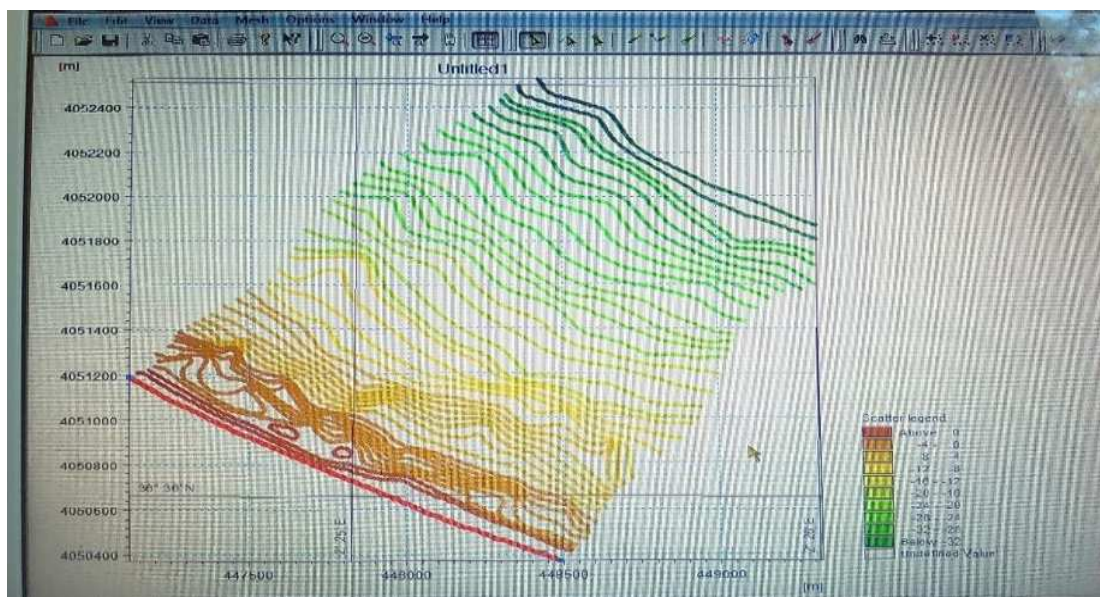


Figure7 : Carte bathymétrique

Génération maillage

- Mesh \longrightarrow generate Mesh

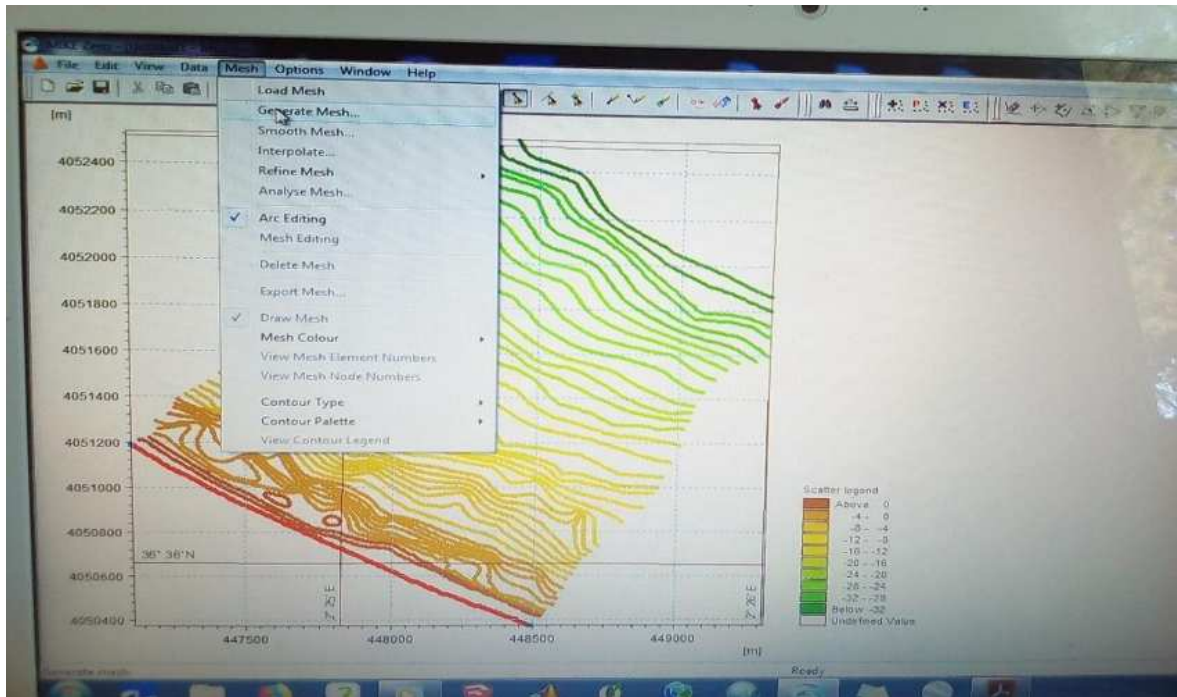


Figure8 : Génération de maillage

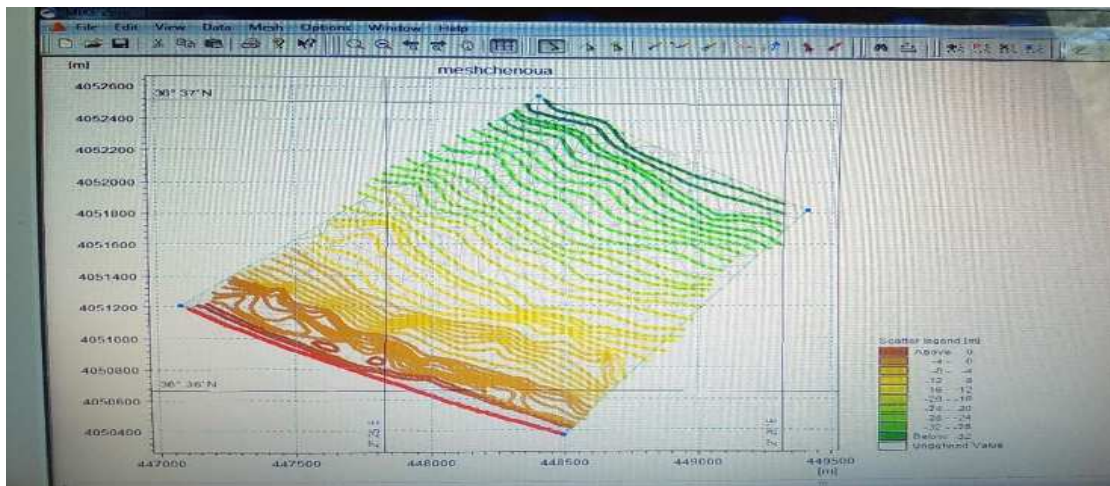


Figure 9 : Résultat d'une génération du maillage

- Dessiner les arcs avec l'outil « Draw arc » afin de délimiter la zone de maillage et déterminer les frontières marines et terrestres,
- sélectionner l'arc \longrightarrow propriétés

Pour identifier les quatre directions le 0 et 1 pour la terre « land »

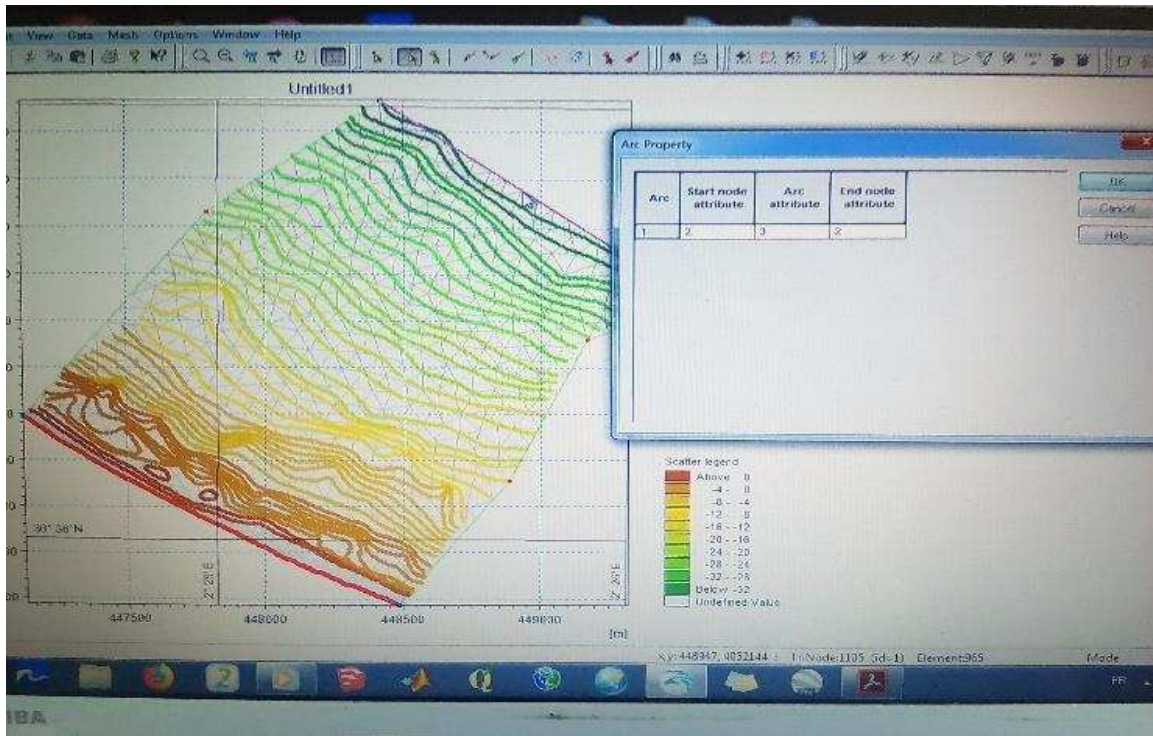


Figure 10 : Propriétés arc

Interpolation

- Mesh \longrightarrow interpolate

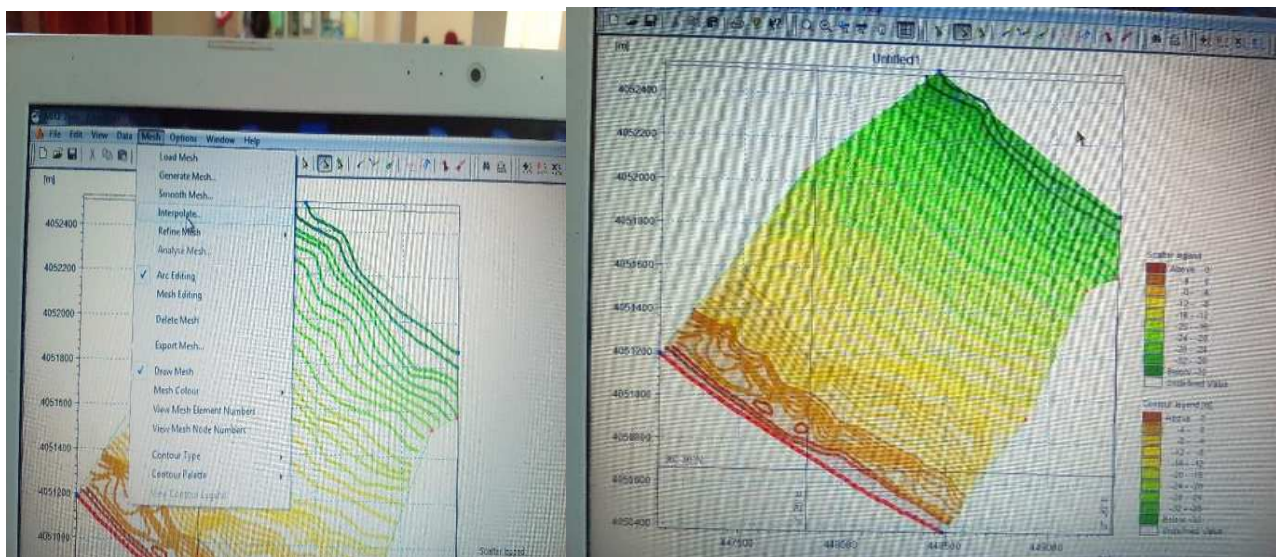


Figure 11 : interpolation de la bathymétrie

Exporter Mesh

- Mesh \longrightarrow Export Mesh

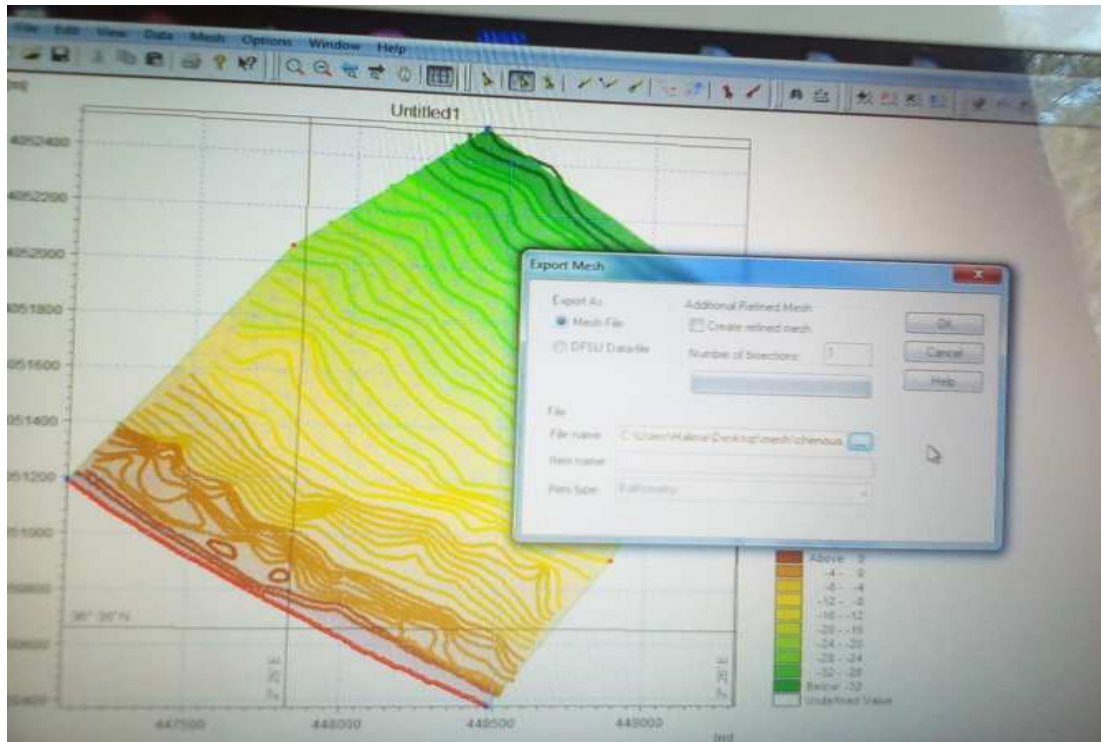


Figure 12 : Exportation du maillage

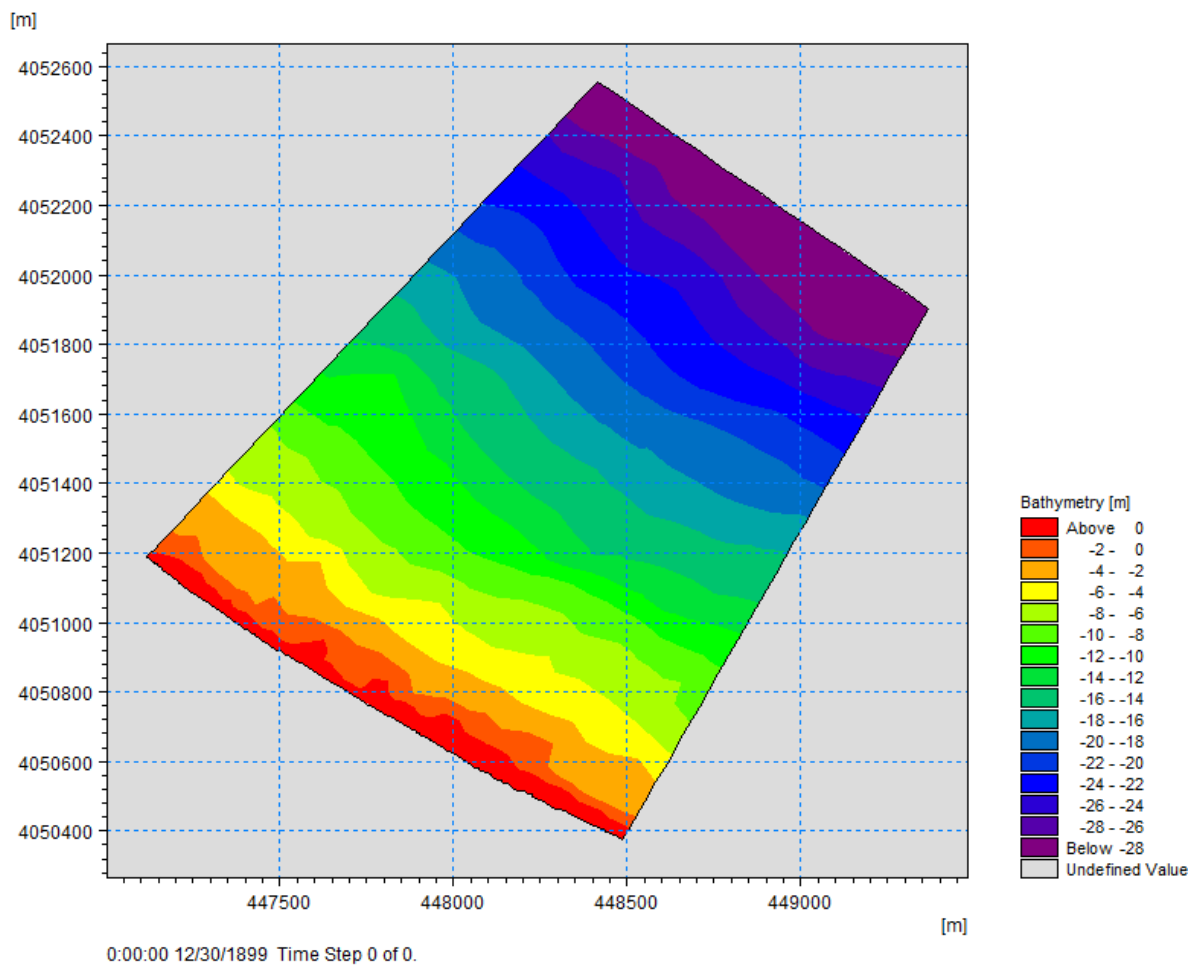


Figure 13 : carte bathymétrique

Annexe N°03

La modélisation de la carte bathymétrique à partir MIKE21 couplée /FM :

Model 21/3:

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

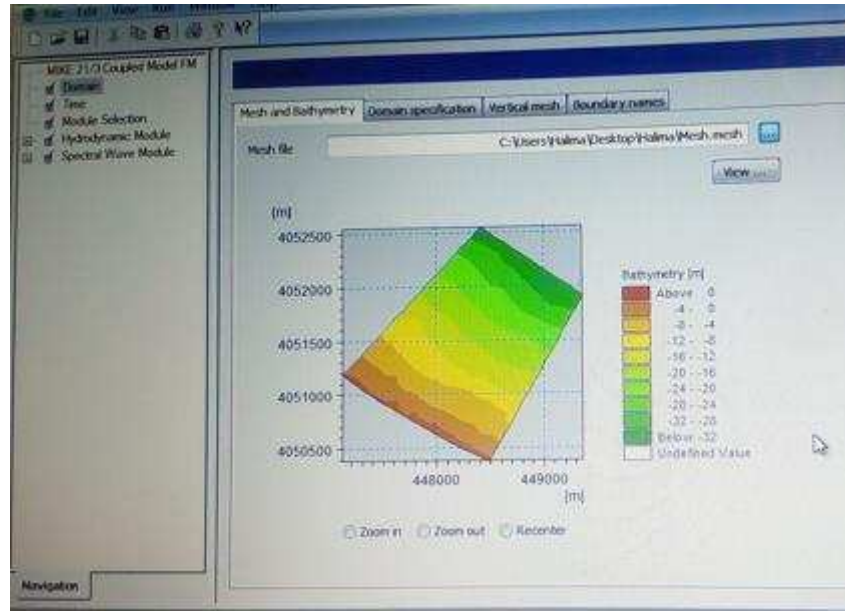


Figure 01 : Importer la génération du maillage

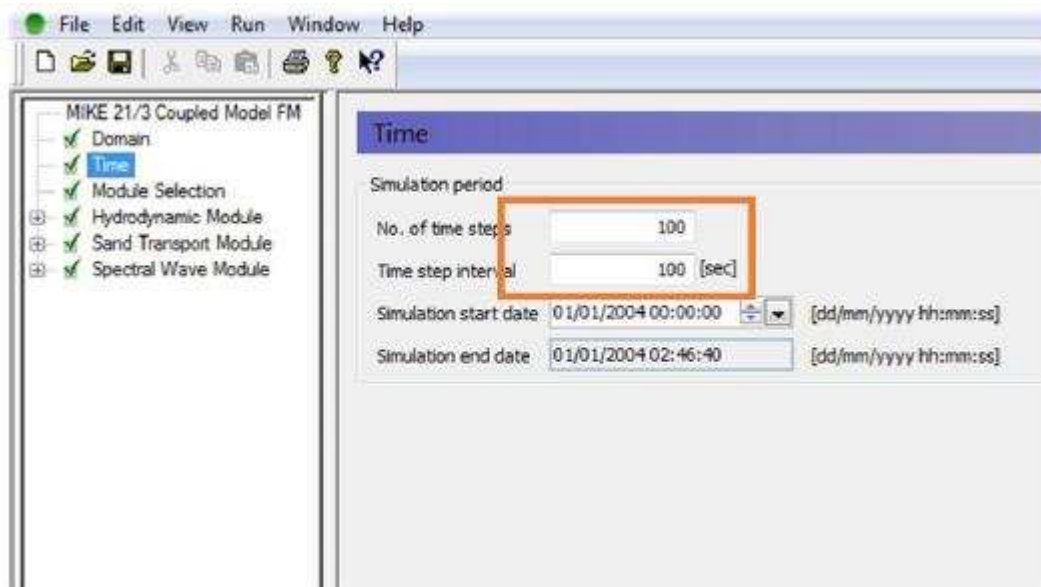


Figure 2 : Choix du temps pour chaque maille calculer

Model Hydrodynamique HD :

Paramètres d'entrées choisies pour le model HD

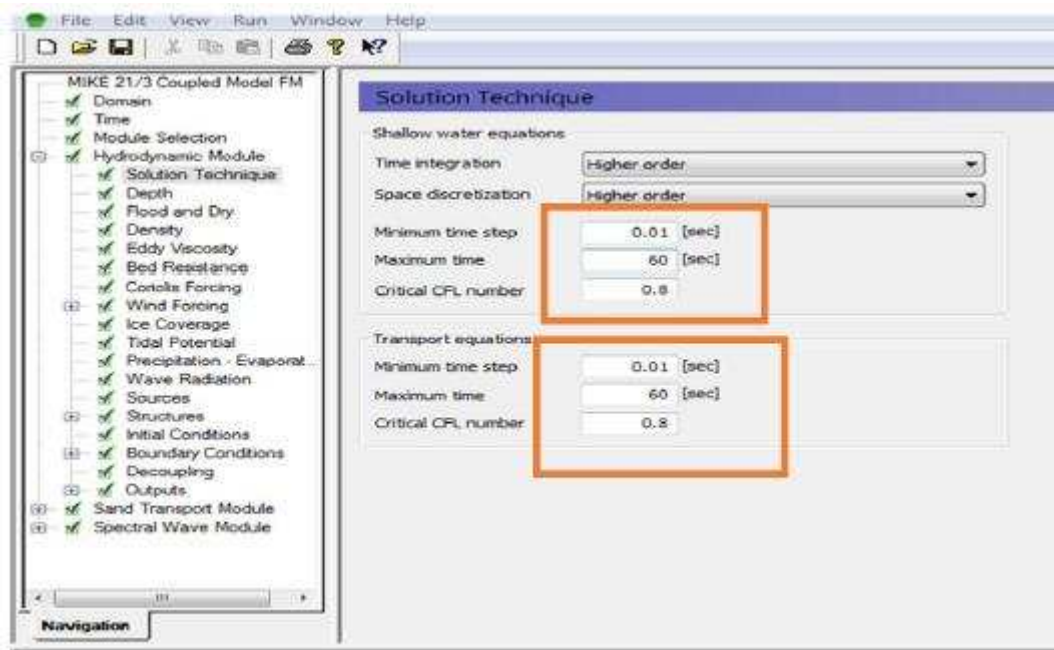


Figure 3 : Solution technique

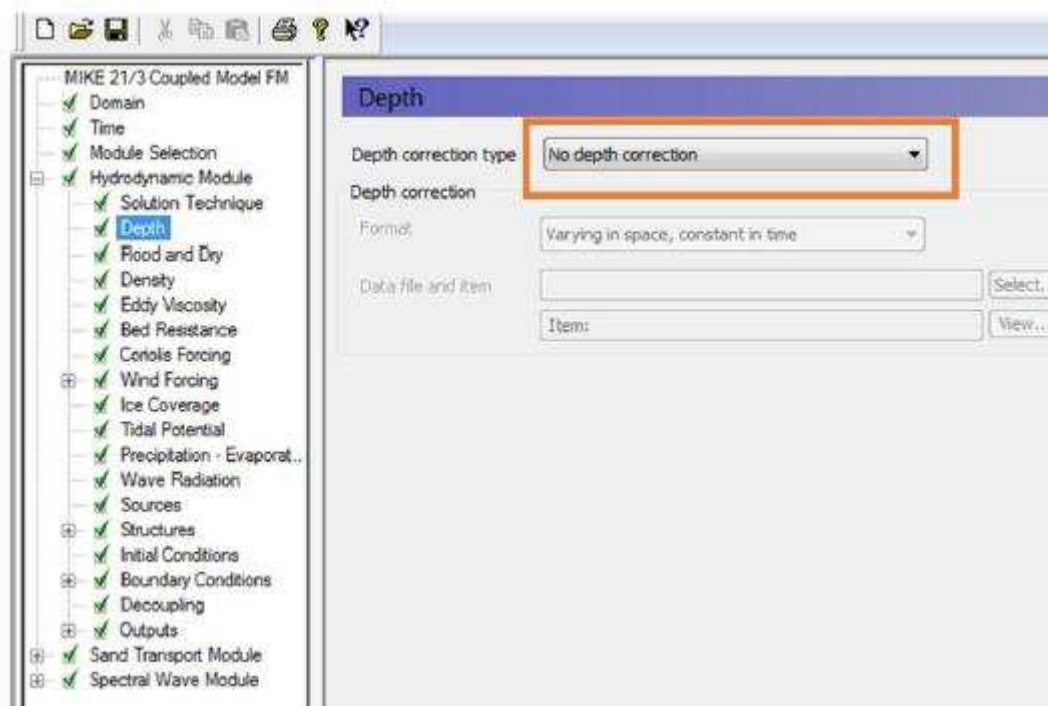


Figure 4 : Choix de la profondeur « choisie par défaut »

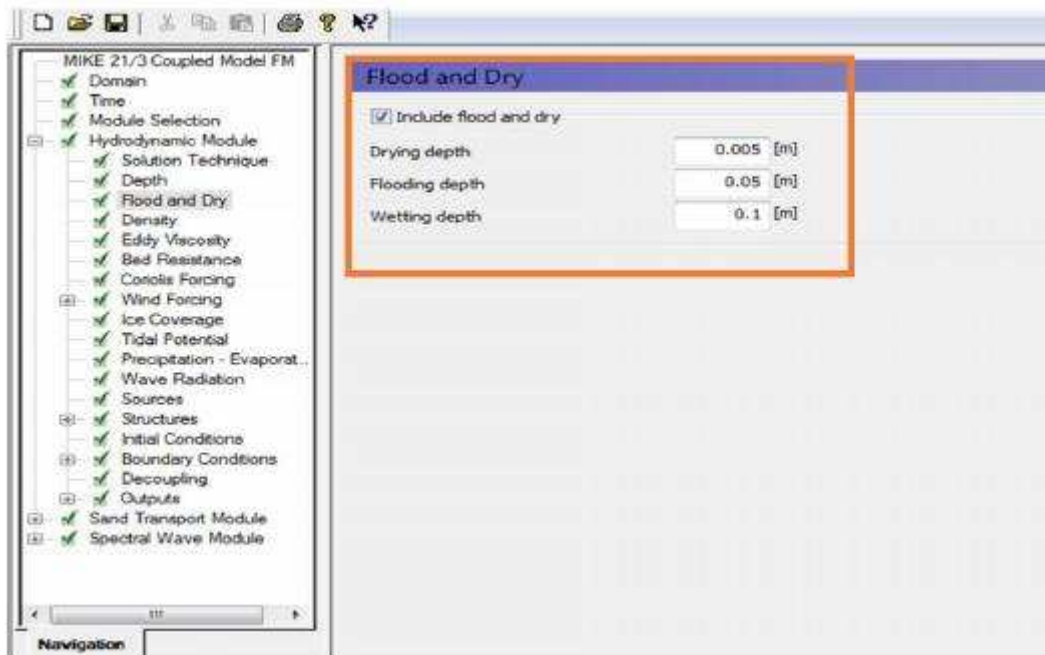


Figure 5 : Flood and dry « choisie par défaut »

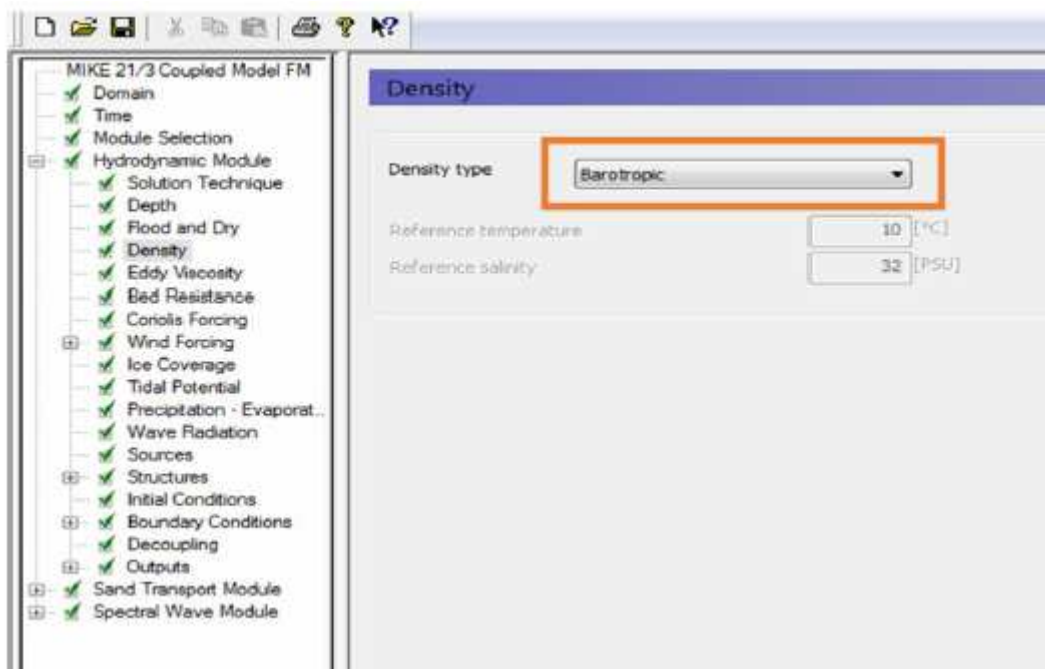


Figure 5 : Choix de la densité « choisie par défaut »

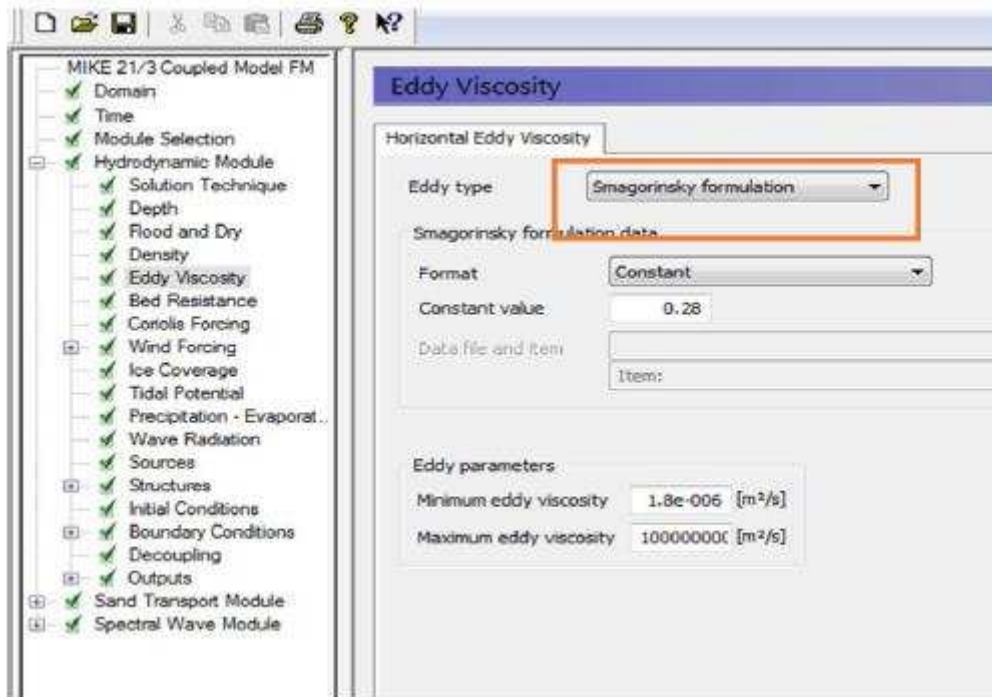


Figure 6 : Choix de la viscosité « choisie par défaut »

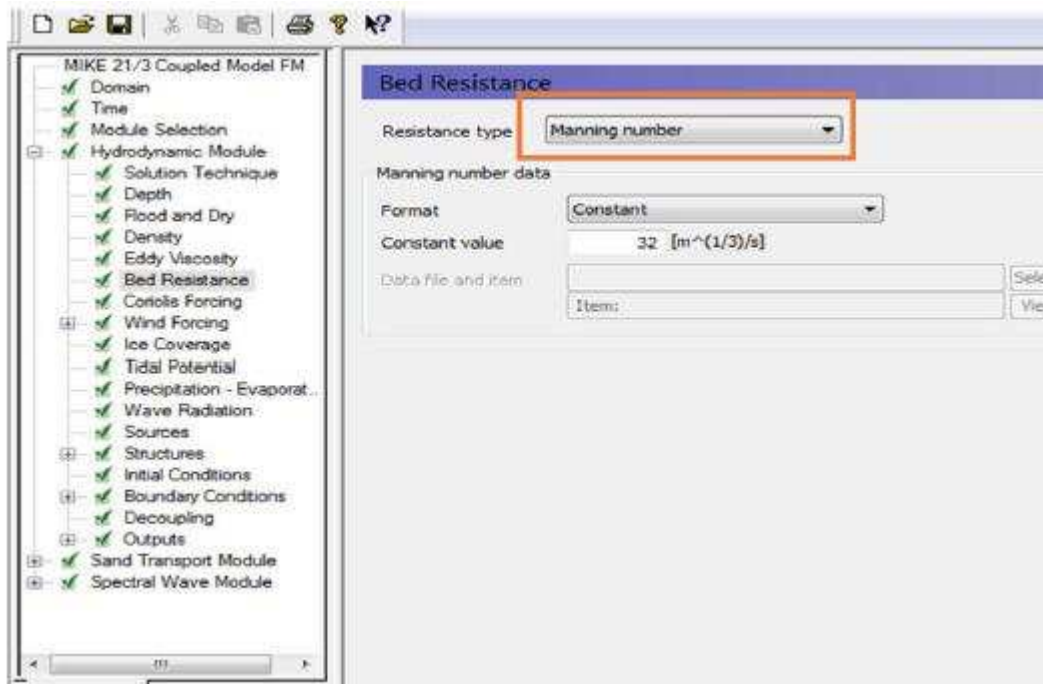


Figure 7 : Bed Résistance « choisie par défaut »

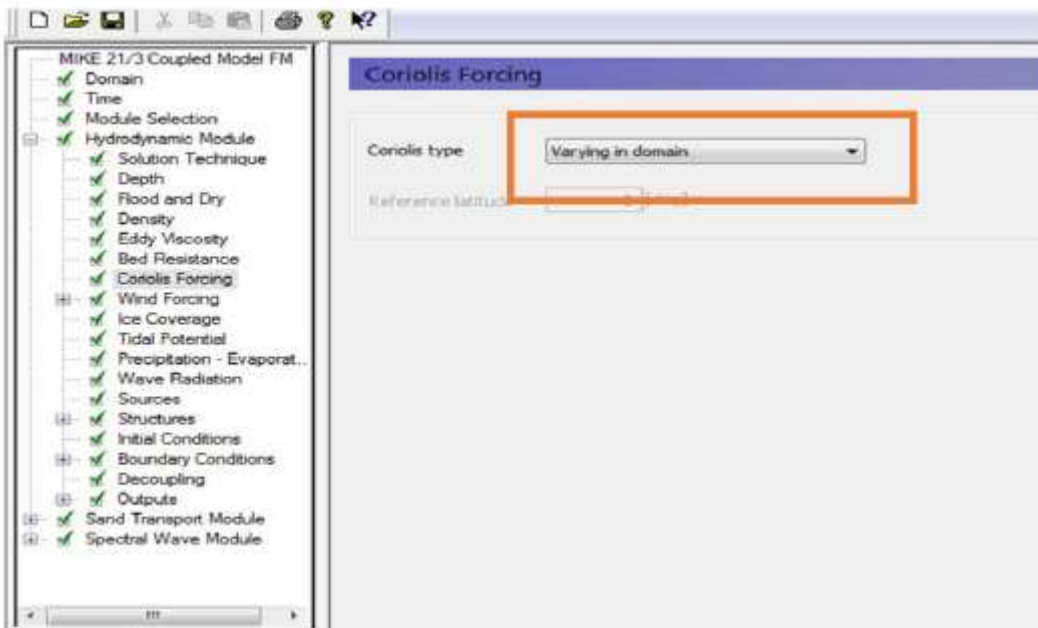


Figure 8 : Force de Coriolis « choisie par défaut »

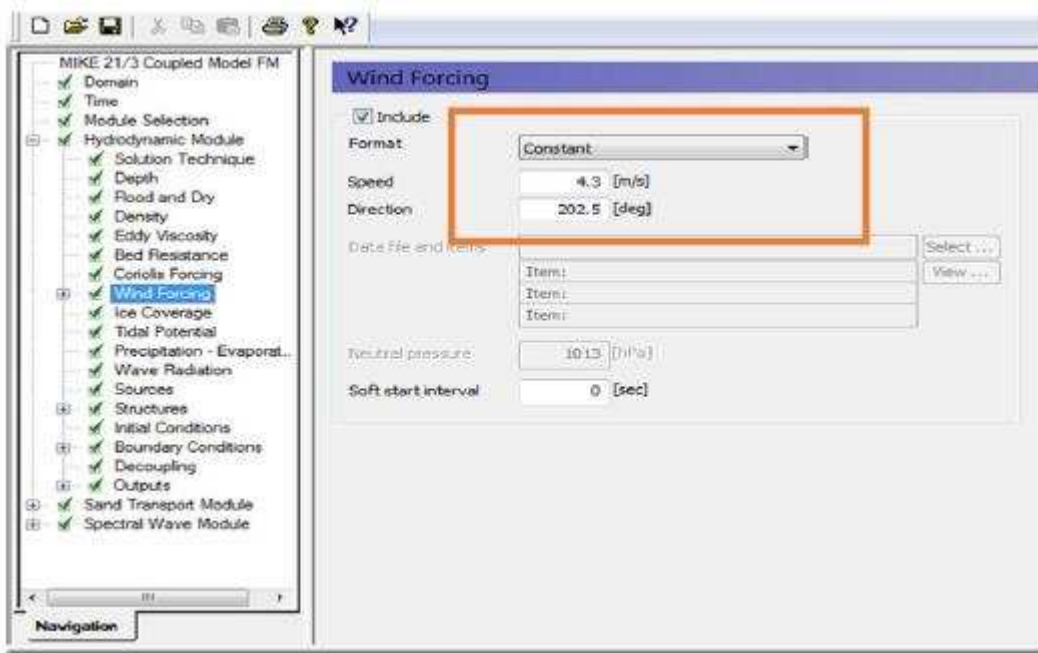


Figure 9 : Le vent

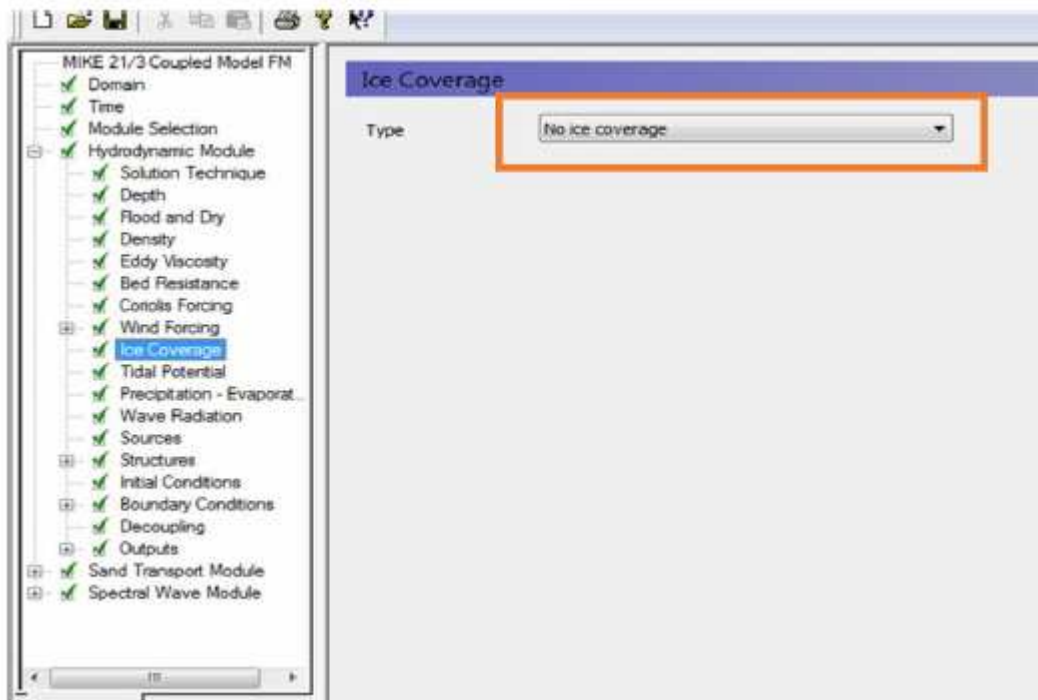


Figure 10 : Ice Coverage « choisie par défaut »

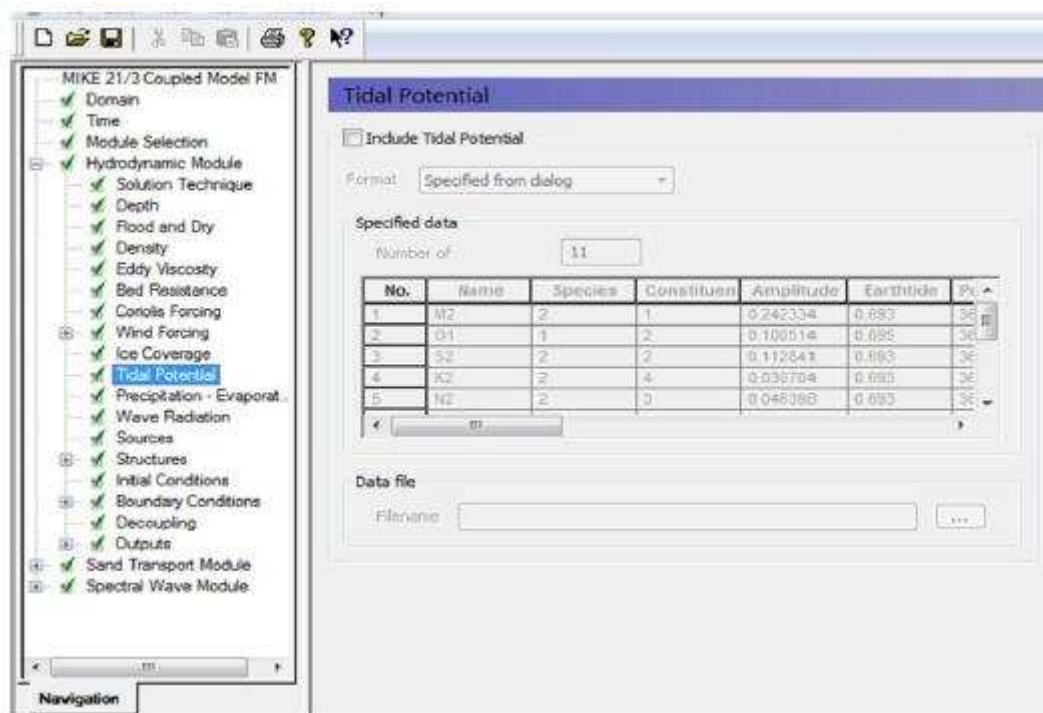


Figure 11 : Tidal potential

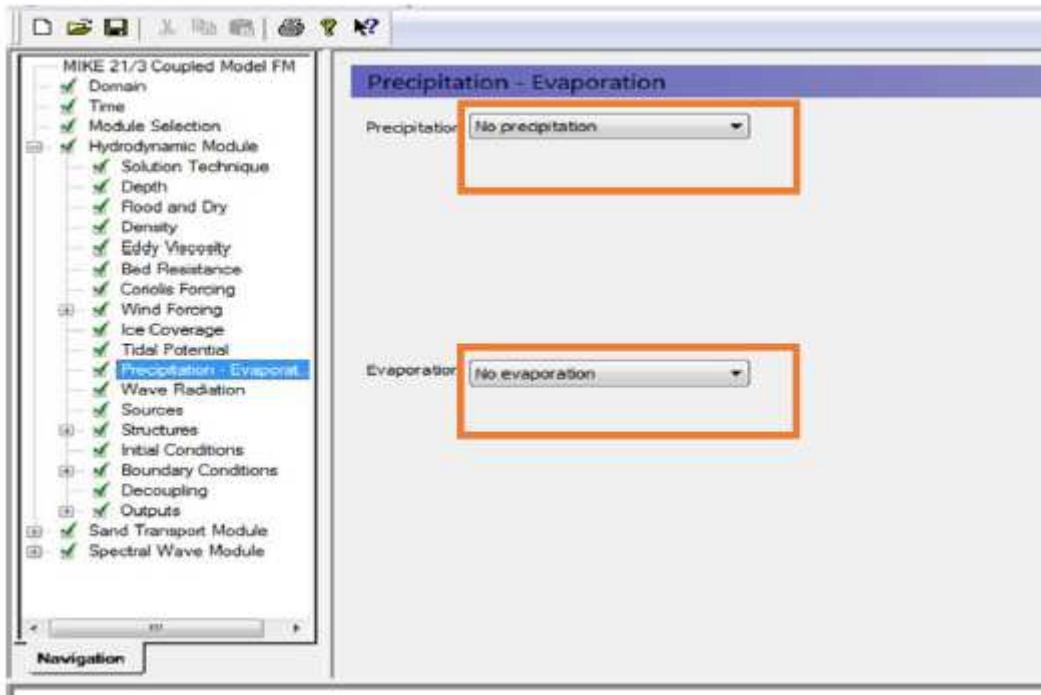


Figure 12 : Evaporation et précipitation « choisie par défaut »

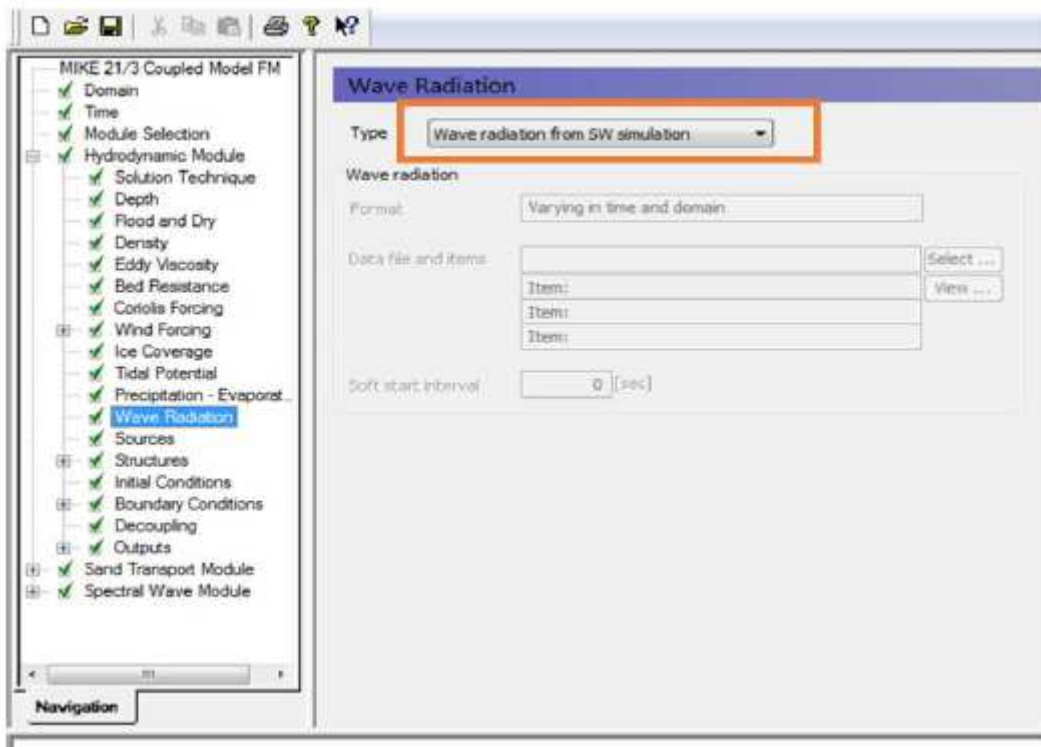


Figure 13 : Wave radiation

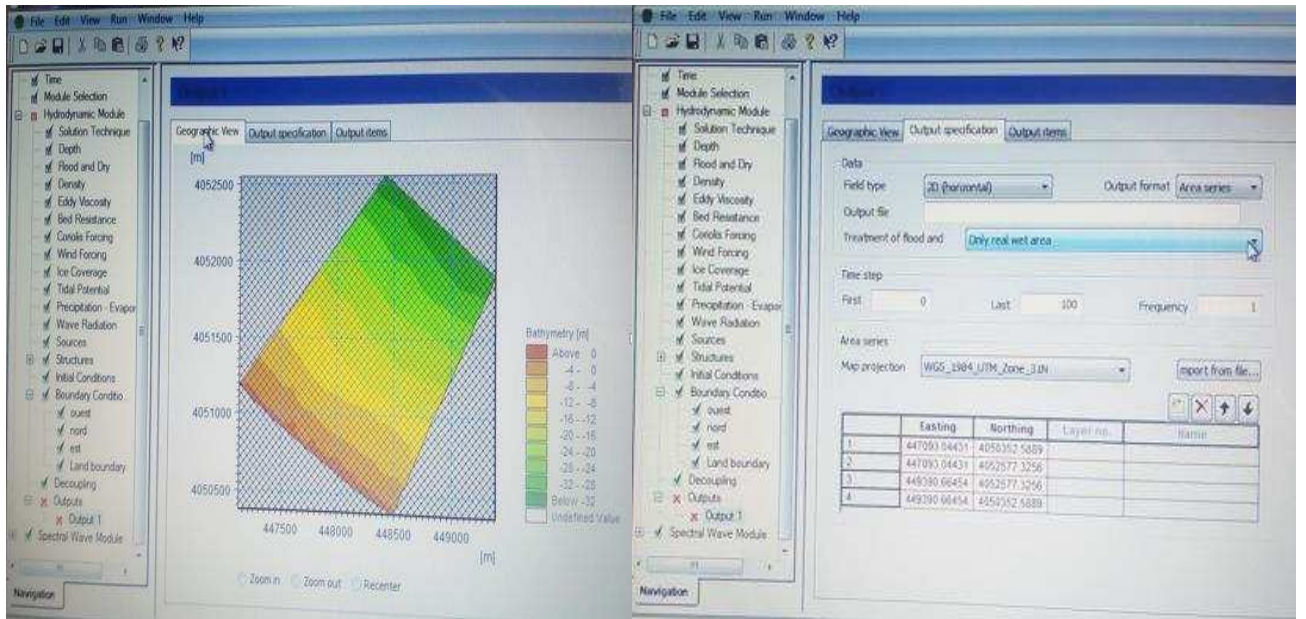


Figure 14 : Condition limites

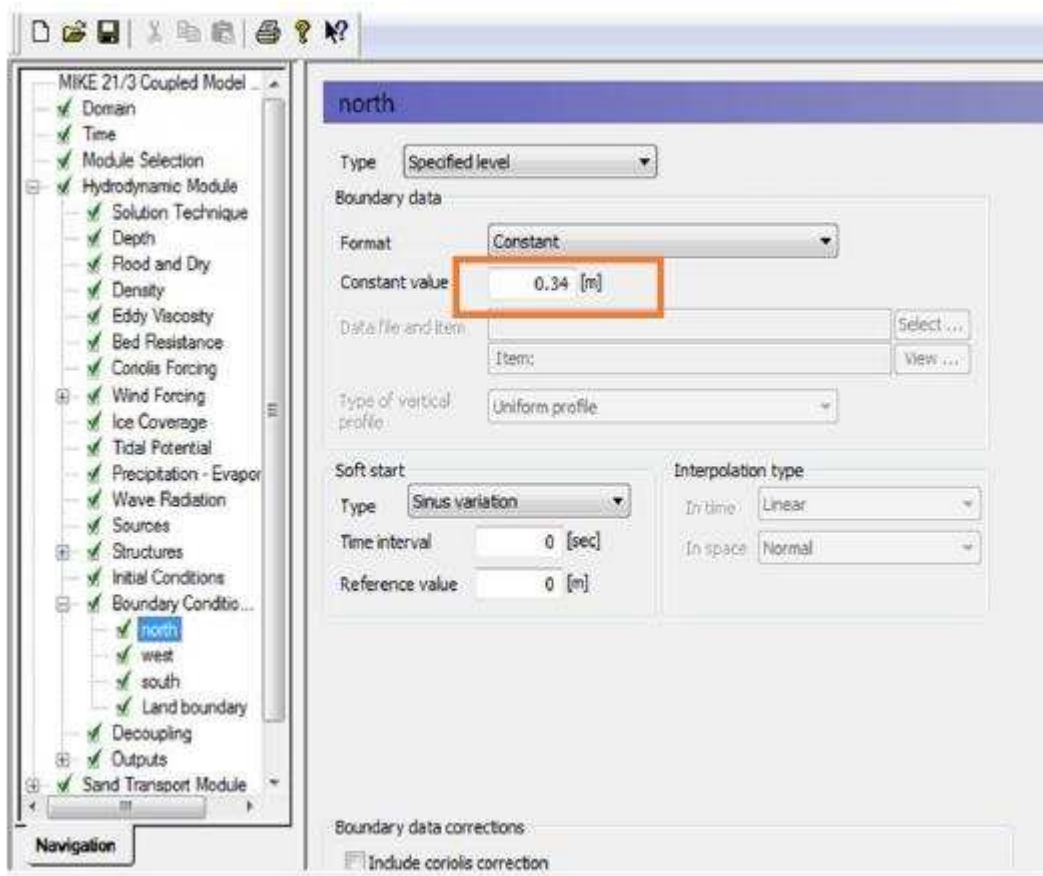


Figure 15 : Conditions limites pour chaque orientation

Model du transport sédimentaire ST :

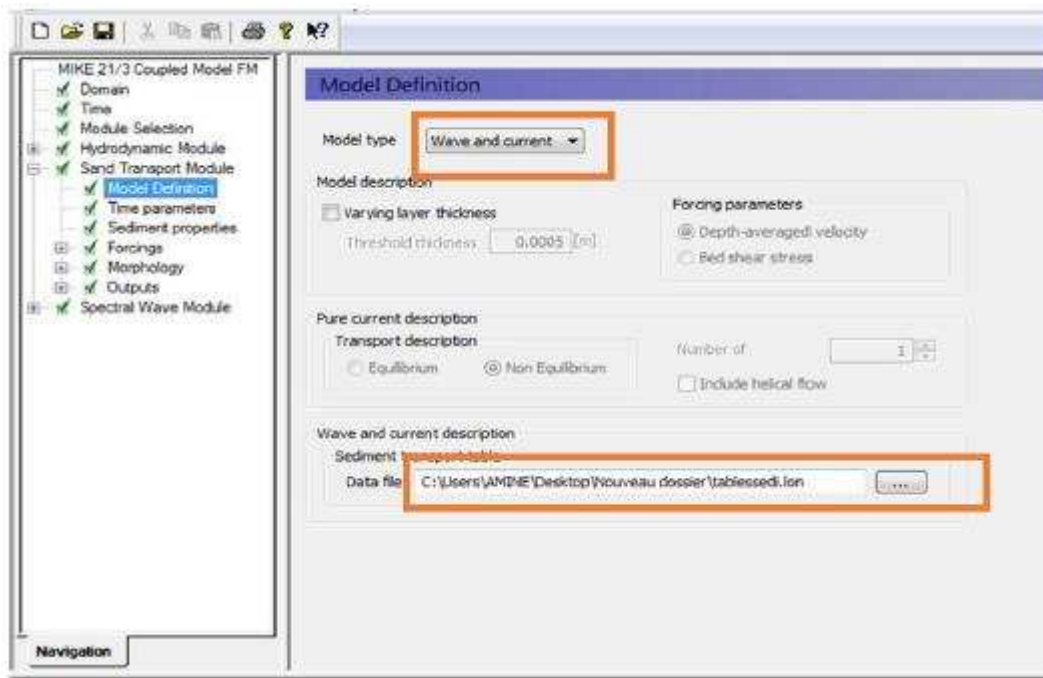


Figure 16 : Définition de la table sédimentaire

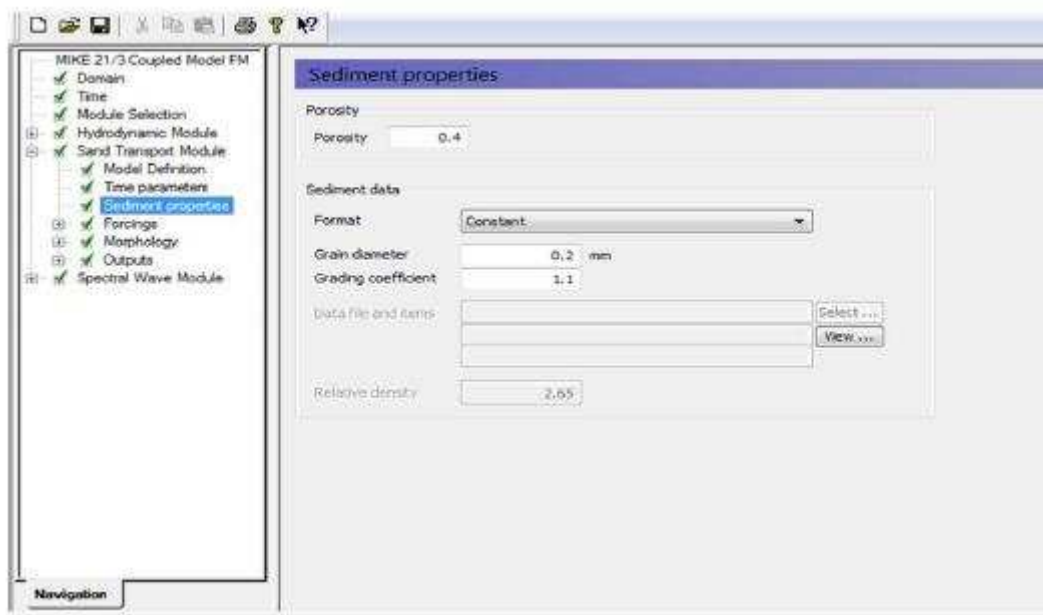


Figure 17 : Propriétés des sédiments

Model de Réfraction SW :

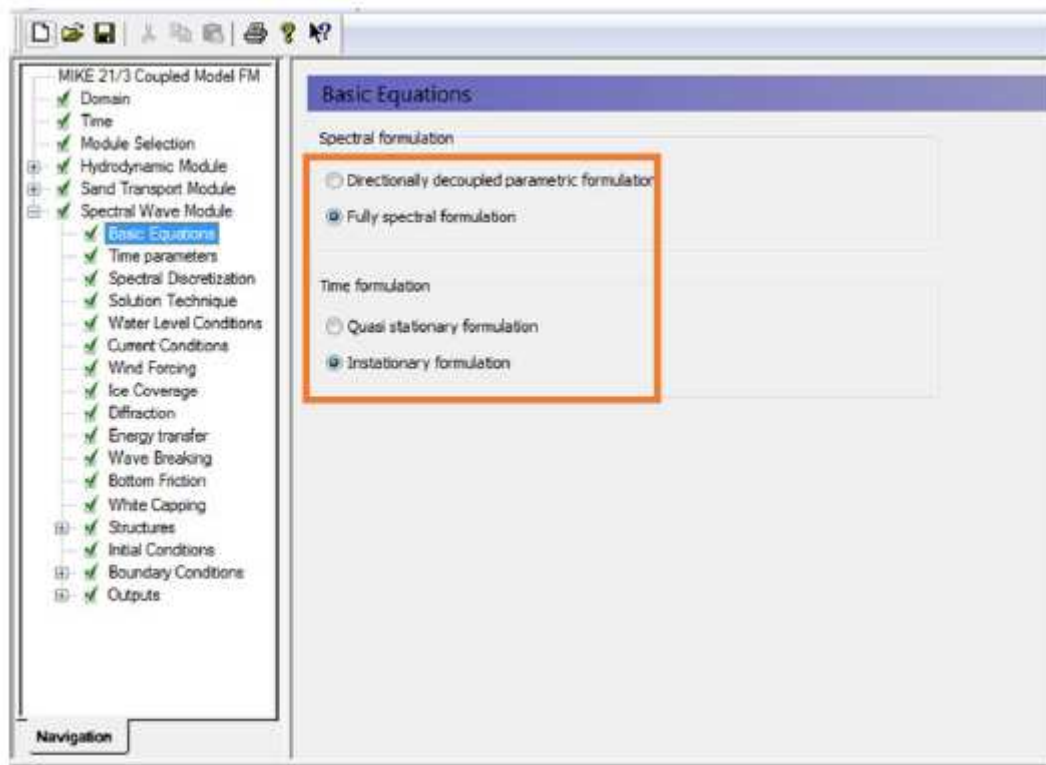


Figure 18 : Equations utilisées pour les calculs

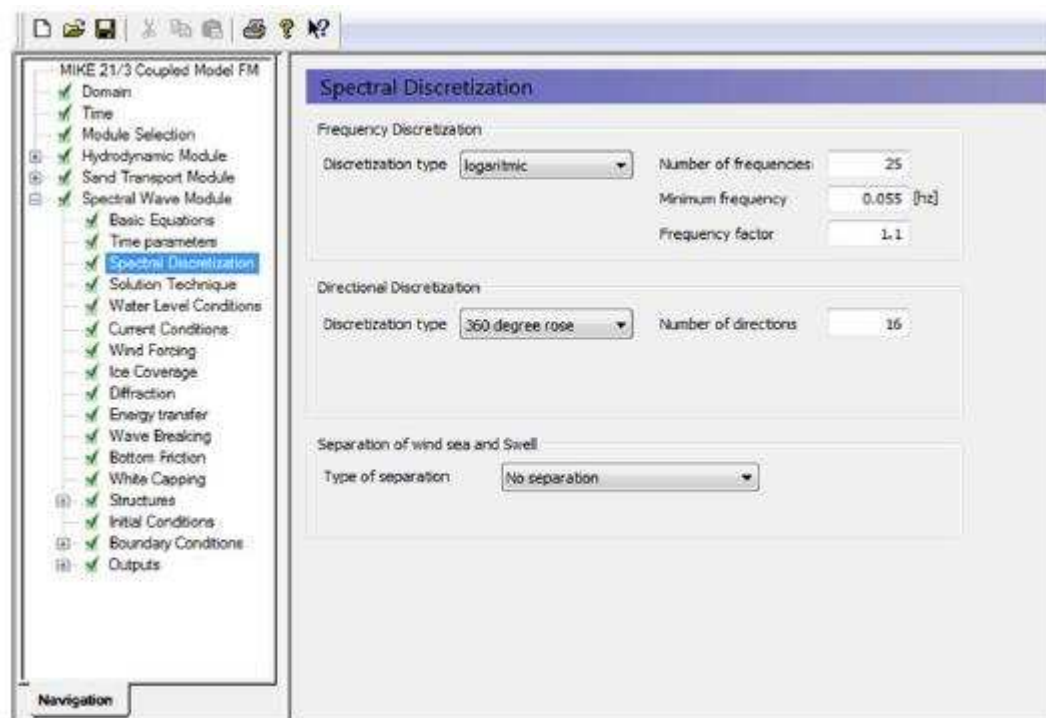


Figure 19 : Type de discrétisation « choisie par défaut »

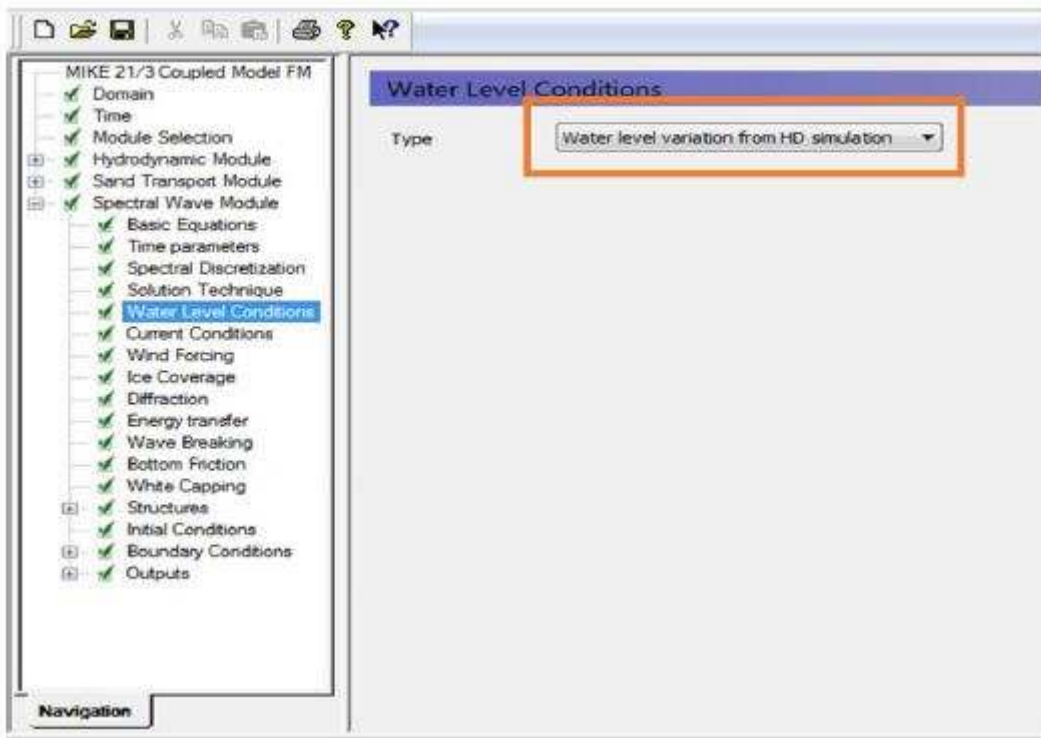


Figure 20 : Conditions niveaux des eaux

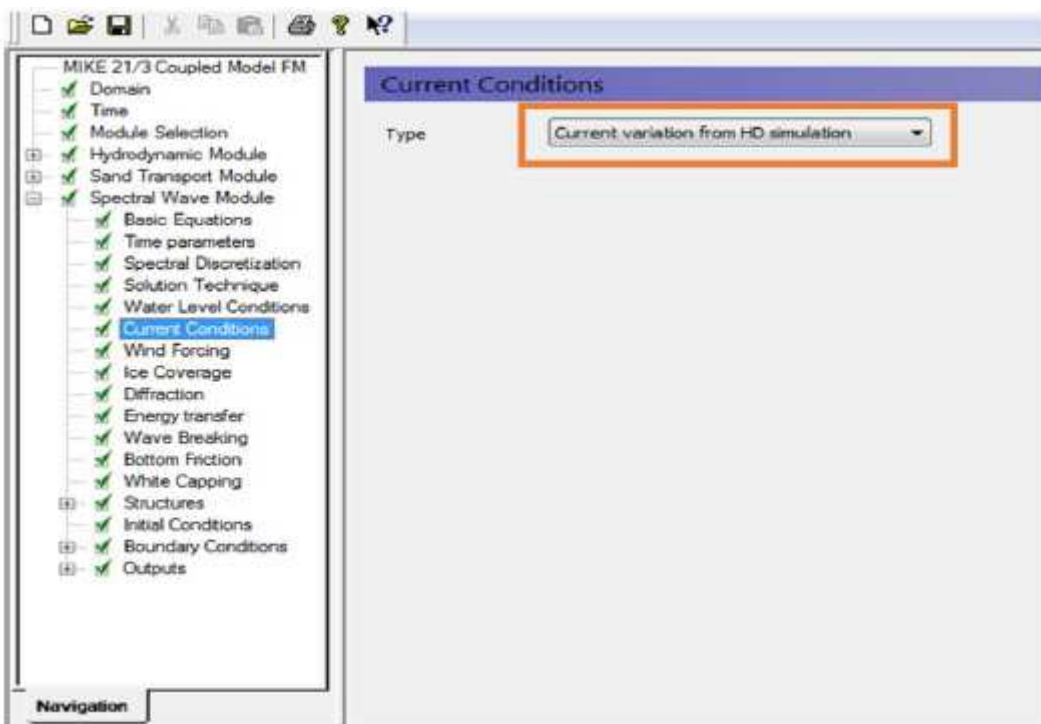


Figure 21 : Conditions des courants

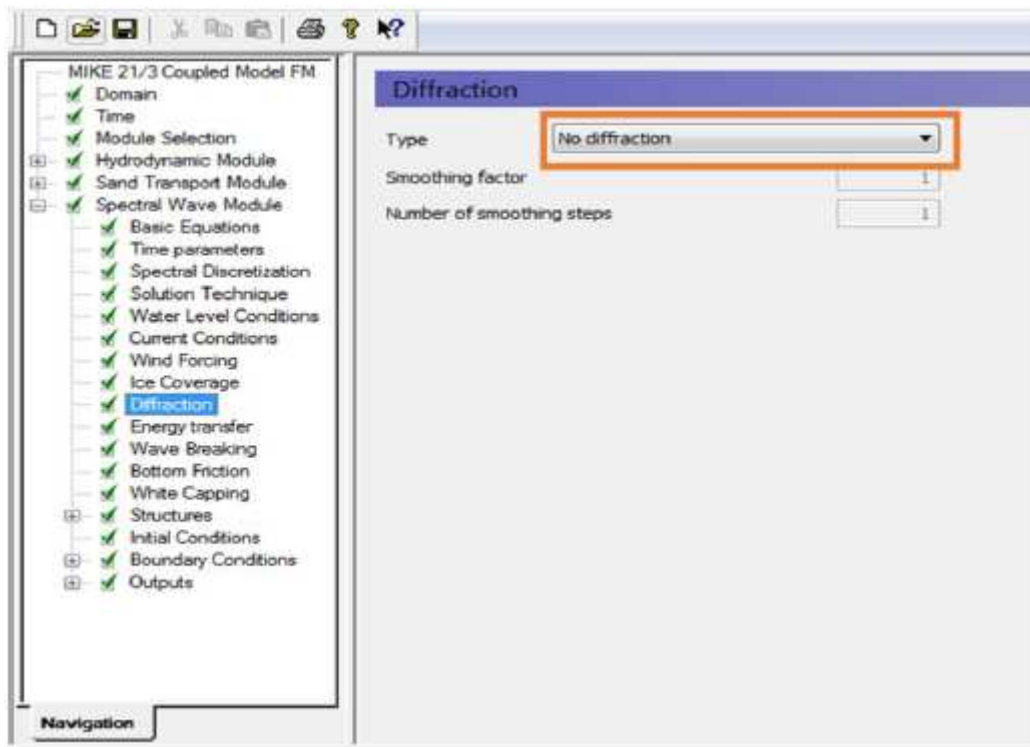


Figure 22 : Diffraction « Choisie par défaut »

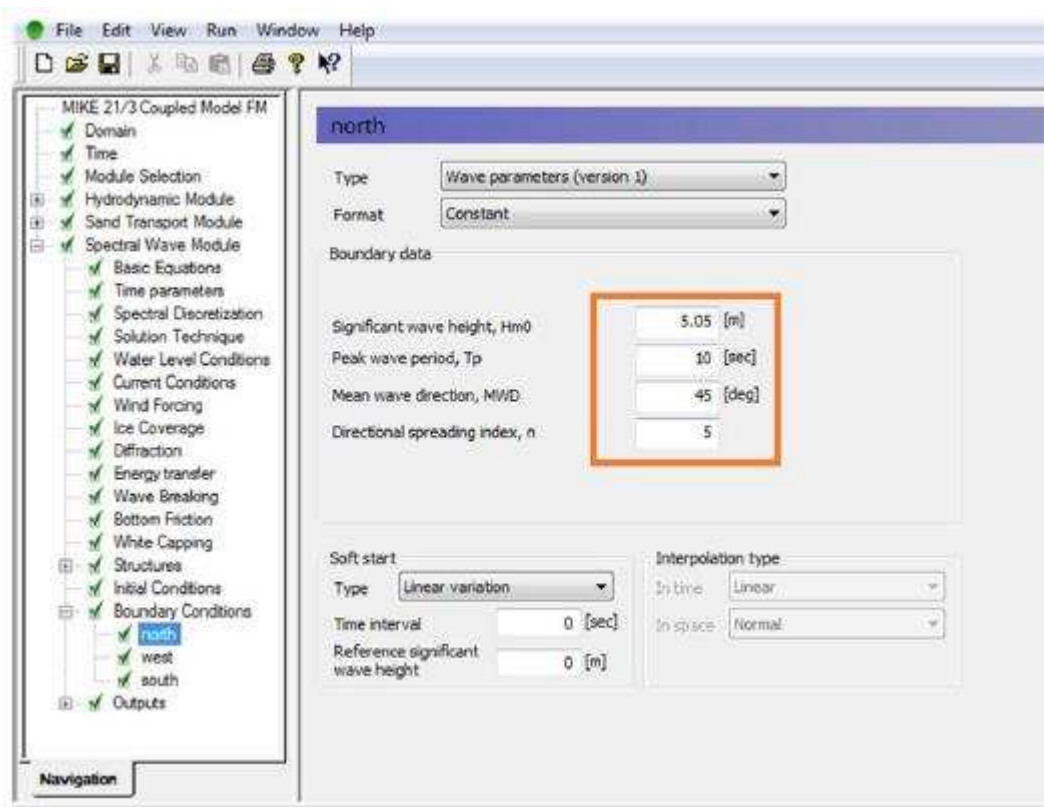


Figure 23 : Conditions limites