

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



**Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme
d'Ingénieur d'état et de grade Master en Sciences de la Mer**

Option : Aménagement du littoral

Thème :

**Evaluation du risque d'érosion de la plage Est de Sidi Fredj
(Alger)**

Présenté par :

BELKHERROUBI Zouhir

BELGUERGUID Ayoub

Soutenu le 30/09/2017 devant le jury composé de :

M. BELKESSA R.	Professeur	ENSSMAL	Président
Mme. AL SID CHIKH S.	Maîtresse assistante B	ENSSMAL	Promotrice
M. OTMANI H.	Maitre-Assistant A	ENSSMAL	Co-promoteur
Mme. MEHDID S.	Maîtresse assistante A	ENSSMAL	Examinatrice
Mme. MOUHOUBI N.	Cadre	LEM	Examinatrice
M. AOUDJ CH.	Cadre	MICLAT	Examineur

Année universitaire : 2016 - 2017

Remerciements

Tout d'abord, nous remerciant « Allah » qui nous a donné la force, le courage et la patience tout au long de notre cursus.

On adresse nos respectueux remerciements aux membres du jury qui nous ont fait l'honneur de participer à l'évaluation de ce travail :

*Il nous a agréable d'exprimer nos plus vifs remerciements à **M. BELKESSA (Professeur)** qui nous fait le privilège d'accepter la présidence de ce jury. On apprécie sa disponibilité bienveillante.*

*Nous tenons à remercier **Mme. MEHDID (Maîtresse assistante A)** de nous faire l'honneur d'examiner ce travail, ses remarques et critiques nous seront d'une grande utilité*

*Nous tenons également à remercier **M. AOUDJ (Cadre au MICLAT)** d'avoir accepté de juger ce travail, nous lui adressons notre profonde reconnaissance.*

*Nous adressons aussi à remercier **Mme. MOUHOUBI (Cadre au LEM)** d'avoir accepté d'examiner notre travail*

*Nous exprimons toute notre reconnaissance à **Mme. EL SID CHIKH (Maîtresse assistante B)** notre promotrice, et nous la remercions de nous avoir encadré et orienté sur ce mémoire.*

*Nous sommes heureux de pouvoir remercier notre Co-promoteur **M. OTMANI (Maitre-Assistant A)** d'avoir consacré un temps précieux et sa contribution à ce travail, en dépit des multiples occupations qui lui imposent l'enseignement. Grace à sa confiance totale, ses conseils, son sens humain et les moyens qu'il a mis à notre disposition, nous avons pu mener à bien ce travail.*

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à mes chers parents, à mon cher frère et mes chères sœurs qui m'ont soutenu le long de mon parcours, par leurs sacrifices, leur présence à côté de moi par le courage qui m'ont donné pour continuer, aussi à toute ma famille qui m'a aidé pour réussir.

A tous mes chers amis Brahim, Zohir, Abdelouahab, Ikkal, Slimou, Abdeldjalil, Bilal, Amine, Djida, Rabah, Isma Mina, Ahmed, Kamal, Narimene, Salima, Nabila, et tous mes collègues. Egalement à mes chers cousins Faouzi et Sidaali.

A tous ceux qui m'ont aidé de loin ou de près, pour réaliser ce travail.

BELKHERROUBI Zouhir

Je dédie ce travail, comme preuve de respect, de gratitude, et de reconnaissance à mes chers parents pour leurs affections, leurs patiences et leurs prières.

A mes frères, mes sœurs et ma chère famille, pour m'avoir toujours encouragé dans mes décisions. Merci pour votre confiance.

A tous mes amis qui m'ont aidé dans mon cursus.

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail

BELGUERGUID Ayoub

Citation

الحمد لله حمدا كثيرا طيبا مبارك فيه ملء السموات والأرض

وما بينهما وملء ما شئت بعد.

*Liste des figures et des
photos*

Liste des figures et des photos

Figure 1.1 : Les différents types de plages (Mongi & Miossec, 2010).....	07
Figure 1.2 : Principales caractéristiques de la vague (Grasso Florent, 2009).....	09
Figure 1.3 : Le mécanisme de la dérive littoral le long d'une plage (Mongi & Miossec, 2010).....	11
Figure1.4 : Illustration du principe de Bruun (Paskoff, 1998).....	14
Figure1.5 : Etablissement du budget sédimentaire (O Bain & S Costa, 2016).....	17
Figure 2. 1 : Situation géographique de La Baie d'El Djamila.....	19
Figure 2. 2 : Situation géographique de la zone d'étude la plage Est de Sidi Fredj.....	20
Figure 2. 3 : Carte géologique de la baie d'El Djamila (INCT, 1998 modifiée par Arcgis)..	21
Figure 2. 4 : Schéma montrant la répartition des sédiments sur le plateau continental algérien (Dan,2007)	22
Figure 2. 5 : La carte sédimentologique de la baie de Bou Ismail et la baie d'El Djamila (LEM, 1998).....	23
Figure 2. 6 : Réseau hydrographique de la Baie d'El Djamila 2017.....	24
Figure 2. 7 : Roses récapitulatives saisonnières des fréquences d'apparition du vent au large en fonction de leurs vitesses faites par le logiciel HYDROGNOM. (Nadir, 2016).....	26
Figure 2. 8 : Répartition annuelle des vents en % (ONM, Dar-El-Beida, 1995-2015 in (Nadir, 2016)).....	27
Figure 2. 9 : Rose récapitulative de direction des houles au large du secteur (270°-45°) faite par le logiciel HYDROGNOM. (Nadir, 2016).....	28
Figure 2. 10 : Rose des vagues au large de la côte Algérienne Hiver – été (HMI, 2011 in Nadir, 2016).....	29
Figure 2. 11 : Répartition des énergies des houles en fonction de la direction et des périodes les plus courantes. Source : K.N.M.I (Zemenzer, 2004)	30
Figure 2. 12 : Circulation des masses d'eaux en Méditerranée Occidentale : MAW (Modified Atlantic Water) et WIW (Winter Intermediate Water) (Dan, 2007).....	31
Photo 3.1 : La plage Est Sidi Fredj pendant les années 1970.....	34
Photo 3.2 : Le reste des traces des dunes2017.....	34
Figure 3.1 : Histogramme d'évolution des surfaces du couvert végétal entre 2007 et 2017...	36

Figure 3.2 : Représentation de la surface du couvert végétal de 2008.....	37
Figure 3.3 : Représentation de la surface du couvert végétal de 2017.....	37
Figure 3.4 : Histogramme de la surface du couvert végétal de 2008 et de 2017.....	38
Figure 3.5 : Les différentes méthodes d'extraction des données topographiques.....	39
Figure 3.6 : L'interface du logiciel Surfer 11.....	40
Figure 3.7 : Schéma explicatif des variations saisonnière des profils des plages (C.Bonnot & C.Feiss-Jehel, 2010).....	41
Figure 3.8 : Le positionnement via le GPS.....	42
Photo 3.3 : Le matériel utilisé (Théodolite, la mire, GPS).....	42
Figure 3.9 : La carte des points de levés topographique.....	43
Figure 3.10 : Schéma explicatif des différents paramètres utilisés pour les calculs.....	44
Figure 3.11 : La représentation des profils topographiques dans la zone d'étude.....	44
Figure 3.12 : Les profils topographiques de la partie aérienne de la plage Est de Sidi Fredj (le bleu : le profil de l'hiver, le rouge : le profil de l'été).....	45
Figure 3.13 : Les Modèles Numériques de Terrain de la partie aérienne de la plage Est de Sidi Fredj des deux périodes (en haut la période Hivernal et en bas la période Estival) (Z en cm) réalisées par Surfer.....	46
Figure 3.14 : Les résultats de calcul du volume de Surfer.....	47
Figure 3.15 : Organigramme qui résume les principales étapes de MIKE Zéro.....	48
Figure 3.16 : Cartes des points des levés topo-bathymétrique.....	49
Photo 3.4 : L'échosondeur à droite et le GPS à gauche.....	49
Figure 3.17 : Carte bathymétrique de la plage Est de 2015.....	50
Figure 3.18 : Carte bathymétrique de la plage Est de 2017.....	51
Figure 4.1 : Localisation des points de prélèvement dans la zone d'étude.....	55
Photo 4.1 : Benne preneuse de type «Van Veen».....	55
Photo 4.2 : GPS Garmin.....	55
Figure 4.2 : Organigramme Modalité de l'analyse Granulométrique.....	56

Figure 4.3 : Représentations visuelles des différents degrés de classement des sédiments (Tucker, 2011) in (Durafour, 2014).....	58
Figure 4.4 : Les cartes de la répartition de la fraction fine dans la partie sous-marine (A : la période Hivernale, B : la période Estivale).....	59
Figure 4.5 : Courbe et histogramme unimodale	60
Figure 4.6 : Courbe et histogramme bimodale.....	60
Figure 4.7 : Courbe et histogramme plurimodale.....	61
Figure 4.8 : Les cartes de la répartition du D50 (mm) dans la partie sous-marine (A : la période Hivernale, B : la période Estivale).....	62
Figure 4.9 : Les cartes de la répartition du D50 (mm) dans la partie aérienne (A : la période Hivernale, B : la période Estival).....	63
Figure 4.10 : Relation entre l'indice de classement et la Médiane(Q50).....	64
Figure 4.11 : Relation entre l'indice d'asymétrie et le diamètre moyen.....	64
Figure 4.12 : La délimitation de la zone et le codage de chaque limite.....	66
Figure 4.13 : Simulation de la propagation des houles à la côte (Tp=8s, Dir= 45°, Hs=2.56m) pour 2015.....	68
Figure 4.14 : Simulation de la propagation des houles à la côte (Tp=8s, Dir= 45°, Hs=2.56m) pour 2017.....	69
Figure 4.15 : Simulation des courants dans la plage Est (Tp=8s, Dir=45°, Hs=2.56) pour 2015.....	70
Figure 4.16 : Simulation des courants dans la plage Est (Tp=8s, Dir=45°, Hs=2.56) pour 2017.....	71
Figure 4.17 : Simulation du transport sédimentaire dans la plage Est (Tp=8s, Dir=45°, Hs=2.56) pour 2015.....	72

Figure 4.18 : Simulation du transport sédimentaire dans la plage Est ($T_p=8s$, $Dir=45^\circ$, $H_s=2.56$) pour 2017.....	73
Figure 5.1 : Barre d'outils de DSAS.....	78
Figure 5.2 : Les différentes positions du trait de côte entre 2007 et 2017 par rapport à la ligne de base.....	80
Figure 5.3 : L'évolution des traits de côte selon les transects entre 2007 et 2017.....	80
Figure 5.4 : Représentation de l'évolution de la plage en fonction de NSM entre 2007 et 2017.....	82
Figure 5.5 : Cartographie les résultats statistique d'évolution de trait de côte entre 2007 et 2017 selon l'EPR.....	83
Figure 5.6 : Représentation de la vitesse d'évolution de la plage (Recul ou accrétion) en fonction de l'EPR entre 2007 et 2017.....	83
Figure 5.7 : Diagramme d'évolution de trait de côte entre 2007 et 2017 en fonction de l'EPR.....	83
Figure 5.8 : Cartographie les résultats statistique d'évolution de trait de côte entre 2007 et 2017 selon LRR.....	85
Figure 5.9 : Représentation de la vitesse d'évolution de la plage (Régression ou engraissement) en fonction de LRR entre 2007 et 2017.....	85
Figure 5.10 : Diagramme d'évolution de trait de côte entre 2007 et 2017 en fonction de LRR.....	85
Figure 5.11 : Représentation d'évolution de la plage entre 2007 et 2017.....	86
Figure 5.12 : L'histogramme représentatif de bilan des variations de la surface de la plage entre 2007 et 2017.....	86
Figure 6.1 : L'état actuel de la plage Est 2017.....	89
Figure 6.2 : Représentation des positions des traits de côte estimées pour le futur (2027, 2037).....	91
Figure 6.3 : Evolution de la plage estimée en 2027.....	92
Figure 6.4 : Evolution de la plage estimée en 2037.....	92

Figure 6.5 : Histogramme représentatif du bilan des variations de la surface de la plage estimées en 2027 et en 2037.....	93
Photo 6.1 : La mobilisation des sédiments fins par le vent vers l'arrière de la plage (Juin, 2017).....	94
Figure 6.6 : Plan d'aménagement de la plage	95

Liste des tableaux

Liste des tableaux :

Tableau2. 1 : Caractéristiques du bassin versant de l’oued Beni Messous (Dheewa, 2011 in Nadir, 2016).....	24
Tableau2. 2 : Fréquence saisonnière des vents au large par direction en pourcentage et par des classes des hauteurs significatives (SHFN, 2016 in Nadir, 2016).....	25
Tableau2. 3 : Amplitudes des houles en fonctions des directions et leurs périodes de retour (SSMO, 1963-1970 in Khaldi Nazim, 2015).....	29
Tableau 2. 4 : Répartition des états de mer par période (SSMO, 1963-1970 in Nadir, 2016)..	30
Tableau 3.1 : Surfaces de couvert végétal au tour de la zone pour la période (2007-2017).....	35
Tableau 4.1 : le classement des sédiments selon les valeurs de S_0	58
Tableau 4.2 : les caractéristiques de la houle au large (SSMO).....	67
Tableau (5.1) : tableau des différents outils de DSAS (Himmelstoss et al, 2009).....	79
Tableau (5.2) : le taux d’évolution de trait de côte entre 2007 et 2017 selon l’EPR	83
Tableau (5.3) : le taux d’évolution de trait de côte entre 2007 et 2017 selon l’EPR.....	85

Liste des Abréviations

Liste des Abréviations

°C : degré Celsius

µm : micromètre

D.H.I : le Danish Hydraulics Institute

Dh : La distance horizontale

E.N.E : Est-Nord-Est

FN : la hauteur du point visé.

GPS: The Global Positioning System.

H.D : Hydrodynamic Module

H.M.I : Hydro Marine Ingénierie

Hs : Hauteur significative

ht : la hauteur de la lunette

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

K.N.M.I : Institut météorologique royal Néerlandais.

KHz : Kilohertz

LCHF : Laboratoire Central de l'Hydraulique de France

LGA : laboratoire de géologie et d'aménagement de l'Enssmal.

M.N.T : Modèle Numérique de Terrain

M.A.W: Modified Atlantic Water.

M_z : Diamètre Moyen

O.N.M : Office National de Météorologique

R.N.E.O : Radio Navigation électronique Ocean

S.H.F.N : Service Hydrographique des Forces Navales

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

S.T : Send Transport Module

S.W: Spectral Wave Module

S₀ : Indice de classement

SK : Le coefficient d'asymétrie

Tp : Période

USTHB : University of Sciences and Technology HOUARI BOUMEDIENE.

V : Angle vertical

W.S.W : Ouest-Sud-Ouest

W.I.W : Winter Intermediate Water.

Z : altitude

Table des matières

Table des matières

Remerciements

Dédicace

Liste des figures et des photos

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction Générale 02

Chapitre 01 : Généralités

1-1 Le littoral et les types des plages05

1-1-1 Le littoral05

1-1-2 Les plages06

1-1-3 Les dunes et le rôle de la végétation08

1-2 La dynamique des plages08

1-2-1 l'hydrodynamisme marin08

1-2-2 L'action des agents aériens sur la géomorphologie12

1-2-3 La dynamique sédimentaire12

1-3 L'érosion côtière13

1-3-1 Le phénomène d'érosion13

1-3-2 Les causes et les conséquences d'érosion14

1-3-3 Le suivie de l'érosion côtière16

Chapitre 02 : Présentation de la zone d'étude

2-1 Cadre administratif et géographique19

2-1-1 La baie d'El Djamila19

2-1-2 La plage Est de Sidi Fredj20

2-2 Cadre géologique et géomorphologique21

2-2-1 Cadre géologique21

2-2-2 Cadre géomorphologique22

2-3 Cadre hydrologique et climatologique24

2-3-1 L'hydrologie24

2-3-2 Climatologie24

2-3-2-1 Étude des vents25

Table des matières

2-4 Cadre Océanographie	27
2-4-1 L'hydrodynamisme	27
2-4-2 La morphologie sous-marine (la baie d'El Djamila)	31

Chapitre 03 : Etude morphologique

3.1 Le couvert végétal	34
3.1.1 L'influence des dunes et de la végétation sur la plage	34
3-1-2 L'évolution du couvert végétal dans la zone d'étude	35
3-1-2-1 Méthode d'étude	35
3-1-2-2 Résultats	35
3-2 Etude topographique	38
3-2-1 La topographie de la plage aérienne	38
3-2-1.1 L'analyse topographique.....	39
3-2-2 Méthode d'extraction des données topographiques	39
3-2-3 Traitement numérique	39
3-2-4 Les variations saisonnières de profil	40
3-2-5 Étude des variations saisonnières du profil de la plage Est de Sidi Fredj	41
3-2-5.1 Matériel utilisé	41
3-2-6 Les mesures topographiques de la zone	43
3-2-7 Traitement numérique des levés topographiques	43
3-2-7-1 Le profilage de la plage aérienne	44
3-2-7-2 MNT model numérique de terrain	46
3.3 Etude topo-bathymétrique	48
3.3.1 Les outils pour réaliser l'étude bathymétrique	48
3.3.2 L'évolution de la bathymétrie de la plage Est entre 2015 et 2017	49
3.3.3 Résultats du traitement numérique des données acquises	50
3.4 Conclusion	52

Chapitre 04 : étude morphosédimentaire et morphodynamique

4-1 Etude morpho-sédimentaire	54
4-1-1 Prélèvement des sédiments	54

Table des matières

4-1-2 Analyse granulométrique	56
4-1-2-1 L'analyse au laboratoire	56
4-1-2-2 L'analyse numérique.....	57
4.1.2.2.1 La fraction fine	57
4.1.2.2.2 La fraction grossière	57
4.1.2.2.2.1 Les paramètres de position	57
4.1.2.2.2.2 Les indices granulométriques	57
4.1.3 Résultats	58
4.1.3.1 la fraction fine	58
4.1.3.2 la fraction Grossière	60
4.1.3.2.1 Les paramètres de positions	60
4.1.3.2.2 Les indices granulométriques	64
4.2 Etude morphodynamique	65
4.2.1 Modélisation numérique de la dynamique littorale	65
4.2.1.1 Les outils pour réaliser la modélisation numérique	65
4.2.2 Modélisation numérique de la dynamique littorale dans la plage Est	66
4.2.2.1 Echelle locale	66
4.2.2.2 Délimitation de la zone	66
4.2.2.2.1 Conditions aux limites	67
4.2.2.2.2 Calibration du modèle	67
4.2.3 Évolution de la morphodynamique de la plage Est entre 2015 et 2017	67
4.2.4 Résultats de la simulation hydrodynamique	67
4.2.4.1 La houle à la côte	68
4.2.4.2 Les courants	70
4.2.4.3 Transport sédimentaire	72
4.2.5 Conclusion	74
Chapitre 05 : étude d'évolution historique du trait de côte	
Introduction	76
5-1 A propos de trait de côte	76
5-1-1 Méthodes d'étude	76

Table des matières

5-1-2 Difficultés de représentation	76
5-2 Etude diachronique	77
5-2-1 les outils de l'étude diachronique	77
5-3 Evolution historique du trait de côte de la plage Est de Sidi Fredj	79
5-3-1 Cartographier le trait de côte	79
5-3-2 Représentation et analyse statistique d'évolution du trait de côte	80
5-3-3 Résultats des statistiques	81
5-3-4 Résultats de volet graphique	81
5-3-4-1 Mouvement net de rivage (NSM)	81
5-3-4-2 Le taux d'évolution de trait de côte entre 2007 et 2017 (EPR)	82
5-3-4-3 La régression linéaire de trait de côte entre 2007 et 2017 (LRR)	84
5-3-4-4 L'évolution de la plage entre 2007 et 2017	85
5-4 Conclusion	87
 Chapitre 06 : Estimation d'état futur et plan d'aménagement	
Introduction	89
6-1 Etat futur	89
6-1-1 L'état actuel	89
6-1-2 Prospection au futur	90
6-1-2-1 La position du trait de côte estimée	90
6-1-2-2 Evolution de la surface de la plage estimée	91
6-2 Plan d'aménagement	93
6-2-1 L'état de la plage	93
6-2-2 Les différentes méthodes d'aménagement littoral	93
6-2-3 Planification d'aménagement	94
6-3 Conclusion	95
Conclusion Générale	98
Bibliographie	100
Annexes	104

Introduction Générale

Introduction Générale

Les littoraux, milieux naturels mobiles sont soumis aux évolutions de trois composantes naturelles : lithosphère, hydrosphère (océanique et continentale) et atmosphère. S'y ajoutent les actions de l'homme direct ou indirect par les différentes activités anthropiques. **(Van Van Than, 2015)**.

Aujourd'hui, environ 70 % de la population mondiale vit à moins de 60 km des côtes et 80 % des côtes mondiales sont en érosion. De plus, les zones littorales représentent un enjeu économique majeur, de par la fréquentation touristique et la mondialisation des échanges commerciaux. Ces deux facteurs, environnemental et économique, révèlent à eux seuls toute l'importance de la zone littorale. **(Gouriou, 2007)**

Les pressions anthropiques sur ce patrimoine affecteront donc son équilibre, qui va devenir fragile et menacé par l'érosion, pour cela différentes actions peuvent être mise en œuvre afin de le protéger et le préserver.

Cette présente étude a été réalisé sur la plage Est de Sidi Fredj à l'ouest d'Alger, c'est une plage sableuse, très fréquentée, et fait partie d'une zone qui a connu différentes formes d'anthropisation, par l'installation du port de plaisance, des ouvrages de protection ainsi que l'occupation de l'espace côtier par l'urbanisation et des hôtels.

Pour connaître l'évolution de la plage, il est primordial d'avoir des données d'entrée nécessaire à la modélisation des segments du littoral. Les données de terrain de la zone côtière ancienne et présente, en tant que base pour une première étape, sont très importants pour évaluer et comprendre les caractéristiques des modifications du littoral. **(Van Van Than, 2015)**

Afin de mieux gérer les littoraux, il convient de comprendre leur fonctionnement et pour cela, les observer. Un suivi de la dynamique de la ligne de rivage, de la morphodynamique, de la morphologie, et de la morpho-sédimentaire permet en effet d'appréhender les rythmes d'évolution de la zone d'étude et de prévenir des situations à risque.

L'objectif de cette thématique « évaluation du risque d'érosion de la plage Est de Sidi Fredj », consiste à l'étude de l'évolution de la plage selon les différents processus et d'estimer son état en 2027 et 2073.

Cette étude s'ait appuyer sur six volets :

Le premier chapitre porte sur les notions générales, des connaissances théoriques sur la morphologie littorale et sa dynamique, ainsi les différents facteurs agissant sur son équilibre.

Introduction Générale

Le deuxième chapitre localise et décrit la zone d'étude par ses différentes caractéristiques géologiques, morphologiques, climatologiques, hydrologiques et océanographiques.

Le troisième chapitre renseigne sur la morphologie de la zone d'étude de l'arrière plage par l'analyse du couvert végétal, la plage aérienne par l'analyse topographique et à la plage sous-marine par l'étude de la bathymétrie.

Le quatrième chapitre consiste à étudier les caractéristiques sédimentaires et la modélisation hydrodynamique des houles, des courants et de transport sédimentaire.

Le cinquième chapitre est consacré à l'étude de la dynamique du trait de côte.

Le sixième chapitre porte sur l'état de la plage estimé au futur et son plan d'aménagement.

Généralités

1-1 Le littoral et les types des plages

1-1-1 Le littoral

❖ Définition

Le littoral est un milieu fragile, et est considéré comme un système complexe où se rencontre trois interfaces : la lithosphère, l'hydrosphère et l'atmosphère reliés par des interactions entre elles. L'influence continentale est manifestée par les paramètres de la structure géologique (la topographie, la lithologie,...), l'influence marine par l'hydrodynamisme (la houle, les vagues, les courants,...) et l'influence atmosphérique par les actions des agents et des processus d'érosion subaériens (les forces éoliennes, la température, la précipitation,...) ainsi que l'action anthropique avec différentes activités de la vie (l'occupation des sols, l'industrie, le tourisme,...). (MEEDDM, 2010)

➤ Littoral sableux

Le littoral sableux se caractérise par des accumulations des sédiments d'origine marine ou terrigène transportés par des agents tels que le vent, la houle. Ils se retrouvent dans les côtes basses et sont dynamiques et changeables dans le temps en fonction des conditions physiques, où ils peuvent avancer ou reculer, comme ils peuvent être stables (tout dépend des apports sédimentaires). (MEEDDM, 2010).

1-1-2 Les plages

❖ Définition

Les plages sont une forme littorale où l'accumulation l'emporte sur l'érosion. Elles sont généralement faites de sable fins à grossiers, relayés vers l'intérieur des terres par des dunes. (Mongi & Miossec, 2010).

❖ Morphologie

Le profil des plages constitue de trois parties :

➤ **Le haut de la plage**

Est souvent fait de petits bourrelets sableux édifiés par la mer et connus sous le nom de bermes ; leur présence témoigne d'une constante alimentation de la plage en sédiments. Des laisses de mer composées surtout de résidus animaux (tests et coquilles) et végétaux (algues et herbes marines) marquent souvent le haut de plage, d'où l'existence d'une ou plusieurs franges successives de couleur plus ou moins sombre.

Quand le haut de plage est bien développé, on parle de cordon littoral. Il s'agit dans ce cas d'une accumulation linéaire localement ébréchée et qui ourle le trait de côte. Le cordon littoral est fait principalement par la mer et secondairement par des apports éoliens et fluviaux. (Mongi & Miossec, 2010)

➤ **Le bas de plage**

Occupe la partie qui ne se découvre qu'au moment des marées basses. Tout comme l'avant-plage, il est parcouru par des sillons qui sont de petits couloirs (jusqu'à quelques mètres de profondeur et quelques dizaines de mètres de largeur) taillés dans les sables et par des barres qui sont de petits hauts fonds sableux. L'origine de ces formes est étroitement liée au déferlement des vagues. Le bas de plage est limité du côté externe par l'estran. En raison de sa pente légèrement convexe, il est parsemé de baches, c'est-à-dire de dépressions allongées souvent parallèles au trait de côte et qui demeurent remplies d'eau après le retrait de la pleine mer. L'estran est limité du côté interne par des croissants de plage qui sont de petites accumulations meubles et éphémères. Résultat du mouvement de va-et-vient de l'eau sur l'estran, les croissants de plage sont microrelief dont la convexité est tournée vers le haut de plage. (Mongi & Miossec, 2010)

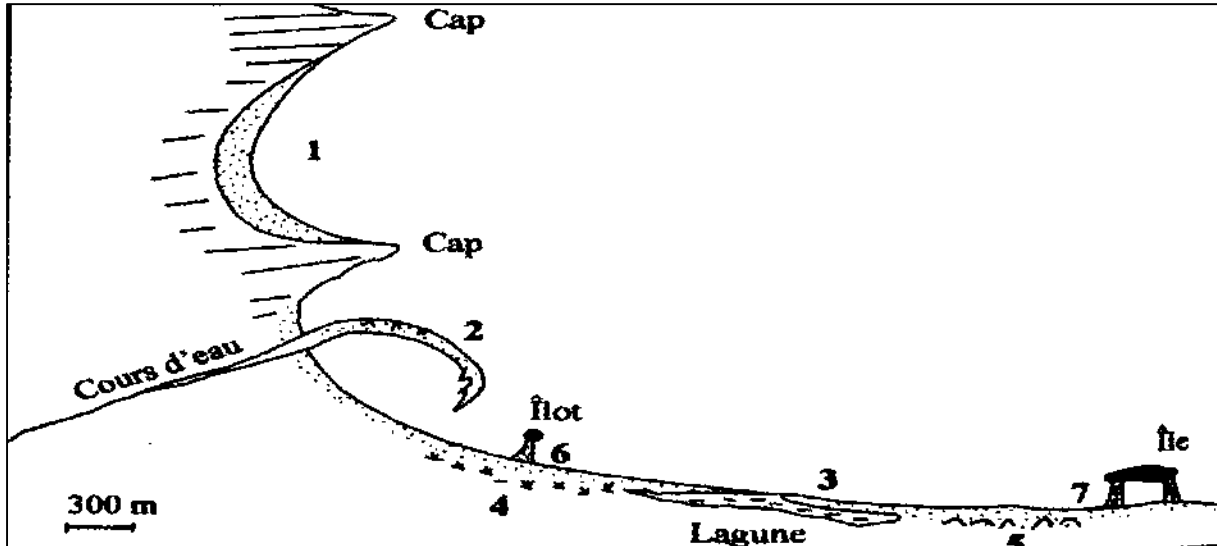
➤ **L'avant plage**

Ce qu'on appelle la plage sous-marine. Elle occupe l'avant-côte dont les sédiments constituent un stock pour la plage proprement dit. (Mongi & Miossec, 2010)

❖ Les Types des plages

Les plages se différencient par leurs formes et leurs allongements qui sont dépendants de la répartition sédimentaire et l'exposition à la houle ainsi qu'à propos de la dérive littorale.

(Fig.1.1).



1: plage de fond de baie; 2: flèche à pointe libre; 3: lido; 4: plage ouverte isolant un marais; 5: plage ouverte adossée à un champ de dunes; 6: tombolo simple; 7: tombolo double.

Figure 1.1 : Les différents types de plages (Mongi & Miossec, 2010)

1-1-3 Les dunes et le rôle de la végétation

Les plages peuvent être liées à l'arrière plage par des formes d'accumulation, en crêtes parallèles entre eux et entre le trait de côte et en perpendiculaire au sens dominants des vents, ce sont les dunes.

La dune n'est qu'un prolongement naturel de la plage : si l'estran est large et qu'en arrière se trouve une zone peu élevée, les vents de mer entraînent vers l'intérieur des terres les particules sableuses. Là, elles s'accumulent et la végétation s'y installe. Peu à peu se développe le couvert végétal qui constitue très vite un frein important au transfert des sables. (Etienne & al, 2012),

La présence de la végétation sur les côtes peut réduire les forces éoliennes et favorise la formation et la fixation des dunes. Au niveau de ces dernières, les particules fines transportées par le vent soit de l'arrière-pays soit du haut de la plage vont être déposées, en créant un stock

des matériaux. Alors les dunes présentent une réserve sédimentaire pour la plage alors elles jouent un rôle important pour l'équilibre du budget sédimentaire.

1-2 La dynamique des plages

1-2-1 l'hydrodynamisme marin

- **Les vagues**

Les vagues sont des ondes de surface affectant les eaux marines. Elles sont dues le plus souvent au vent. Les vagues sont un agent fondamental dans la dynamique et l'évolution des littoraux, car c'est leur action à l'approche de la côte et de leur énergie libérée que dépendent en grande partie l'importance de l'érosion dans un secteur littoral beaucoup plus que dans un autre. (Mongi & Miossec, 2010)

Les vagues ont des caractéristiques (longueur d'onde, hauteur, célérité, énergie) étroitement liées, d'une part, à la vitesse et la durée du vent local qui leur donne naissance et, d'autre part, à l'étendue du plan d'eau (course ou fetch) sur laquelle un vent souffle et exerce son action (Figure 1.2).

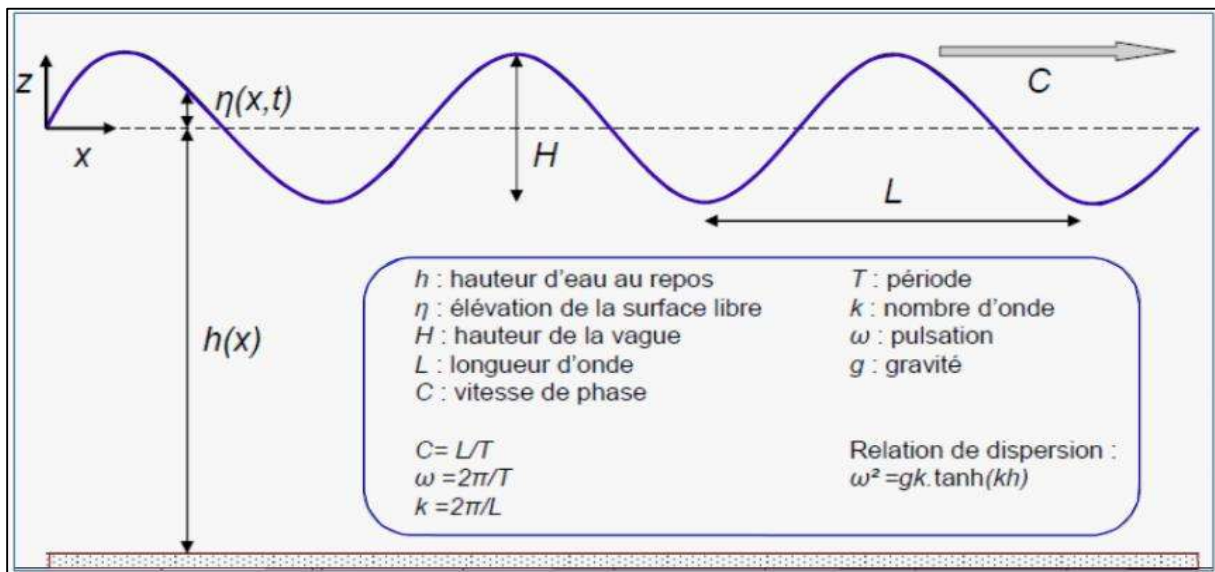


Figure 1.2 : Principales caractéristiques de la vague (Grasso Florent, 2009)

Au large, un mouvement ondulatoire et oscillatoire caractérise les vagues. En s'approchant de la côte, ces ondes de surface subissent des déformations : elles voient leur longueur diminuer du fait qu'elles subissent l'effet du fond marin, ce qui affecte à la fois leur vitesse et leur direction de propagation.

Sous l'effet de freinage dû au relèvement du fond marin à proximité du rivage, la crête de la vague se déplace plus vite que la base freinée par le fond, ce qui engendre le déferlement. Il existe trois types de déferlement déterminants la valeur de la pente du fond marin et l'angle d'incidence des vagues : glissant (pente faible et approche rectiligne), en volute ou plongeant (pente moyenne et approche oblique) et déversant (pente forte et approche oblique). Sous l'effet de l'impulsion du déferlement, une nappe d'eau prend naissance et monte sur le rivage, c'est le jet de rive. Celui-ci emmène vers la haute de plage des quantités de particules, puis est suivi par une nappe de retrait qui entraîne le retour de l'eau de déferlement à la mer.

- **Les courants marins proches de la côte**

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

- ❖ **Les courants de retour**

Ils sont la réplique de l'afflux de l'eau vers les rivages et ramènent cette eau à la mer après déferlement. On distingue deux grands types :

- **Les courants d'entraînement**

C'est un courant de compensation des eaux de déferlement qui n'intéresse que le fond puisqu'il agit au ras du sol, en faisant rouler les matériaux du fond marin ;

- **Les courants d'arrachement ou de déchirure**

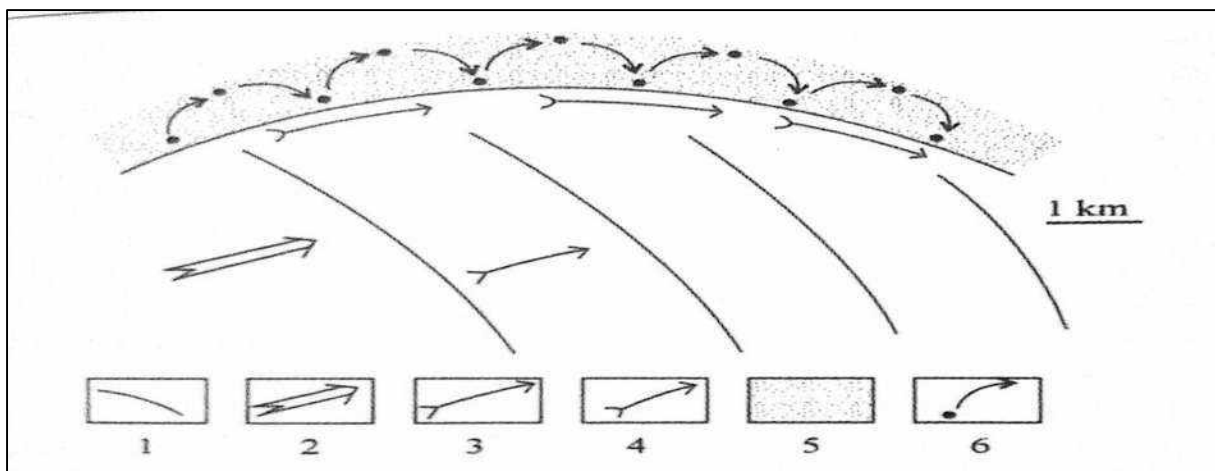
Il est le plus souvent perpendiculaire et parfois oblique au trait de côte et résulte du mouvement de retour vers le large des eaux de déferlement. Son champ d'action déterminé par un fond sous-marin en couloir qui concentre les eaux, peut atteindre une longueur de quelques centaines de mètres et une largeur de 15 à 30 m.

Ce courant intéresse toute la masse d'eau, il peut faire rouler les sédiments et donner naissance à des colonnes de turbidité. Son action géomorphologique efficace est responsable de la topographie sillonnée de l'avant-côte.

❖ **La dérive littorale :**

C'est un courant généré par la houle qui aborde le littoral avec un certain angle d'incidence (Souvent inférieure à 10°) obligeant le jet de rive et la nappe de retrait à se faire obliquement, c'est-à-dire dans le sens de la propagation. Le résultat est un déplacement parallèle au trait de côte des eaux littorales et, par-là, un transport latéral des sédiments par rapport au rivage (Figure 1.3).

La taille des grains transportés est fonction des conditions météorologiques dominantes et en particulier de la compétence du vent dont dépend en grande partie l'action géomorphologique de la dérive littorale. Ce courant par son déplacement latéral, peut contribuer à l'appauvrissement d'une côte et l'enrichissement d'une autre. Ceci fait que dans la plupart du temps, le phénomène d'érosion touche surtout les côtes basses et meubles et concerne des secteurs éloignés les uns des autres. La dérive littorale peut se faire dans une seule direction prédominante ou bien dans deux directions opposées qui peuvent varier selon les saisons, en rapport avec le changement de direction des vents dominants.



1 : crête des vagues ; 2 : vent dominant ; 3 : direction d'arrivée de la houle ; 4 : sens de la dérive littorale ;
5 : plage ; 6 : cheminement des drains de sable.

Fig1.3 : Le mécanisme de la dérive littorale le long d'une plage (Mongi & Miossec, 2010)

● **les courants de marée**

Comme leur nom l'indique, ces courants sont liés à la marée. Celle-ci est une oscillation globale de la mer qui s'exprime par un mouvement à la fois vertical, horizontal et aussi alternatif des eaux. Elle engendre des différences de niveau (hautes eaux et basses eaux) liées à l'attraction des astres les plus proches (la lune) et les plus volumineux (le soleil). Le courant qui porte vers la côte au mouvement de la marée montante est le courant de flot, ou flot ; le

courant qui porte vers le large au moment de la marée descendant est le courant de jusant, ou jusant. Parce qu'ils portent dans deux directions opposées, en dépit de leur vitesse qui peut dépasser quelques nœuds et malgré une différence parfois supérieure à 4 m entre le flot et le jusant, les courants de marée ne sont pas dotés d'un grand pouvoir érosif, même durant les périodes de vives eaux.

Ainsi, l'action des courants de marée sur la géomorphologie est peu perceptible, sauf dans les passages étroits tels que les détroits où ils creusent des chenaux et entraînent les débris mobiles loin vers l'avant-côte.

1-2-2 L'action des agents aériens sur la géomorphologie

➤ le vent

C'est l'un des agents les plus actifs sur les littoraux. Son efficacité est en fonction de sa fréquence, de sa vitesse, ou mieux encore, de sa violence et du degré de cohésion des grains de stock de sédiments éolisables mis à sa disposition. Le vent met en place les dunes. En absence d'obstacle topographique majeur à proximité des rivages, d'un couvert végétal considérable, les accumulations dunaires peuvent prendre des dimensions importantes. (Mongi & Miossec, 2010)

➤ les eaux de ruissellement et d'infiltration

Le ruissellement des eaux pluviales littorales est peu organisé. Mais sa vitesse d'écoulement due à la proximité du niveau de base le rend très efficace sur le plan géomorphologique. Le ruissellement ravine et apporte à la côte des quantités appréciables de sédiments. Quant aux eaux qui s'infiltrent, elles provoquent, dans le cas de roches plastiques (selon son comportement) et à pentes fortes, des glissements de terrain et des décollements, d'autant plus que le couvert végétal est généralement peu dense et couvre mal le sol. Dans les roches calcaires, sous l'effet de la dissolution, les eaux d'infiltration provoquent la naissance de cavités et de galeries qui fragilisent davantage.

1-2-3 La dynamique sédimentaire

❖ La nature et l'origine des sédiments

Les sédiments dont l'origine est terrigène proviennent de l'altération des roches, ou biogène formés par les restes des organismes. Ce sont de nature très variée selon les roches dont ils dérivent et sont dominés par des silicates, surtout le quartz pour les fractions grossières, et les minéraux argileux et les carbonates d'origine biogénique.

Le spectre granulométrique est très étendu, depuis les fines poussières jusqu'aux gigantesques blocs, et les sédiments ont des formes très variées : ils sont curviformes, allongés, aplatis ou en feuillets mais rarement sphériques. (**Chauchat, 2006**).

❖ Mode de transport sédimentaire

Les différents modes de transport sédimentaire

- Le transport par roulement ou charriage concerne les grains de la couche superficielle des sédiments non-cohésifs qui roulent sur le fond dans le sens de l'écoulement jusqu'à trouver une nouvelle position d'équilibre. Ce mode de transport se produit essentiellement lorsque la contrainte de frottement est proche de la contrainte critique de mouvement. (**Chauchat, 2006**)

- Le transport par saltation apparaît lorsque le seuil de mouvement est dépassé l'impulsion fournie par le fluide fait sauter les particules au-dessus du fond suivant une trajectoire balistique. (**Chauchat, 2006**)

- Le transport en suspension se produit lorsque l'écoulement est suffisamment fort pour maintenir en suspension les particules sans que celles-ci ne se redéposent. Les particules concernées par ce mode de transport sont les sables, les silts et les argiles. La taille et le poids des particules transportées sont en relation directe avec l'intensité de l'écoulement. (**Chauchat, 2006**).

1-3 l'érosion côtière

1-3-1 Le phénomène d'érosion

➤ L'aléa d'érosion : l'érosion est un phénomène naturel, généré par des mécanismes physiques qui agissent sur le système littoral, où il peut y avoir une perte des espace côtier et un gain de l'autre côté.

➤ Le risque d'érosion : par l'action anthropique avec différents activités sur le littoral peut rendre le phénomène un risque côtier.

Une enquête internationale a montré que sur 70 % des plages du monde sont aujourd'hui en cours d'érosion ; sur 20 % elles sont stables et sur 10 % seulement il y a progradation. (Clus-Auby, 2003)

Les côtes sont dynamiques à l'échelle spatio-temporelle, elles peuvent avancée ou reculée selon les conditions hydrodynamiques et sédimentaires qui agissent sur l'apport et le part des matériaux ou bien être stable quand l'équilibre sédimentaire est préservé les plages sont menacées par le risque de la disparition par le déficit en sédiment.

L'érosion actuelle des plages témoigne de l'inversion de la tendance évolutive qui leur a donné naissance. La remontée de la mer a d'abord mobilisé le stock sableux de la plateforme littoral, puis a disposé de celui établi sur le littoral proprement dit. Les plages et les dunes qui les bordent sont les témoins de cette accumulation. Mais ce « capital sédimentaire » est aujourd'hui consommé et ne se reconstitue plus. On assiste donc à un renversement de tendance conduisant à l'érosion des côtes. (Clus-Auby, 2003)

1-3-2 Les causes et les conséquences d'érosion

❖ les causes

○ Naturelles

➤ La pénurie sédimentaire :

La dernière époque glaciaire fait élever le niveau marin de 120 à 130 m, cette grande variation a provoqué des actions agressifs d'arrachements des matériaux ainsi que le déséquilibre qui a touché les réseaux hydrographiques qui alimentent les côtes alors les littoraux ont une carence en sédiments.

➤ L'élévation contemporaine du niveau de la mer :

Depuis la fin du dix-neuvième siècle, la température moyenne du globe a augmenté de 0.5°C , ceci est le facteur principal de la fonte des grands glaciers continentaux par conséquent l'élévation du niveau de la mer qui va causer le démaigrissement et le recul des côtes.

Selon le principe de Bruun, l'élévation du niveau de la mer modifie le profil de la plage par l'arrachement des matériaux de la plage et leurs accumulations sur l'avant plage (Figure1.4).

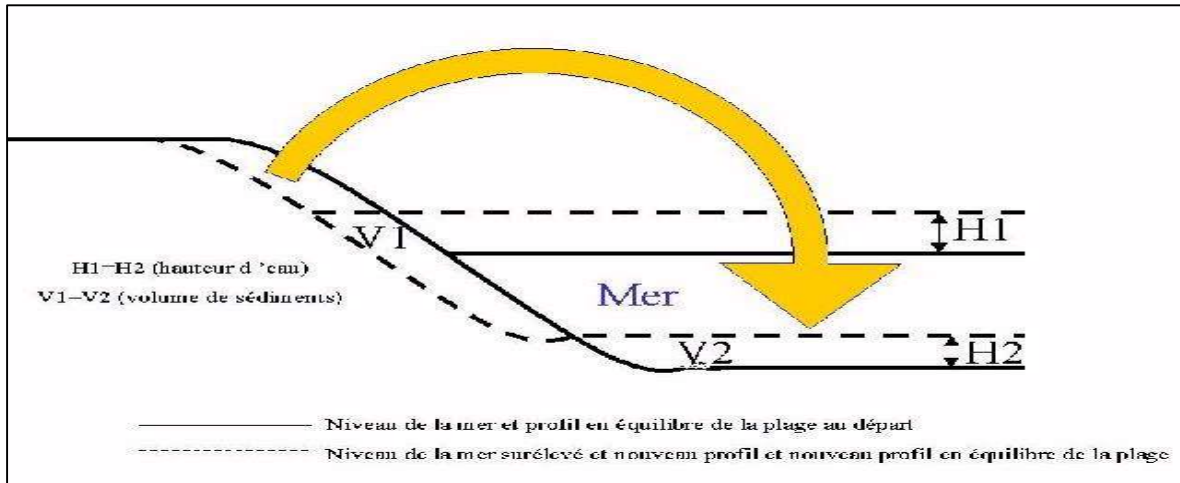


Figure1.4 : illustration du principe de Bruun (Paskoff, 1998)

➤ Les tempêtes

Les côtes peuvent être attaquées par des fortes et violentes tempêtes qui vont arracher agressivement la côte et entraîner les sédiments vers le large.

➤ Le vent

La force éolienne est un facteur de transport sédimentaire alors le fort vent peut être l'origine du part des sédiments ça dépend l'intensité, les caractéristiques des particules et ainsi la présence ou l'absence de la végétation qui est un élément important de réduction de ce phénomène et le piégeage des sédiments.

➤ La tectonique des plaques

Les mouvements des plaques tectoniques subissent des modifications sur la structure géologique ainsi que la géomorphologie sous-marine alors il y aura des changements verticaux ou horizontaux de la structure ce qui joue sur l'action de la mer sur la côte.

➤ L'hydrodynamisme marin :

L'attaque de la mer par ses actions physiques comme les vagues et les courants qui vont éroder les côtes en entraînant les matériaux vers le large peut créer un déficit sédimentaire et alors il y aura un avancement de la mer sur la terre.

○ **Anthropiques :**

- La réduction des apports solides des cours d'eau.
- L'urbanisation du littoral sous forme de constructions.
- La construction des ouvrages portuaires.
- La mauvaise conception des ouvrages de défense.
- La dégradation des herbiers de phanérogames marines (Posidonies et Cymodocées).
- L'extraction de réserves souterraines en eau douce.
- La sur-fréquentation sur le littoral.

❖ **Les conséquences**

- Disparition des plages
- Erosion et recul des falaises
- Dégradation de la côte peut être un risque sur les habitations en front de mer
- Altérations des routes et les chemins sur la bande littorale

1-3-3 Le suivie de l'érosion côtière

❖ **Le Trait de côte**

Le trait de côte est par définition la ligne d'intersection de la surface topographique avec le niveau des hautes mers astronomiques et par extension, la limite entre la mer et la terre. Dans un objectif de gestion du littoral, il est nécessaire de connaître l'évolution du trait de côte (avancées, reculs ou stabilité) en fonction des échelles temporelles associées (saisonniers, annuelles). Pour analyser ces changements, une définition du « trait de côte » doit être donnée de manière à prendre en compte les différentes configurations géomorphologiques des littoraux ainsi que les notions d'évolution temporelle relatives.

Il existe plusieurs types d'indicateurs pour déterminer les traits de côte (altimétriques, hydrodynamiques, géomorphologiques et botaniques). Le choix des indicateurs de trait de côte est fait selon la nature de lieu et les outils utilisés pour faire son levé. Les indicateurs de type

hydrodynamique instantané peuvent être utilisés sur les rivages en contexte microtidal comme la limite instantanée du jet-de-rive. (C.Mallet & al, 2012)

❖ **Le profil de la plage :**

L'évolution du profil moyen peut expliquer le comportement global de la plage sur plusieurs kilomètres le long de la côte.

Le profil de la plage détermine par la topographie concernant la plage aérienne et la bathymétrie pour la plage sous-marine ; il se diffère d'une à une autre selon l'état sédimentaire et les forces mises en jeux, la plage se caractérise par une pente qui peut être douce quand la composition sédimentaire de la plage est fine ou accentuée si les sédiments sont grossiers.

❖ **Le budget Sédimentaire**

Les actions conjuguées de la mer et du vent ont pour effet de déplacer les sables et donc de modifier la morphologie du littoral. Ce transport peut se faire transversalement ou longitudinalement (dérive littorale) à la côte.

La forme de la côte et la dynamique des sédiments permettent d'identifier des cellules sédimentaires, portions de côte homogènes du point de vue de ces deux éléments et donc bien sûr étrangères à toute structure administrative. Il existe une forte interdépendance entre les processus d'une même cellule (érosion/accrétion...). Chaque cellule se situe dans un cadre composé du bassin versant, de la côte et de l'avant côte. (Aubie, Mallet, & Favennec, 2011)

L'équilibre sédimentaire des plages dépend des entrées et des sorties de sédiments. Si les entrées sont supérieures aux sorties, les plages s'engraissent (croissent) et ont une faculté de protection contre la mer bien plus importante. Dans le cas contraire, l'érosion des plages peut être très rapide et rendre la zone côtière vulnérable aux franchissements par la mer.

Le budget sédimentaire correspond donc à la quantification des stocks de matériaux en présence auxquels on ajoute les apports (arrivée longitudinale par dérive littorale, ou transversale, notamment de sédiments en provenance des petits fonds, de l'érosion du continent, des apports fluviaux ou, arrivée par recharge anthropique), et on retranche les sorties (départ longitudinal par dérive littorale, ou transversal, notamment vers les petits fonds, les dunes littorales et les estuaires ou départ dû aux extractions effectuées par l'homme). (Figure 1.5)

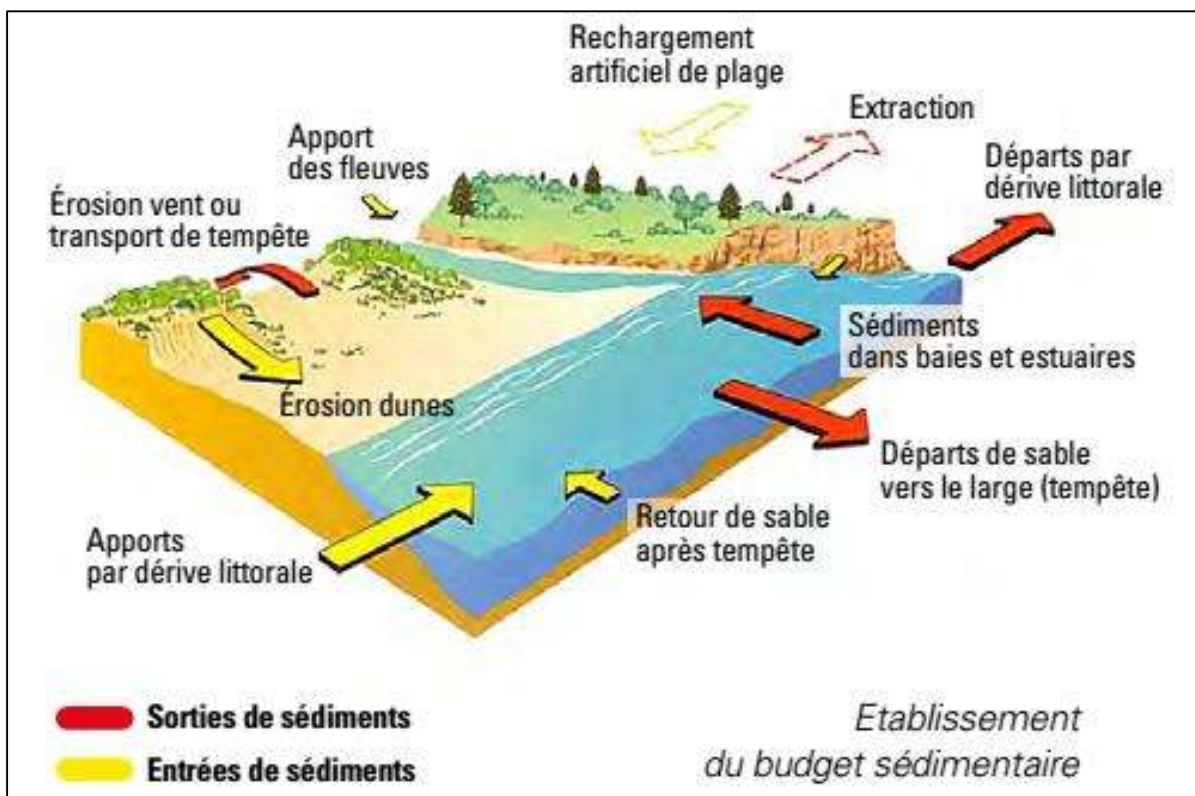


Figure 1.5 : Etablissement du budget sédimentaire (O Bain & S Costa, 2016).

*Présentation de la zone
d'étude*

2-1 Cadre administratif et géographique

2-1-1 La baie d'El Djamila

Notre étude se concerne la plage Est de Sidi Fredj, qui se localise dans le littoral algérien centre, elle se trouve dans la baie d'El Djamila qui fait partie de la grande baie de Bou Ismail, à environ une vingtaine de kilomètres de l'ouest d'Alger avec un linéaire côtier de 6 km, elle est délimitée à l'Est par Ras Acarta et à l'ouest par la presqu'île de Sidi Fredj. (Figure 2.1).

Ses coordonnées géographiques sont les suivants :

- Port de Sidi Fredj : latitude $36^{\circ}45'51.12''\text{N}$ et longitude $2^{\circ}50'48.86''\text{E}$
- Ras Acarta : latitude $36^{\circ}48'15.02''\text{N}$ et longitude $2^{\circ}53'43.09''\text{E}$

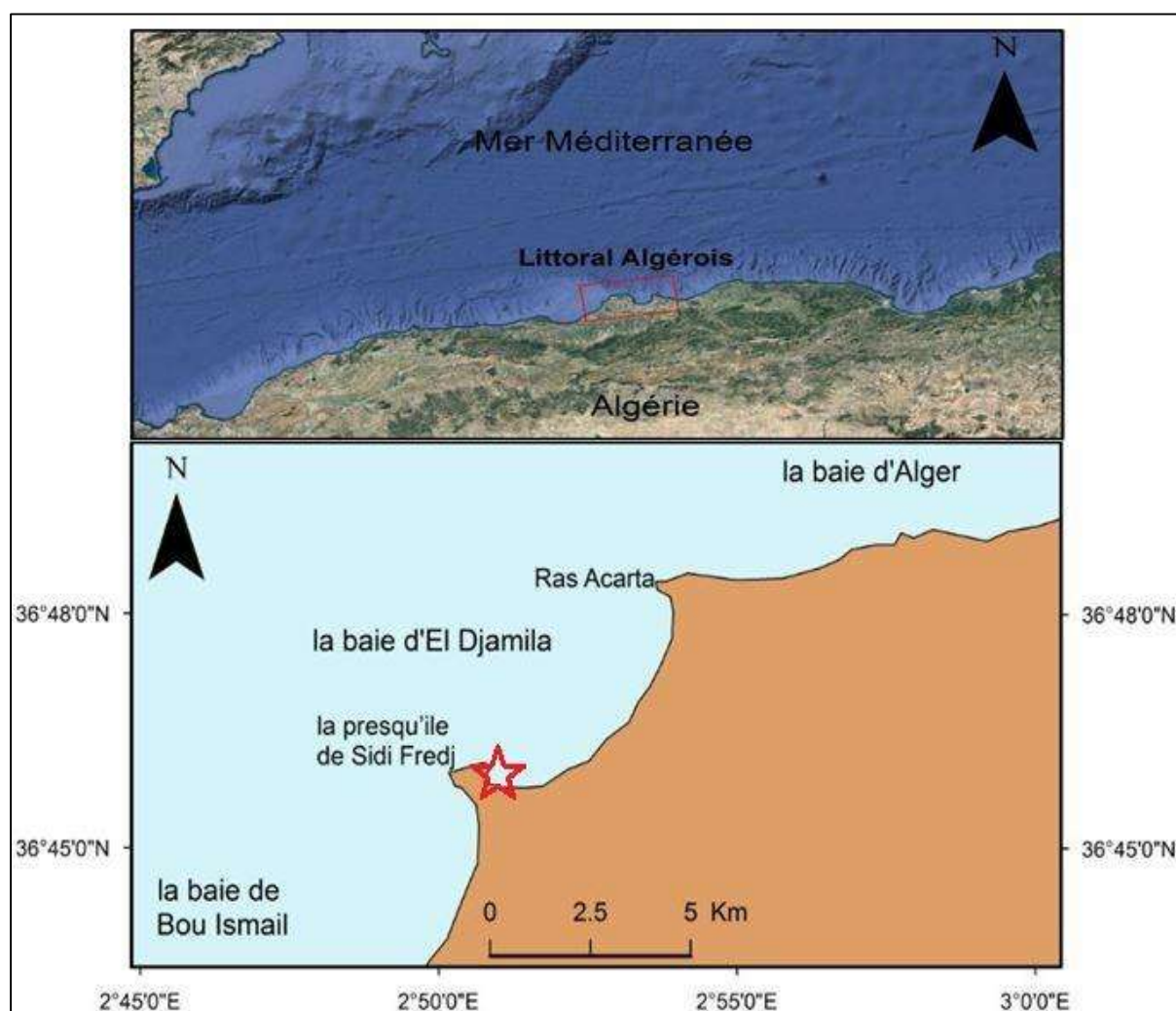


Figure 2. 1 : Situation géographique de La Baie d'El Djamila (Belkherroubi & Belguerguid, 2017)

2-1-2 La plage Est de Sidi Fredj

La presqu'île de Sidi Fredj s'étend sur un kilomètre au bord de la mer, orientée vers le Nord-Ouest, c'est la limite Ouest de la baie d'El Djamilia. De point de vue administratif, elle appartient à la commune de Staouéli, La Daïra de Zeralda et La Wilaya d'Alger. (Figure 2.2)

C'est un promontoire rocheux en saillie par rapport aux côtes sableuses limitrophes caractérisées par deux pointes :

- La pointe de Marabout à l'Est où se situe le port de plaisance de Sidi Fredj.
- La pointe de St Janvier à l'Ouest à la limite de la baie d'El Djamilia.

La plage Est de Sidi-Fredj qui fait l'objet de ce travail, se localise dans la partie orientale de la presqu'île de Sidi Fredj. Ce périmètre s'étend du port de plaisance de Sidi Fredj jusqu'à la plage d'El Riadh sur une distance d'environ 400 m et vers le large jusqu'à une profondeur de 20 à 30 m.

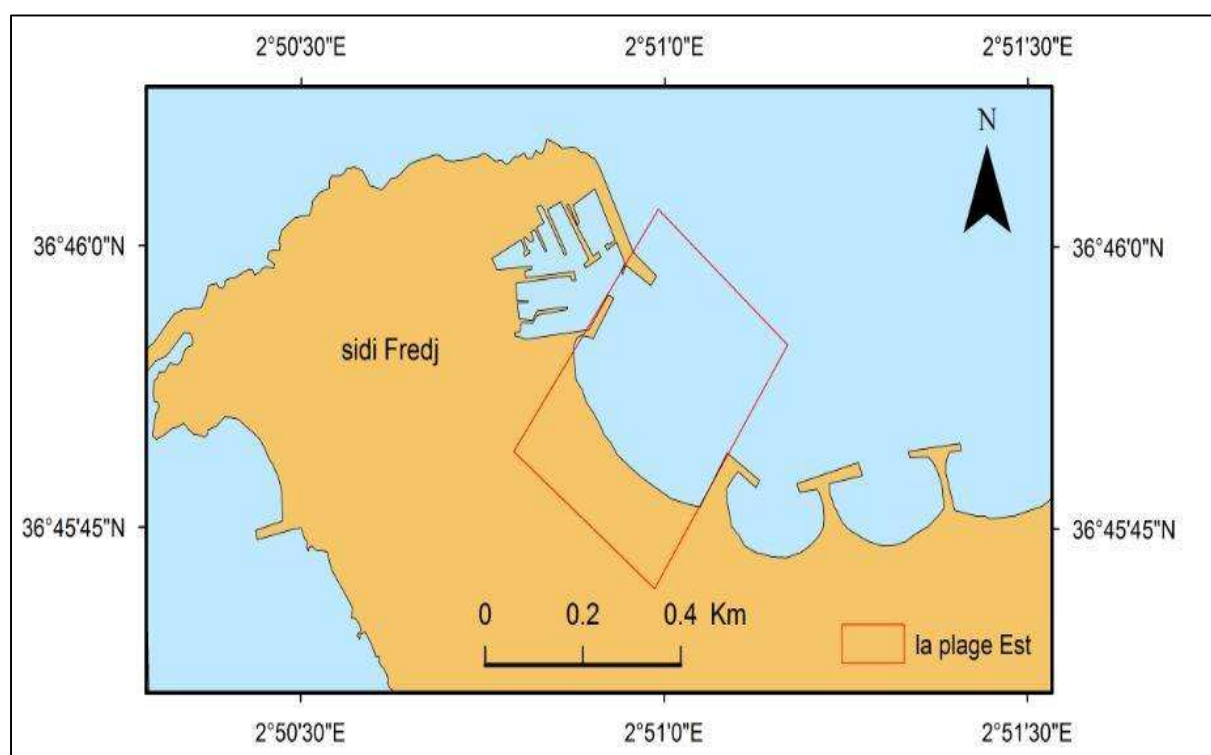


Figure 2. 2 : Situation géographique de la zone d'étude la plage Est de Sidi Fredj (Belkherroubi & Belguerguid, 2017)

2-2 Cadre géologique et géomorphologique

2-2-1 Cadre géologique

Le littoral de la baie d'El Djamila est caractérisé par une importante accumulation sableuse, et de nombreux bands rocheux affleurent au niveau de l'estran et se poursuivent sous l'eau. Au niveau de la plage El Djamila, un platier rocheux parallèle au trait de côte se rencontre à une distance de 150 à 200 m de la ligne du niveau moyen des mers. (Boutiba, 1996)

Le substratum métamorphique de la presqu'île de Sidi Fredj est constitué de gneiss largement fissurés et diaclases.

Le promontoire rocheux est constitué de quatre types gneiss œillets identifiés par l'étude pétrographique (Figure 2. 3)

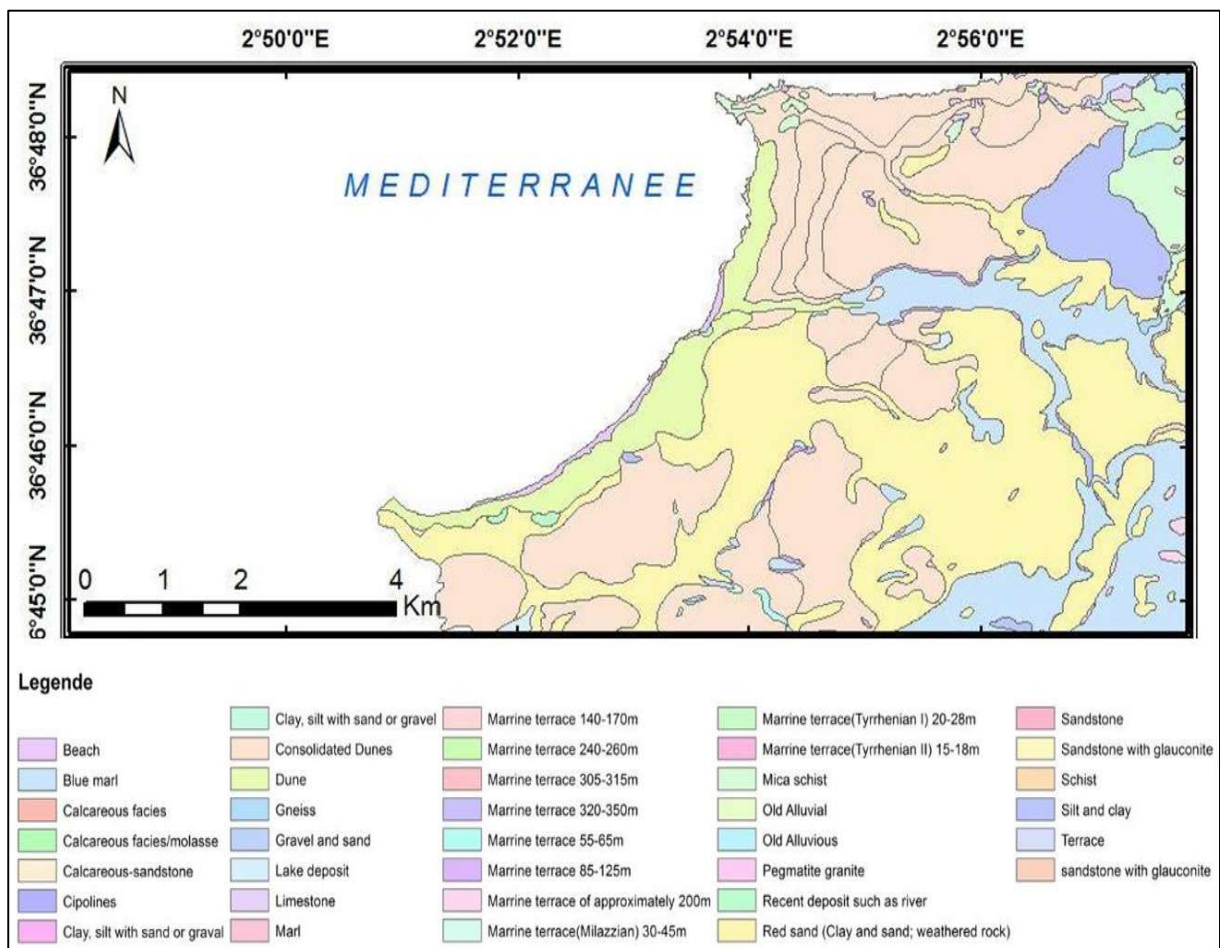


Figure 2. 3 : Carte géologique de la baie d'El Djamila (INCT, 1998 modifiée par ArcGIS)

2-2-2 Cadre géomorphologique

➤ Sédimentologie

D'après Leclaire (1970), sur la pente continentale algérienne se déposent essentiellement des boues fines, sédiment détritique à texture dans l'ensemble homogène qui contient peu de matière d'origine pélagique. En pied de pente, les dépôts deviennent plus grossiers, hétérogènes et de nombreux espaces sableux sont observés. (Dan, 2007)

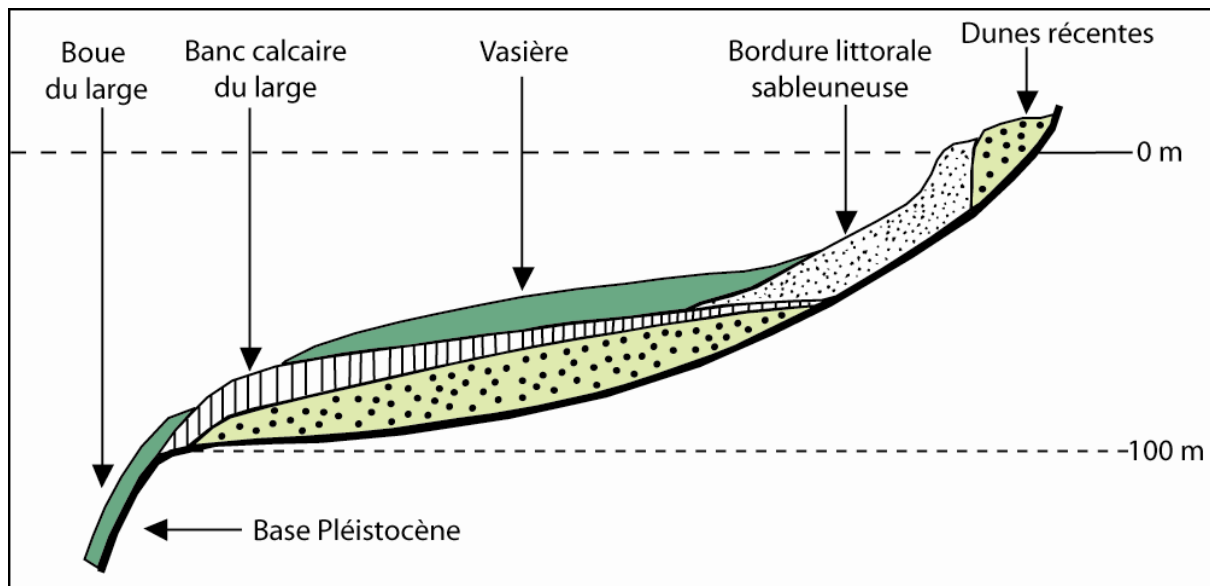


Figure 2. 4 : Schéma montrant la répartition des sédiments sur le plateau continental algérien (Dan, 2007)

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

Chapitre 2 : Présentation de la zone d'étude

La carte sédimentologique peut nous renseigner sur la morphologie sédimentaire de notre zone. Figure 2. 5.

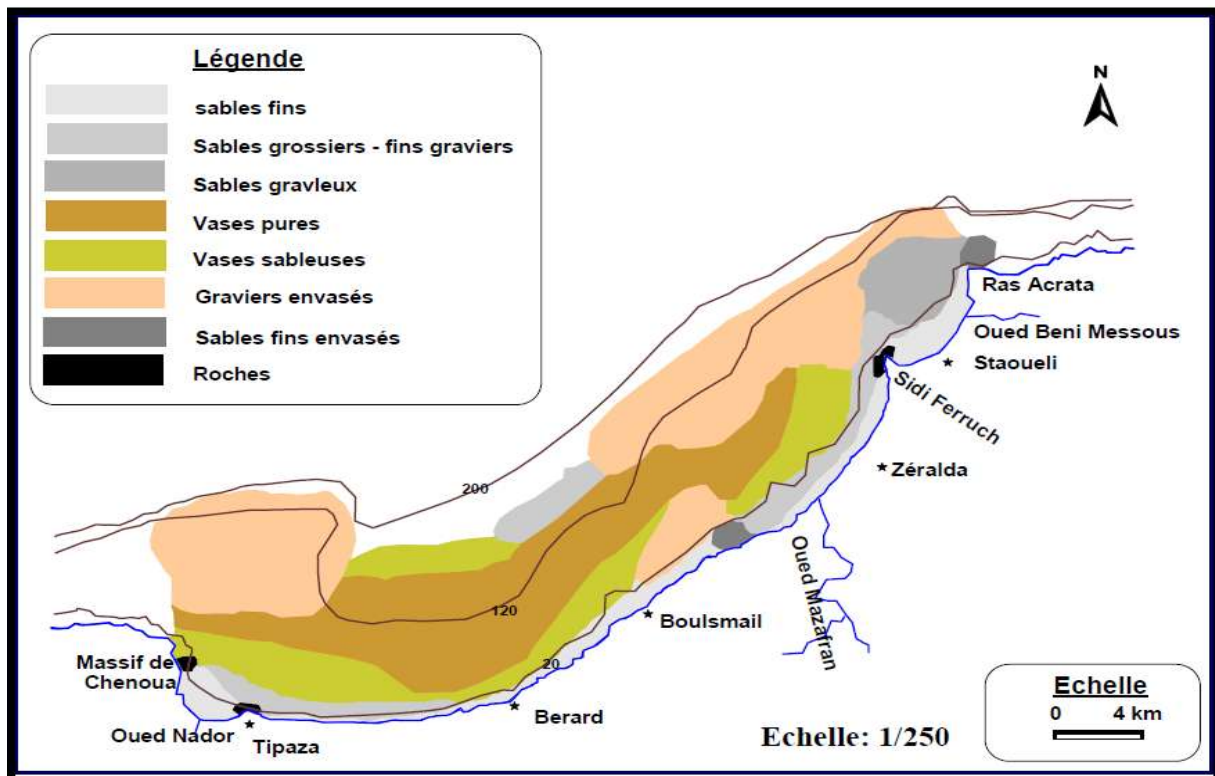


Figure 2. 5 : La carte sédimentologique de la baie de Bou Ismail et la baie d'El Djamilia (Grimes, 2003 in Khaldi 2015)

➤ Morphologie côtière

La baie d'El Djamilia est une côte d'accumulation, est bordée par un cordon dunaire et des plages sableuses plus ou moins importantes.

- Les dunes

A l'arrière-pays de la plage Est, il existé un cordon dunaire, il ne reste que des traces de ces dunes qui ont disparus avec la destruction de la petite forêt, cette dernière a été complètement rasée.

- Les plages

Il existe des plages plus ou moins importantes avec une granulométrie fine, comme la Plage Est, c'est une plage à sable fin, elle se caractérise par une faible pente de la plage aérienne vers la plage sous-marine, ce qui montre la faible bathymétrie de notre zone. (Belkacemi, 2015)

2-3 Cadre hydrologique et climatologique

2-3-1 L'hydrologie

La baie d'El Djamilia est alimentée par Oued Beni Messous. Qui prend sources du massif de Bouzaréah ; avec un impact plus important sur la zone, il regroupe l'oued Defla et l'oued Bainem. Son embouchure se trouve à la plage d'El Bahdja, et son débit est faible, estimé à 7.7 millions m³/an (0.245 m³/s) (Dheewa, 2011 in Nadir, 2016). (Figure 2. 6)

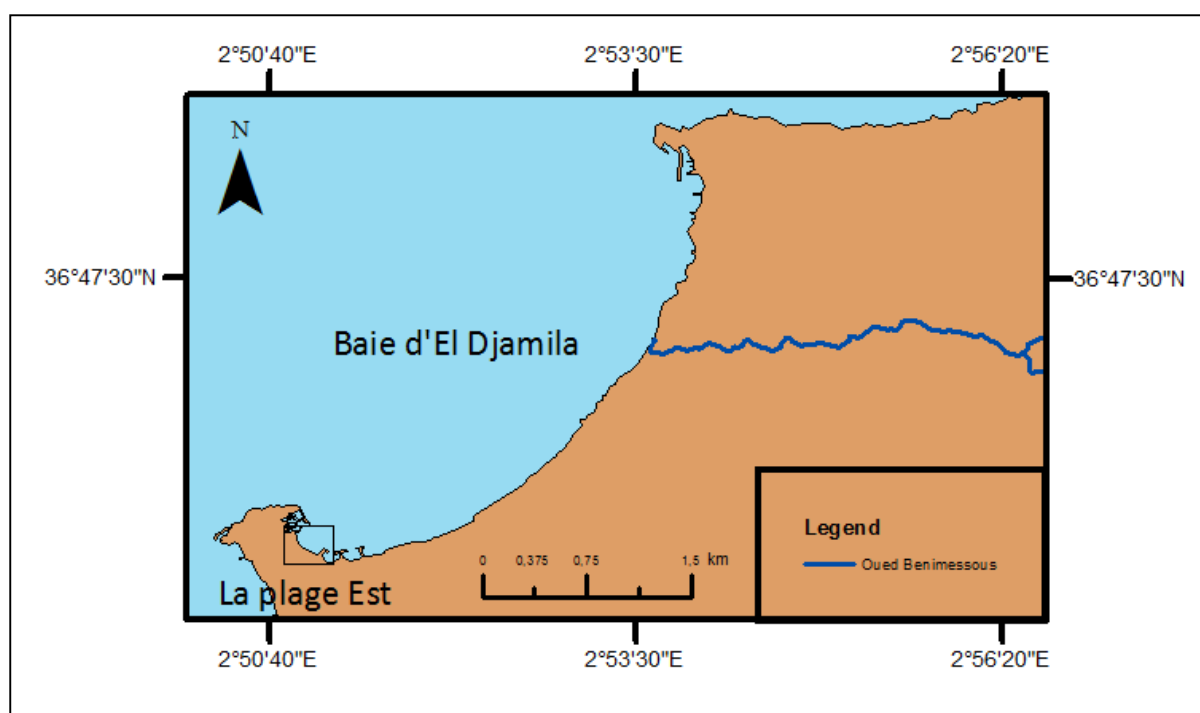


Figure 2. 6 : Réseau hydrographique de la Baie d'El Djamilia (Belkherroubi & Belguerguid, 2017)

Tableau2. 1 : Caractéristiques du bassin versant de l'oued Beni Messous (Dheewa, 2011 in Nadir, 2016).

Surface de bassin versant (Km ²)	Longueur (Km)	Pente (%)	Altitude			Perméabilité	
			Min	Max	Perméable	Semi-perméable	Imperméable
33	11.50	3	00	360	21.2%	33.3%	45.5%

2-3-2 Climatologie

L'étude de climat sert à comprendre le régime d'hydrodynamisme qui a un effet sur la morphologie côtière. Les données de climat local sont fournies par O.N.M (Station : Alger Dar-El-Beida, Altitude : 25m, Latitude : 36°41 N, Longitude : 03°13 E) Observations allant de 1995 jusqu'à 2015.

Le littoral de Sidi Fredj est caractérisé par un climat méditerranéen (relativement froid et humide en hiver, chaud en été). Les températures hivernales varient entre 8 et 15°C. Les températures grimpent à 25°C au mois de Mai pour atteindre une moyenne de 28°C à 30°C en Juillet et Août.

2-3-2-1 Étude des vents

➤ Au large

La côte est soumise à une forte intensité de vent par rapport à l'intérieur, ceci grâce à l'absence d'obstacle, ces vents sont des générateurs des vagues et des courants ainsi des houles, ces derniers ont un effet sur la morphologie côtière.

Tableau2. 2 : Fréquence saisonnière des vents au large par direction en pourcentage et par des classes des hauteurs significatives (SHFN, 2016 in Nadir, 2016)

Période saisonnière	Secteur du vent	Direction dominante	Fréquence D'apparition	Classes des vitesses (m/s) et leurs pourcentages		
				8,74	8,74-16,97	16,97
Période hivernale	Nord-Ouest à Sud-Ouest	Ouest	60 à 80 %	55%	40%	05%
Période estivale	Nord-Est à Nord	Est-Nord-Est	45 à 75 %	74%	25%	01%

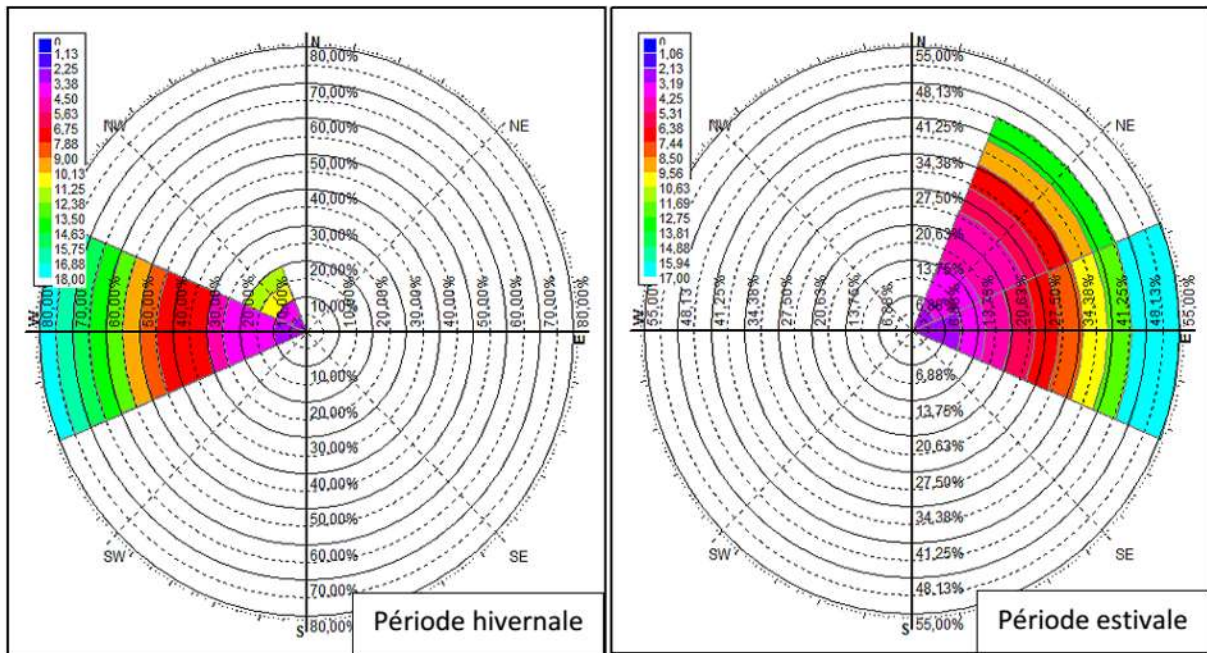


Figure 2. 7 : Roses récapitulatives saisonnières des fréquences d'apparition du vent au large en fonction de leurs vitesses faites par le logiciel HYDROGNOM. (Nadir, 2016).

➤ **Données locales**

Les mesures issues de la station de Dar El Beida indiquent que les vents soufflent 57% du temps dans la région. Cependant, les plus importants d'entre eux, de secteur Sud-ouest, ne soufflent que pendant 5 % du temps. (Voir Annexe 01).

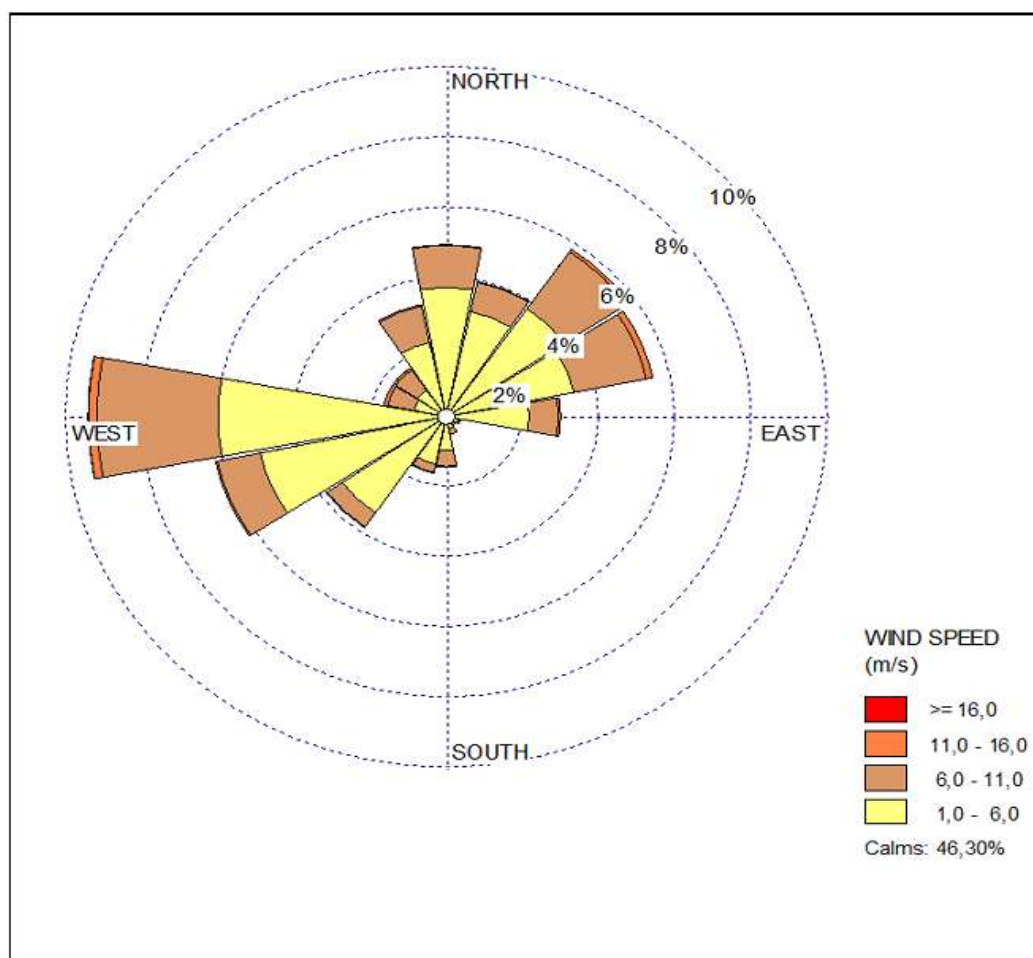


Figure 2. 8 : Répartition annuelle des vents en % (ONM, Dar-El-Beida, 1995-2015 in (Nadir, 2016)).

2-4 Cadre Océanographie

2-4-1 L'hydrodynamisme

➤ Les houles

Le littoral algérois est soumis à un régime de houles dominantes de directions Nord-Ouest et Nord en Hiver et de direction Nord-Est en été. Ces houles génèrent des courants particulièrement actifs du point de vue érosion. (P.G.Marions & all, 1997)

La côte Algéroise est soumise sous des perturbations d'Ouest, Nord-Ouest, elle subit principalement les influences des perturbations méditerranéennes (Baléares et Golfe de Gènes). (Nadir, 2016)

Les houles incidentes à notre zone sont des différentes directions (Ouest, Nord-Ouest, Nord, Nord-Est) avec la dominance de certains par rapport aux autres et avec des différentes intensités entre la période hivernale et estivale.

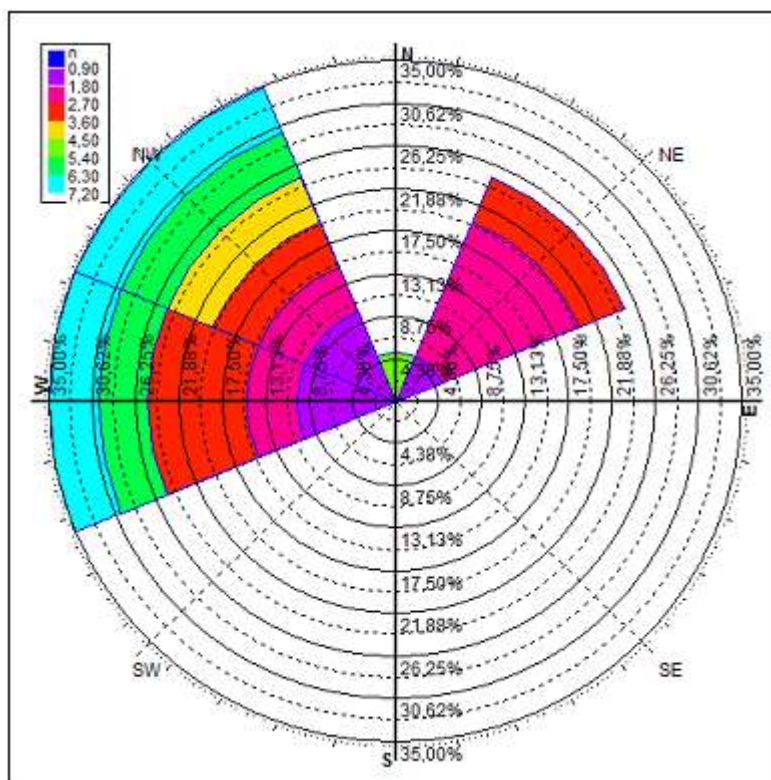


Figure 2. 9 : Rose récapitulative de direction des houles au large du secteur (270°-45°) faite par le logiciel HYDROGNOM. (Nadir, 2016)

Le régime général des houles est lié à celui des vents qui les génèrent. Du fait de son orientation, la côte algéroise est exposée durant toute l'année aux houles provenant principalement du secteur E.N.E à W.S.W. Les houles les plus fréquentes sont celles qui proviennent de l'Ouest et du Nord-Ouest.

Chapitre 2 : Présentation de la zone d'étude

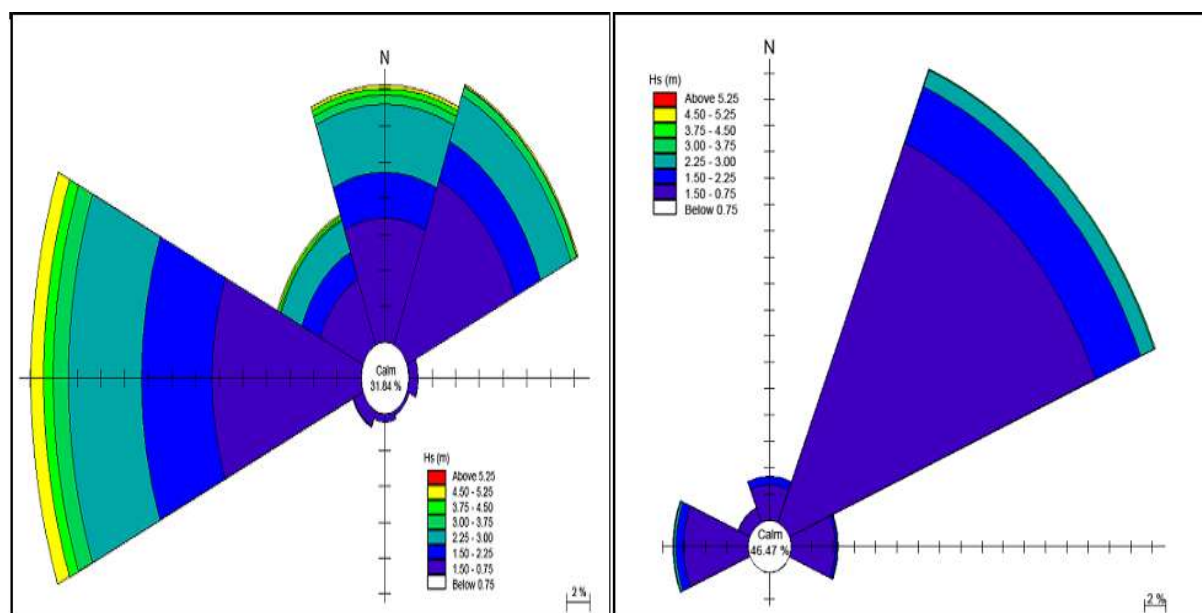


Figure 2. 10 : Rose des vagues au large de la côte Algérienne Hiver – été (HMI, 2011 in Nadir, 2016))

La Figure 2. 10 montre la direction et l'intensité des vagues au large de la côte Algérienne, qui sont différentes entre l'Hiver et l'été.

Période hivernale : la dominance des houles de direction Ouest avec une amplitude entre 1m et 4m, elles peuvent atteindre 5m en créant des courants de retour alors l'arrachement des sédiments et leurs déplacement vers le large.

Période Estivale : la dominance des houles de direction Nord-Est avec des amplitudes variées de 1 m à 3m, il existe aussi des houles de direction Ouest de 1 m à 3m qui sont la source de la dérive littorale.

Tableau2. 3 : Amplitudes des houles en fonctions des directions et leurs périodes de retour (SSMO, 1963-1970 in Khaldi Nazim, 2015).

Direction	Période de retour (m)					
	Biennale	Quinquennale	Décennale	Vingtennale	Cinquantennale	Centennale
N	4.90	5.75	6.38	7.02	7.87	8.50
NE	4.93	5.67	6.23	6.79	7.53	8.08
E	4.12	4.70	5.14	5.59	6.17	6.62
O	7.63	8.43	9.22	10.02	11.08	11.88
NO	4.16	4.87	5.40	5.94	6.65	7.18

D'après le tableau (2.3) les houles de direction Ouest sont les plus intenses (jusqu'à 11.88m par rapport aux périodes centennales), par contre les houles de direction Est sont les plus faibles (du 6.62m au maximum)

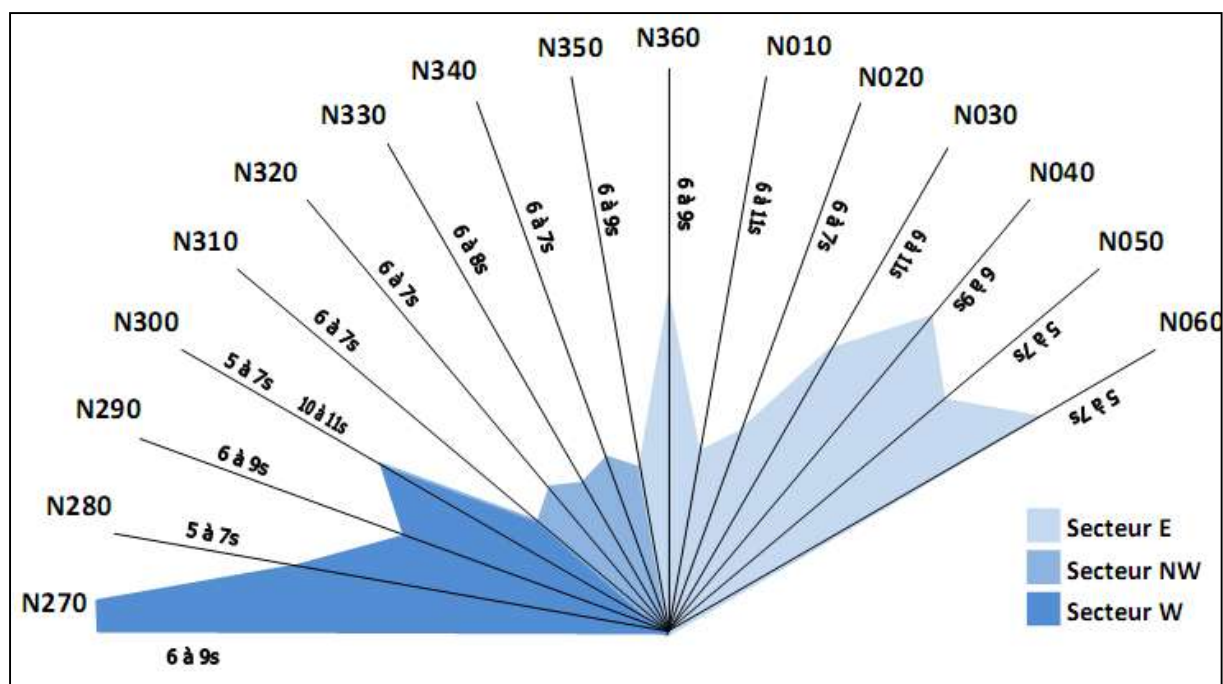


Figure 2. 11 : Répartition des énergies des houles en fonction de la direction et des périodes les plus courantes. **Source** : K.N.M.I (Zemenzer, 2004)

Tableau 2. 4 : Répartition des états de mer par période (SSMO, 1963-1970 in Nadir, 2016).

Etat de la mer	Période des vagues					
	<6s	6-7s	8-9s	10-11s	11-12s	13s
Calme	5.2	0.1	-	-	-	-
0	20.8	1.9	0.4	-	-	-
1	24.6	13.1	2.7	0.5	0.2	-
2	2.6	5.4	3.1	0.9	0.2	-
3	0.4	1.1	1.00	0.6	0.2	-
4	0.1	0.5	0.3	0.3	0.3	-
Total (%)	53.7	22.1	7.5	2.3	0.9	-

D'après le tableau 2. 4, la dominance des houles qui ont une période < à 7s, par contre celles qui ont une période $\geq 8s$ représentent moins de 11%.

➤ Les courants

Au large de littoral algérois, la circulation se caractérise par un mouvement tourbillonnaire (Figure 2. 12). Par contre, au niveau de la côte les masses d'eaux longent la marge algérienne suivant une direction Ouest et Est (courant algérien). Le courant algérien a une vitesse moyenne de l'ordre de 1 à 1,5 m/s. Au niveau local, notamment à l'intérieur des baies, des courants côtiers sont générés par les vents et les houles (courants de dérive et contre-courants). Les courants côtiers jouent un rôle important dans la distribution des sédiments aux embouchures des oueds. (Dan, 2007)

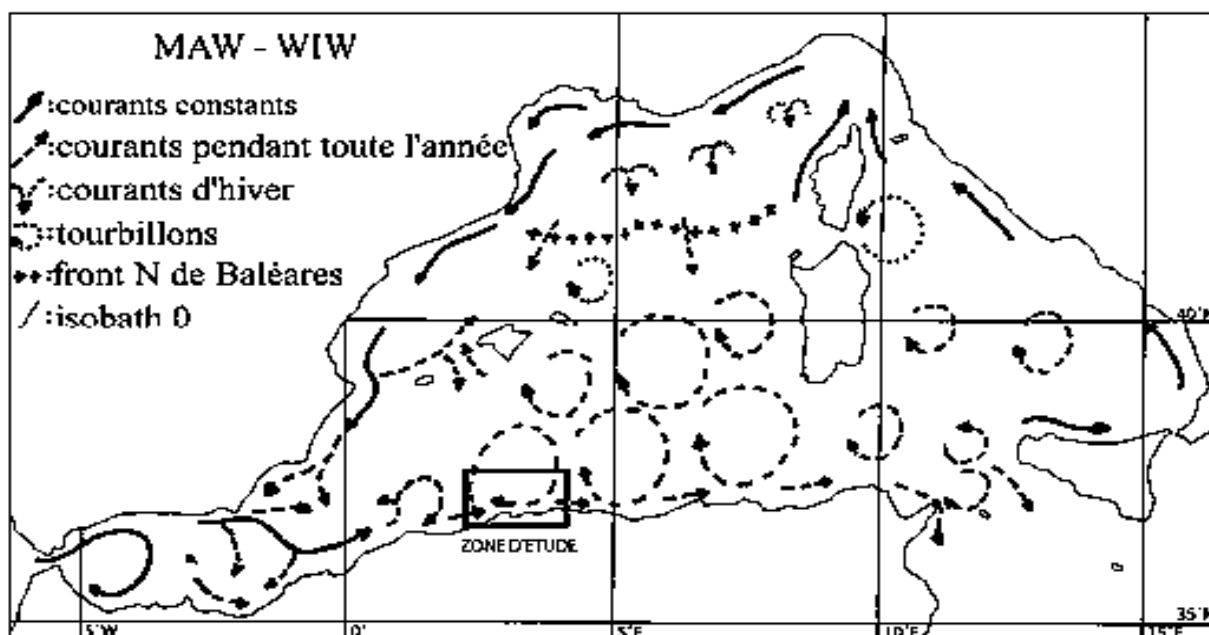


Figure 2. 12 : Circulation des masses d'eaux en Méditerranée Occidentale : MAW (Modified Atlantic Water) et WIW (Winter Intermediate Water) (Dan, 2007)

L'étude courantologique de la zone d'étude a porté sur plusieurs missions, effectuées par (LCHF, 1970), enregistre par direction les suivants :

- Les vents du Nord-Est génèrent des courants de directions Ouest, vers le port.
- Les vents du secteur Nord, Nord-Ouest ont révélé les courants de direction Est et Nord-Est à l'opposé du port.

2-4-2 La morphologie sous-marine (la baie d'El Djamila)

➤ La bathymétrie

Notre zone d'étude se situe dans une baie qui est caractérisée par une pente douce. Les fonds sont réguliers avec des pentes douces inférieures à 2%. La présence de ces faibles pentes entre 0 et 5 m de profondeur est due surtout à l'affleurement d'un platier rocheux faiblement incliné vers le large. (Boutiba, 1996)

Chapitre 2 : Présentation de la zone d'étude

Les isobathes du centre de la Baie sont pratiquement parallèles à la côte, franchissant une faible pente. Au niveau de Ras Acrata (à l'Est) et Sidi Fredj (à l'Ouest), nous notons un resserrement des isobathes qui se traduit par des pentes moins douces qu'au centre de la baie, ceci étant normal vu que les deux zones sont rocheuses et accidentées. Dans la zone de Moretti, les fonds sont réguliers présentant des pentes douces inférieures à 2%. (**Belkacemi, 2015**)

➤ Les platiers rocheux

Au Club des Pins et sur la plage de Moretti, de nombreux bancs rocheux, affleurent et se poursuivent sous l'eau jusqu'à des profondeurs de 4 à 5m. Relève la coupe stratigraphique, où nous notons la succession suivante de bas en haut :

- Grès coquilliers marins,
- Grès dunaire inférieurs,
- Limons rouges supérieurs,
- Grès dunaires supérieurs (ou carapace gréseuse),
- Dunes actuelles et subactuelles. (**Belkacemi, 2015**)

➤ Les barres et les fosses de lévigation

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

Dans la Baie d'El Djamila, ces barres parallèles au trait de côte, se rencontrent devant la plage El Menzeh et de Club des Pins à une distance de 150 m à 200 m à partir de ligne du niveau moyen des mers. La morphologie de ces formes est très variable. Le sommet des barres peut atteindre des côtes de 2 et 3 m de profondeur alors que les fonds de fosses de lévigation sont de 4 et 5 m de profondeur. (**Belkacemi, 2015**).

Etude morphologique

Introduction

Les études des deux parties de la plage, la topo-bathymétrie pour la plage sous-marine et la topographique pour la plage aérienne, ainsi l'étude du couvert végétal sur l'arrière-pays, qui sont en relation et en interaction entre eux, permettent d'étudier la morphologie de la plage.

Afin d'évaluer le budget sédimentaire et de suivre l'évolution morphologique de la plage, il est important de prolonger les profils topographiques de la plage par des levés bathymétriques (C.Mallet & al, 2012). Pour l'évaluation quantitative et qualitative des caractéristiques de la dynamique côtière, les mesures de terrain de la zone d'étude sont réalisées selon la saison pendant quelques années afin de comparer et d'évaluer l'évolution du littoral (Van Van Than, 2015)

3.1 Le couvert végétal

3.1.1 L'influence des dunes et de la végétation sur la plage

A l'arrière plage, la végétation joue un rôle déterminant dans l'équilibre du système côtier. Elle peut ralentir l'action éolienne, en favorisant le dépôt des sédiments fins transportés par le vent de la plage en créant des dunes bordières. Ces dernières représentent une source d'approvisionnement en sédiment en période de mauvais temps. Pour la zone d'étude, un cordon dunaire a existé avant la destruction et le rasage d'une petite forêt par l'anthropisation et l'artificialisation de la zone suite à la création des infrastructures et l'occupation de l'espace par les habitats.



Photo 3.1 : la plage Est Sidi Fredj pendant les années 1970



Photo 3.2 : Le reste des traces des dunes 2017

La photo 3.1 montre l'existence des dunes dans la zone d'études pendant les années 1970 (les flèches rouges), ainsi l'activité anthropique sur cette plage depuis longtemps. La photo 3.2 est prise en 2017 dans l'arrière plage, où les dunes ont disparus et il ne reste que leurs traces (cercle rouge).

3-1-2 L'évolution du couvert végétal dans la zone d'étude

3-1-2-1 Méthode d'étude

L'utilisation des SIG (système d'information géographique) a été mise en œuvre pour mesurer l'évolution du couvert végétal pendant les dernières dix ans (2007-2017).

Pour ce faire, l'étude est faite suivant deux étapes :

➤ Etape 1 : Cartographie du couvert végétal

Des images satellitaires de Google Earth Pro sont téléchargées, puis transmises au logiciel ArcGIS où le géo-référencement est effectué et le système de projection est introduit.

Ensuite, la création d'une base de données pour la digitalisation des polygones, afin d'obtenir les surfaces du couvert végétal pour chaque année.

➤ Etape 2 : Évaluation des surfaces du couvert végétal

Détermination des surfaces du couvert végétal à partir des polygones digitalisés en déduisant leurs variations durant cette période.

3-1-2-2 Résultats

➤ Représentation du couvert végétal pour la période 2007 à 2017

La digitalisation des polygones des surfaces du couvert végétal sous ArcGIS, permet de réaliser des cartes. En représentant ce dernier pour chaque année (voir Annexe 02).

Afin de déterminer les surfaces du couvert végétal, un calcul des surfaces des polygones digitalisés de ce dernier est fait. Les surfaces de couvert végétal sont représentées par le tableau (3.1).

Tableau 3.1 : Surfaces de couvert végétal au tour de la zone pour la période (2007-2017).

Année	couvert végétal (m ²)
2007	47672.18407
2008	58873.4542
2009	44693.75291
2010	37689.48993
2011	19517.85666
2012	33599.71627
2013	27390.41033
2014	24992.83735
2015	25959.64795
2016	28620.83929
2017	14552.64536

Pour déterminer l'évolution du couvert végétal pendant cette période, un histogramme est réalisé à l'aide de l'Excel. Figure (3.1)

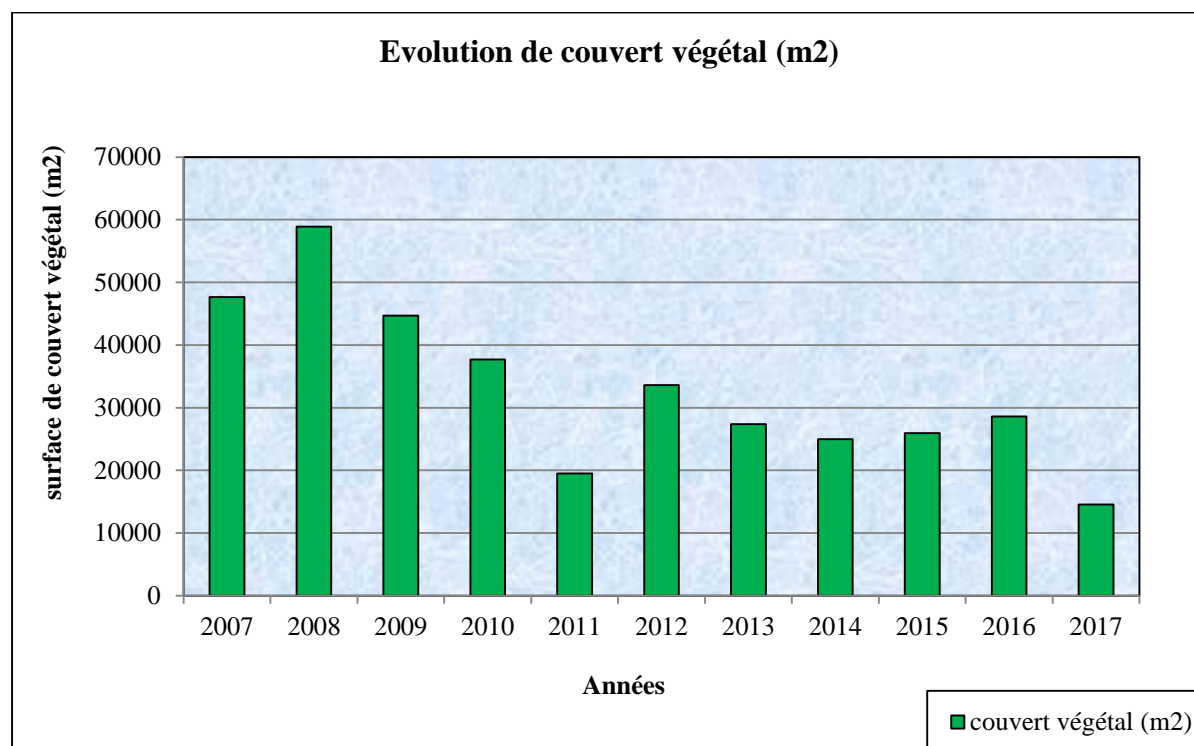


Figure 3.1 : Histogramme d'évolution des surfaces du couvert végétal entre 2007 et 2017.

Selon l'historgramme, avant 2010 la présence de la végétation était importante avec une moyenne de 47232 m², la valeur maximale de la surface végétale était en 2008 où elle a dépassée 50000 m². Pour la période suivante de 2011 à 2017 la présence de la végétation était faible par rapport à la première période avec une moyenne de 24947 m², la valeur minimale de la surface végétale est en 2017, est d'environ de 15000 m². Ceci est dû probablement aux différents projets et travaux dans la zone.

Pour mieux apprécier ces résultats, on a choisi deux années différentes 2008 et 2017. La comparaison entre les deux cartes est faite pour évaluer les variations des surfaces du couvert végétal entre ces deux années.

➤ La cartographie des variations du couvert végétal entre 2008 et 2017



Figure 3.2 : Représentation de la surface du couvert végétal de 2008



Figure 3.3 : Représentation de la surface du couvert végétal de 2017.

La cartographie de couvert végétal pour les deux années 2008 et 2017 représentée par les figures (3.2) et (3.3) respectivement a permis de définir les espaces occupés par la végétation pendant ces années.

- En 2008, la présence de la végétation dans la zone était plus ou moins importante, elle a occupé assez d'espace tout autour de la zone avec une surface importante derrière la plage.
- En 2017, l'abondance de la végétation est faible, dans un petit espace au côté droit du dos de la plage et sur quelques mètres carrés derrière le côté gauche de la plage.

Le résultat du calcul statistique des surfaces de couvert végétal de 2008 et de 2017 a permis de réaliser un histogramme via l'Excel. Figure (3.4)

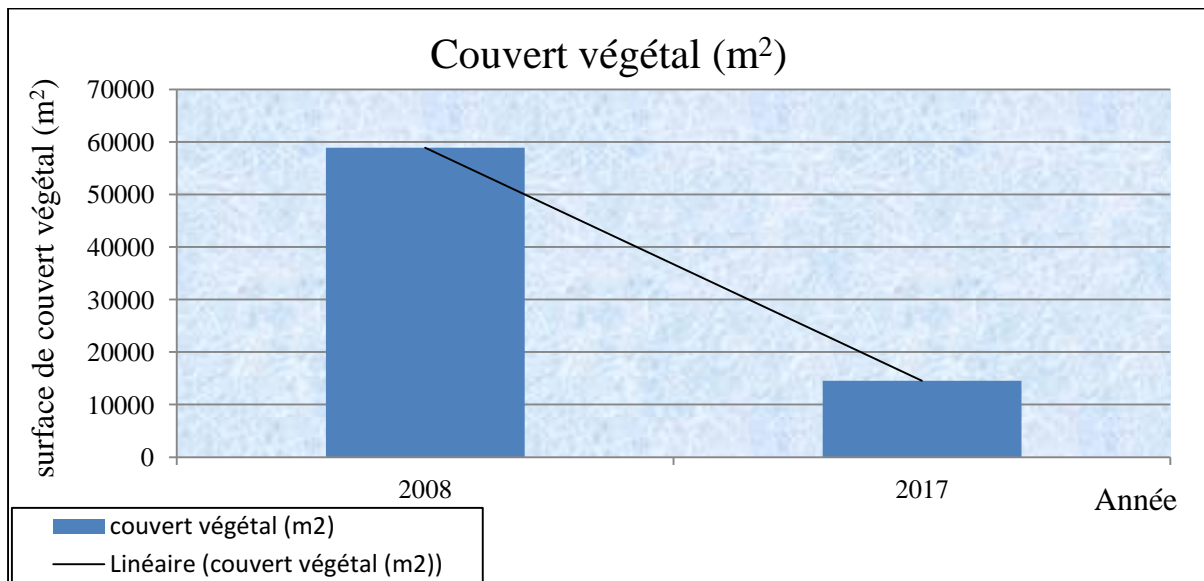


Figure 3.4 : Histogramme de la surface du couvert végétal de 2008 et de 2017

Selon l'histogramme, La surface occupée par le couvert végétal s'est réduite au quart l'état initial, alors le couvert végétal a régressé de 2008 à 2017, où il a presque atteint les 60000 m², par contre en 2017 il a une valeur inférieure à 20000 m².

Selon les résultats graphiques et statistiques de l'estimation des variations des surfaces du couvert végétal, on constate que son évolution suit une régression importante, qui est peut être due à l'action anthropique par l'occupation de sol et le tourisme, ainsi l'artificialisation de la zone par l'installation des infrastructures tel que les hôtels, les routes et les parkings.

3-1 Etude topographique

Les différentes plages sableuses peuvent être classées en trois groupes (réflective, dissipative, intermédiaires) qui visuellement se distinguent par l'inclinaison moyenne de la pente de plage. La morphologie d'une plage résulte du forçage induit par les vagues ainsi que des caractéristiques sédimentaires intrinsèques à celle-ci. Cette relation simple est résumée par le nombre adimensionné $\Omega = Hs/wsTp$, où Hs et Tp sont respectivement la hauteur et la période significative des vagues au point de déferlement, et ws la vitesse de chute des sédiments. (Dubarbier, 2014). L'analyse topographique permet de déterminer les changements morphologiques de leurs profils.

3-2-1 La topographie de la plage aérienne

Les levés topographiques consistent à mesurer la topographie de l'estran le long de profil depuis le haut de plage jusqu'à la ligne de rivage. Lors des mesures à pied, les lignes de rupture au niveau du pied de dune, des formes sédimentaires (barres sableuses, croissants de plage) et

des points d'inflexion du profil sont minutieusement levées de façon à ce que le profil mesuré s'ajuste parfaitement à la topographie observée. (Gouriou, 2007)

3-2-1.1 L'analyse topographique

Cette étude a pour objectif d'observer et de comprendre les modifications morphologiques rencontrées sur la plage. Pour cela, des données topographiques sont disposés, dans un premier temps, traités afin de reconstituer, via le logiciel Surfer, la topographie complète de la plage. Ensuite, l'objectif est d'extraire un maximum d'informations de cette topographie. Pour cela, le calcul du volume de sable présent est effectué, et la création des cartes résiduelles et enfin, l'extraction des profils de plage.

3-2-2 Méthode d'extraction des données topographiques

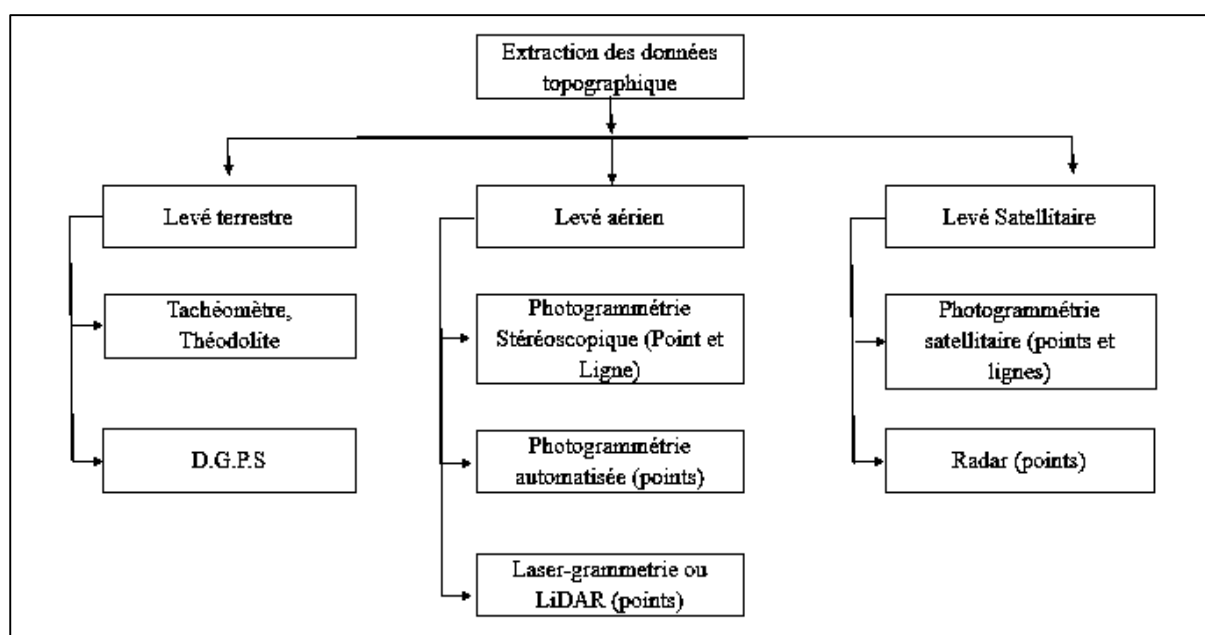


Figure 3.5 : Organigramme qui décrit les différentes méthodes d'extraction des données topographiques. (Aerodata MNT, 2013)

3-2-3 Traitement numérique

Les données récoltées du terrain, sont enregistrées numériquement, et traitées à l'aide des programmes afin de produire des cartes ou des profils en représentant la topographie de la zone étudiée. Pour ceci le logiciel Surfer est mis en compte.

Le logiciel Surfer, conçu par Golden Software, permet de réaliser des cartes à partir d'un modèle numérique de terrain (MNT). Ce logiciel permet de créer des grilles qui vont interpoler les données irrégulières des points X, Y, Z afin de les ordonner. Les grilles peuvent être importées depuis plusieurs sources pour produire différents types de cartes, incluant des contours, des vecteurs, des images ainsi que des cartes superficielles. Surfer contient plusieurs options cartographiques qui permettent de produire une carte représentant le mieux possible les données utilisées. La carte peut être améliorée en affichant les points de données, en

combinant plusieurs cartes ou en ajoutant des dessins ou des annotations. La variété de méthodes d'interpolation disponibles permet différentes interprétations des données et de choisir la méthode la plus appropriée aux besoins de l'utilisateur (**samuel, 2011**). C'est un ensemble de visualisation 3D, de contournage et de modélisation de surface. Surfer est utilisé pour la projection, la modélisation du terrain, la modélisation bathymétrique, la visualisation du paysage, l'analyse de surface, la cartographie des contours, le bassin versant et la cartographie 3D en surface, le grille, la volumétrie. (**Surfer 11, 2013**) Figure (3.6)

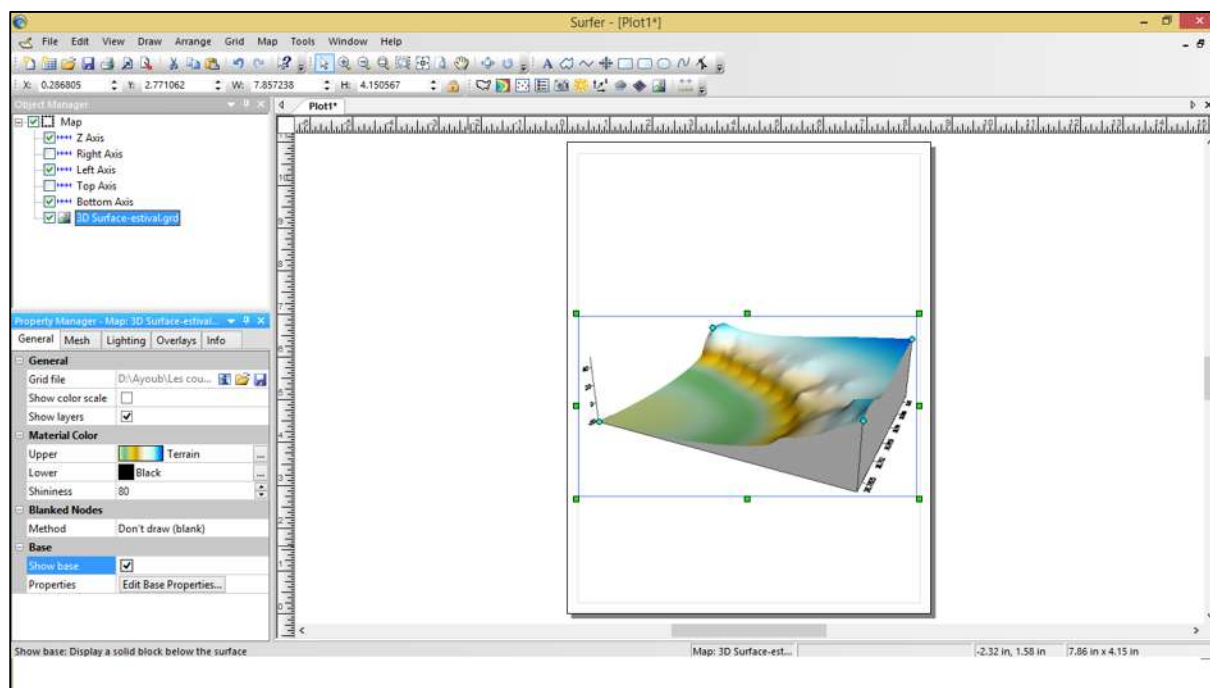


Figure 3.6 : l'interface du logiciel Surfer 11

3-2-4 Les variations saisonnières de profil

La variabilité du profil de la plage peut s'avérer être beaucoup plus importante sur des échelles saisonnières et inter-annuelles. Compte tenu de la variabilité des climats de houles à l'échelle saisonnière, la position d'une barre sableuse sera située relativement plus au large de sa position moyenne annuelle durant les périodes hivernales contrastant avec la période estivale où la barre sera proche du trait de côte (**Dubarbier, 2014**).

Les plages ne présentent pas toujours le même aspect selon la saison (Figure 3.7) :

- En hiver, l'action des houles de tempêtes, de forte amplitude (cambrées) provoque un entraînement des sables du haut de plage vers l'avant-plage. Le profil d'hiver correspond à un démaigrissement du haut de plage qui se creuse, en laissant apparaître des cordons de galets qui étaient enfouis sous le sable. Les matériaux enlevés à la haute plage et au pied de dune sont stockés au niveau du bas de plage et sur l'avant-plage où ils forment des bancs sableux.
- En été, les houles constructives de beau temps, moins cambrées, vont remonter le sable depuis l'avant-plage et provoquer un engraissement du haut de plage. Le sable est

généralement présent sur l'ensemble du profil de plage, y compris dans les parties les plus hautes où il recouvre les galets et vient alimenter le front dunaire. (C.Bonnot & C.Feiss-Jehel, 2010).

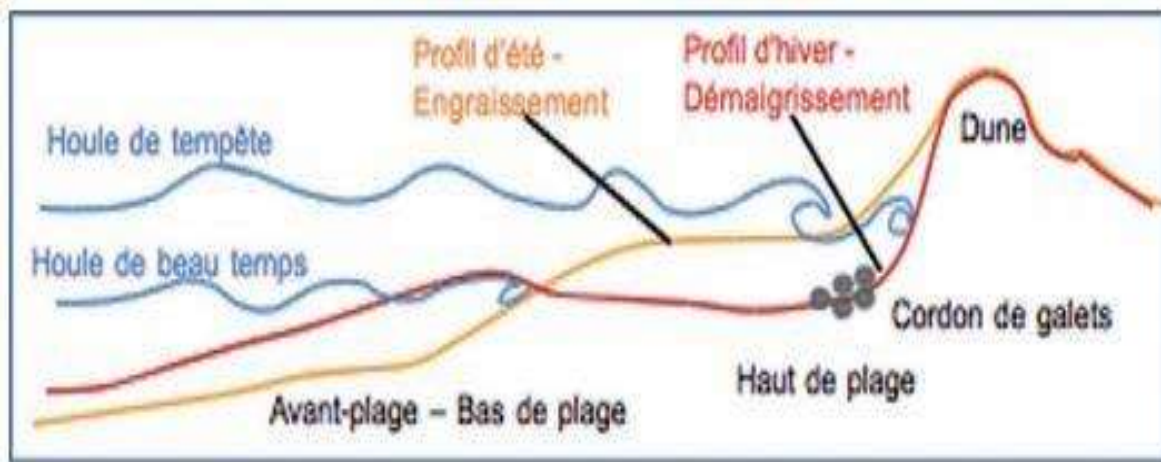


Figure (3.7) : Schéma explicatif des variations saisonnières des profils des plages (C.Bonnot & C.Feiss-Jehel, 2010).

3-2-5 Étude des variations saisonnières du profil de la plage Est de Sidi Fredj

Pour l'étude topographique de la zone, deux sorties sur terrain de différentes périodes (période Hivernale-période Estivale) ont été effectuées afin d'obtenir les données topographiques de la zone pour chaque période à l'aide d'un théodolite et d'un GPS pour repérer les levés topographiques.

3-2-5.1 Matériel utilisé

- Le théodolite

Un théodolite est un instrument de géodésie complété d'un instrument d'optique, mesurant des angles dans les deux plans horizontal et vertical afin de déterminer une direction. Il est utilisé pour réaliser les mesures d'une triangulation : mesure des angles d'un triangle.

C'est un instrument essentiel en topographie et en ingénierie. Utilisé dans les mesures d'un levé topographique.

Un théodolite est une lunette montée sur les deux axes vertical et horizontal. Chacun des axes est équipé d'un cercle gradué permettant les lectures des angles.

Le théodolite se pose sur un support et doit se caler sur le plan horizontal ; il est souvent placé sur un trépied, et à la verticale exacte d'un point connu en coordonnées, à l'aide d'un fil à plomb et d'un niveau à bulle sphérique, et sa base doit être parfaitement horizontale (utilisation d'une nivelle torique, ainsi que d'une nivelle sphérique). L'ensemble de cette phase d'utilisation se nomme la « mise en station ». (Theodolite, 2010)

- **GPS Garmin**

Le GPS pour « *Global Positioning System* » est un système de positionnement par satellite. Il permet de déterminer en tout point du globe la position exacte avec une précision <5m en captant les signaux émis par les satellites par des récepteurs. (Correia, 2006)

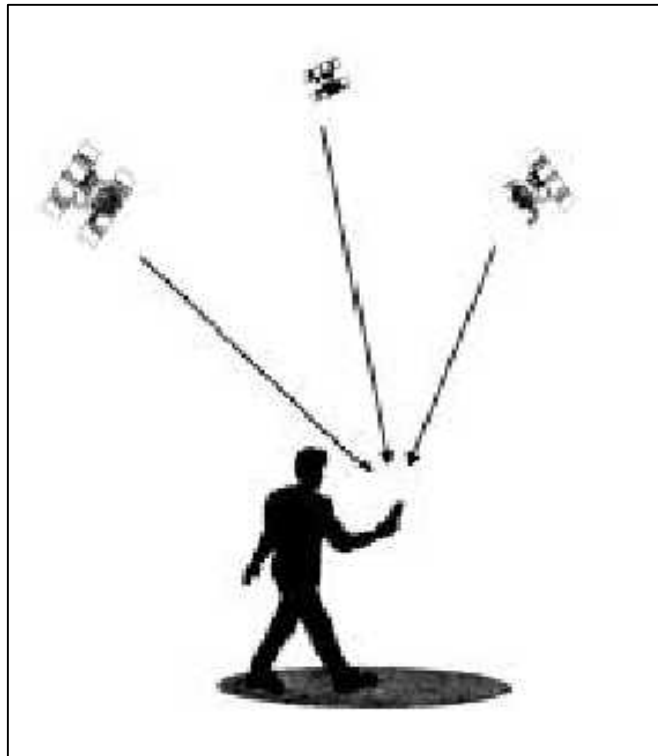


Figure 3.8 : Le positionnement via le GPS. (Correia, 2006)



Photo 3.3 : Le matériel utilisé (Théodolite, la mire, GPS)

3-2-6 Les mesures topographiques de la zone

La plage est balayée à partir de trois stations de mise en place du Théodolite. En effectuant onze profils transversaux de la plage, s'étendent du haut de plage jusqu'au trait de côte. Espacés entre eux avec une distance de 30 à 35 m, pour chaque profil six à neuf points de levés ont été prises. (Figure 3.9)

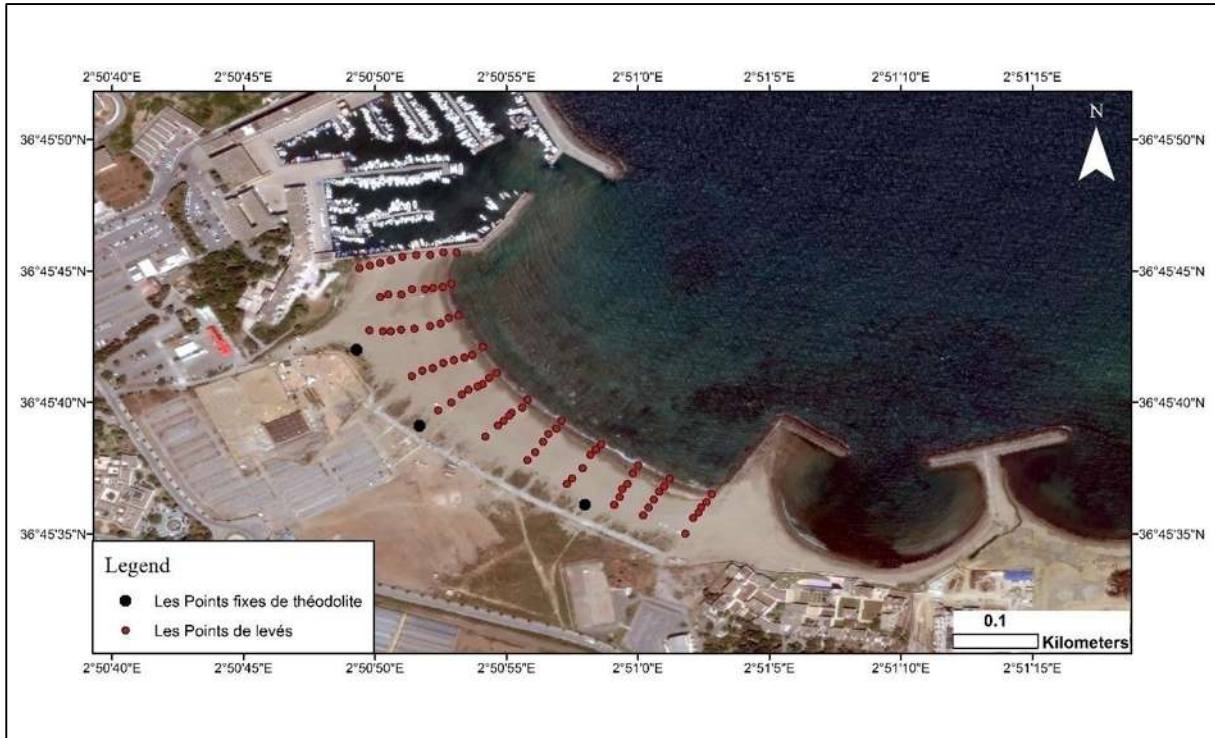


Figure 3.9 : La carte des points de levés topographique

3-2-7 Traitement numérique des levés topographiques

Les données recueillies à l'aide du théodolite sont transférées sur PC puis traitées à l'aide du tableur Microsoft Excel pour calculer les distances entre les points et l'altitude de chaque station selon les formules suivantes :

La formule du calcul de la distance Dh : $Dh (m) = 10 * L * \cos^2 (V) \dots\dots\dots(3.1)$

La formule du calcul de l'altitude Z : $dZ (m) = ht + 10 * L * \cos V * \sin (V) - FN \dots\dots(3.2)$

Avec :

Dh : La distance horizontale, L : Limite sup - Limite inf (les limites sur la mire), V : Angle vertical, ht : la hauteur de la lunette, FN : la hauteur du point visé.

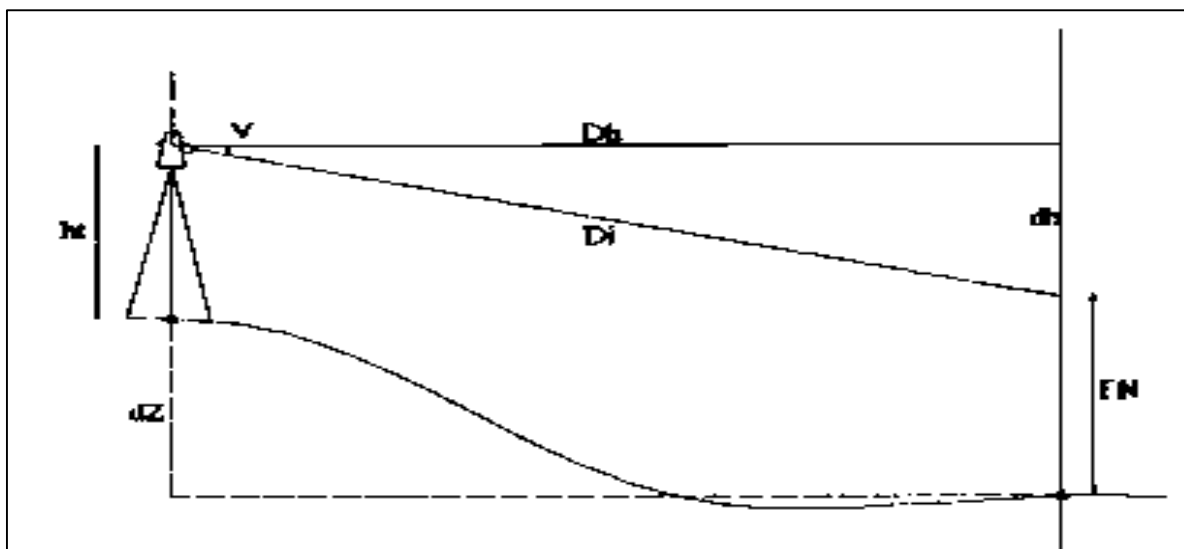


Figure 3.10 : Schéma explicatif des différents paramètres utilisés pour les calculs.

3-2-7-1 Le profilage de la plage aérienne :

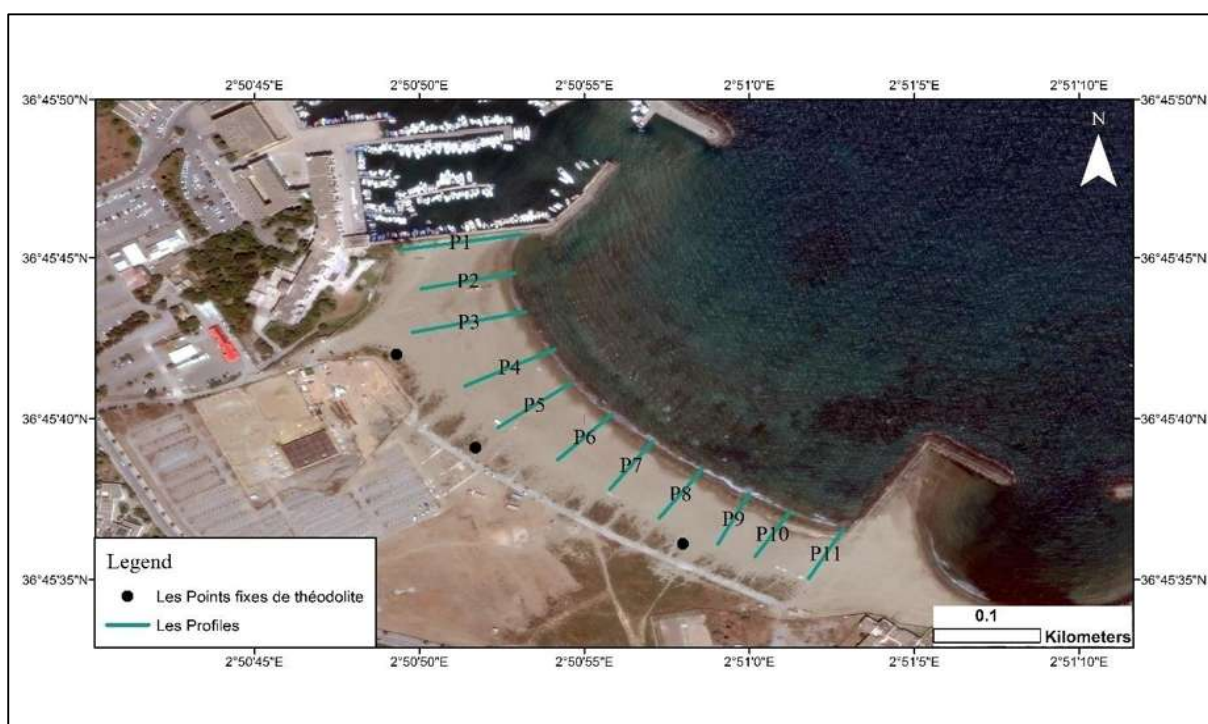


Figure 3.11 : la représentation des profils topographiques dans la zone d'étude

La réalisation des profils topographique de la plage aérienne pour les deux périodes a été effectuée en utilisant les résultats calculées (les distances, les altitudes) (Annexe 3).

Pour analyser l'évolution topographique saisonnière, la comparaison entre les deux périodes a été faite. Pour la partie à côté du port selon le profil numéro 1, et pour la partie proche de l'ouvrage de protection par le profil numéro 10 (Figure 3.12)

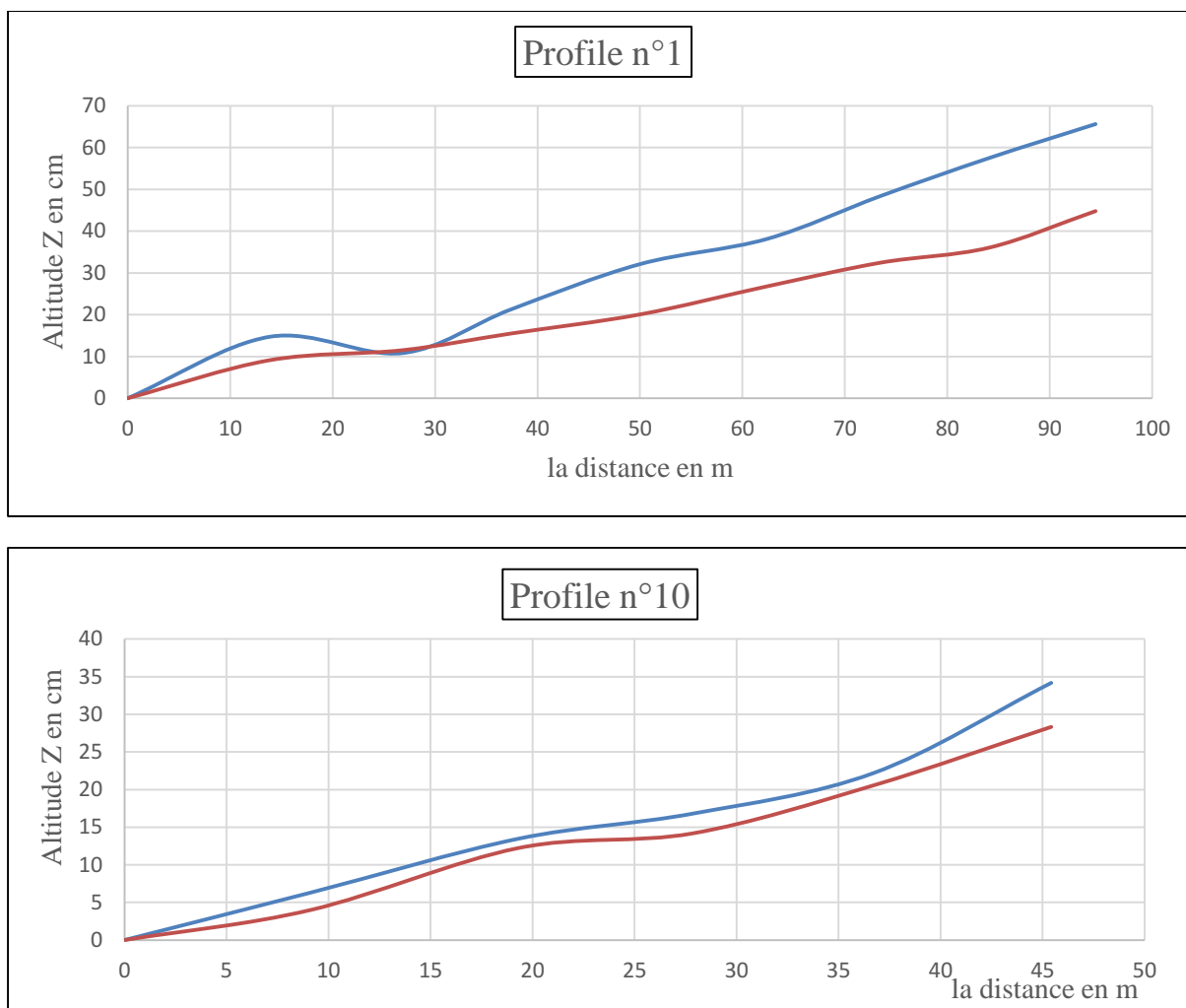


Figure 3.12 : les profils topographiques de la partie aérienne de la plage Est de Sidi Fredj (le bleu : le profil de l’hiver, le rouge : le profil de l’été).

Selon la figure 3.12, la plage était un peu accentuée pendant l’Hiver par rapport à l’Été. Pour le profil numéro 1 qui correspond à la partie Nord-Ouest, l’altitude maximale était presque 70 cm en Hiver et pour l’Été était inférieure à 50 cm, alors la variation des altitudes dans cette partie est importante.

Pour le profil numéro 10, concernant la partie Sud-Est à proximité de l’ouvrage de protection, où l’altitude maximale était presque 35 cm en hiver et d’environ 28 cm en Été, alors les altitudes ont une faible variation.

Globalement, notre zone d’étude est caractérisée par une pente très douce (d’environ 0.5%), qui va compliquer la comparaison de la topographie entre les deux saisons.

Le suivi de la variation de profil topographique entre la période hivernale et estivale montre qu’il y a un amaigrissement au niveau de l’arrière plage dans toute la zone, cette perte est de 10 à 20 cm d’altitude. Une grande perte est enregistrée au niveau de la partie proche de la digue portuaire et à l’accès de la plage dans les profils 1, 2, 3 et 4 qui ont la même variation (-20cm). Cette perte peut être expliquée par l’absence d’une barrière naturelle pour réduire le

départ des sédiments ainsi à l'effet des tempêtes, alors que la perte est moins importante dans la partie proche de l'épi, les profils 9, 10 et 11 qui ont une variation d'environ (-10 cm), car il y a un couvert végétal qui va piéger les sédiments transportés par le vent.

3-2-7-2 MNT model numérique de terrain

Il s'agit d'une représentation numérique du relief donc des valeurs d'altitude d'une zone donnée. On peut en dériver des indications sur les valeurs de pentes et d'exposition et sur les formes de la surface topographique d'une zone géographique donnée. (Joliveau, 2013)

Pour les M.N.T, les données sont aussi transférées sur le tableau Excel. Puis à l'aide du logiciel Surfer 11, l'interpolation par la méthode de Kriging était faite afin d'obtenir une représentation en trois dimensions de la plage aérienne pour les deux périodes. (Figure 3.13)

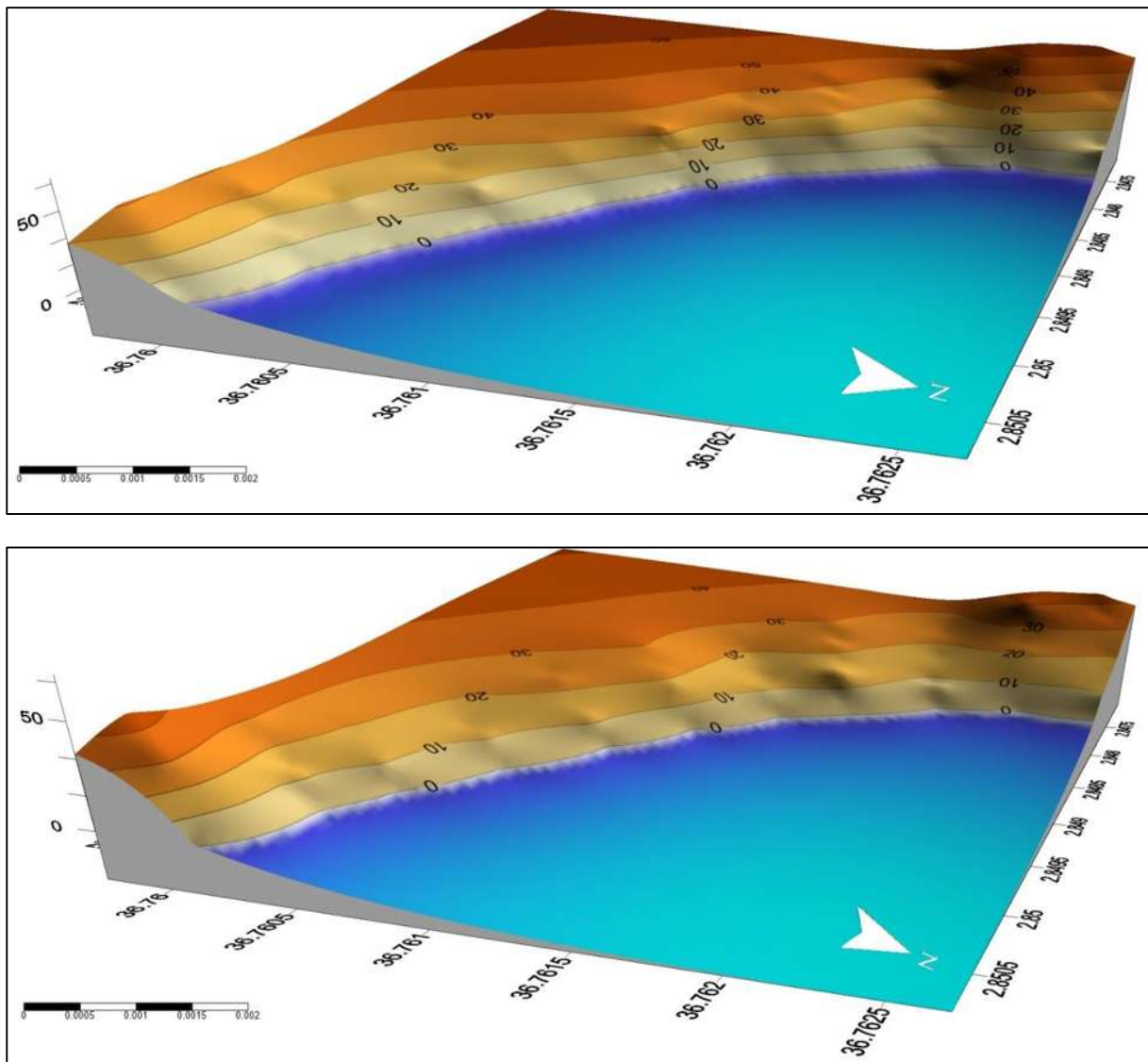


Figure 3.13 : les Modèles Numériques de Terrain de la partie aérienne de la plage Est de Sidi Fredj des deux périodes (en haut la période Hivernal et en bas la période Estival) (X,Y en m et Z en cm) réalisées par Surfer.

Le modèle numérique de Terrain montre qu'il y a une petite variation des courbes de niveau entre les deux périodes. Dans la période hivernale, les courbes de niveaux sont un peu serrées, avec une altitude maximale d'environ 65 cm, alors que ces courbes en période estivale sont espacées par rapport à la période hivernale, avec une altitude maximale de plus 40 cm.

Ces M.N.T. sont utiles pour une meilleure perception des variations morphologiques saisonnières de la zone étudiée. En effet, à l'aide d'un différentiel entre deux relevés du même secteur, un calcul de volume a été réalisé sur ces M.N.T avec le logiciel Surfer 11 (voir Annexe 4). Ceci représente des variations morphologiques subies entre la période Hivernale et la période Estivale, soit par le gain ou la perte des Sédiments. (Figure 3.14)

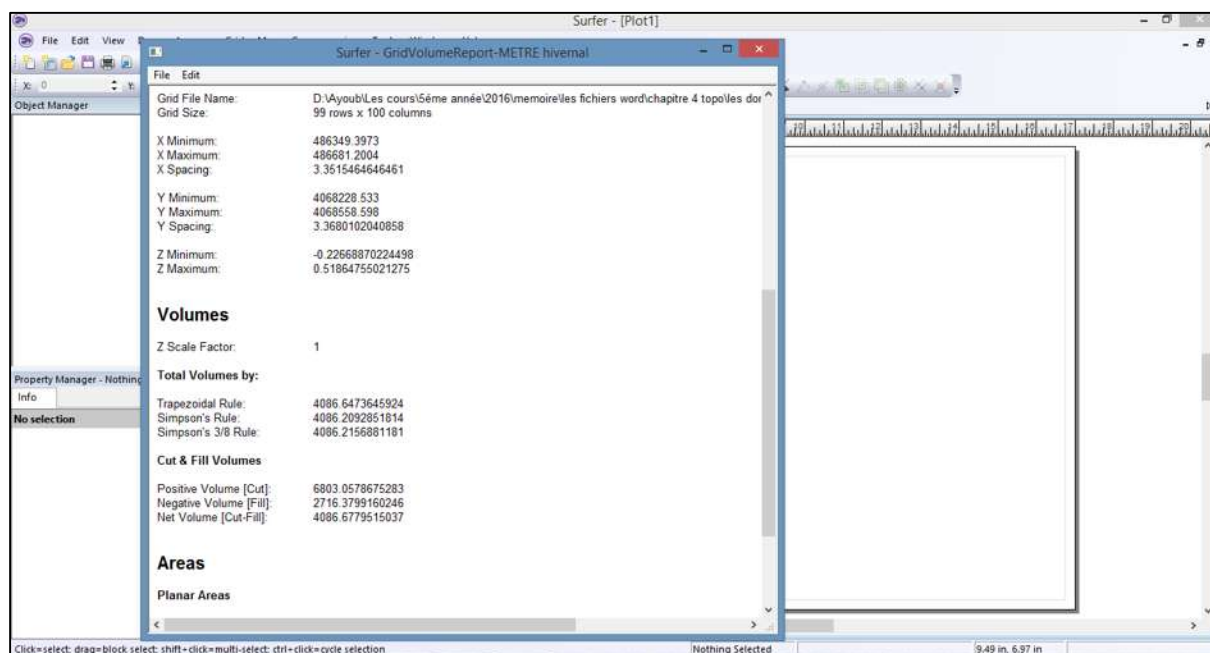


Figure 3.14 : les résultats de calcul du volume de Surfer

Les résultats montrent qu'il y a un amaigrissement dans cette plage avec un volume de 4087m³ du sédiment entre la période Hivernale et Estivale. Cette perte est peut être due aux influences des tempêtes. Cette perte est réversible, elle peut être considérer comme un déplacement des sédiments de la plage aérienne vers la plage sous-marine pendant la période d'été en modifiant la morphologie sous-marine.

3-3 Etude topo-bathymétrique

La bathymétrie est l'information qui décrit la topographie du fond marin, comme une profondeur de la surface de la mer au fond marin. C'est une composante essentielle dans la compréhension de la dynamique du milieu marin.

Des profils bathymétriques sont régulièrement réalisés pour étudier les fonds marins. La bathymétrie constitue la base de tout ensemble de données marines complètes ; Sans elle, l'image de la morphologie sous-marine est incomplète (EMODN, 2013).

La connaissance de la bathymétrie est indispensable pour réaliser des cartes topo-bathymétriques ou des modèles numériques de profondeur, ces produits permettent à analyser le fond marin et avoir des informations sur la morphologie sous-marine. Cette dernière a un rôle très important pour comprendre le milieu côtier, où elle a un effet sur la propagation de la houle et la dissipation de l'énergie hydrodynamique sur la côte ainsi son effet sur la dynamique sédimentaire, pour ces deux effets la morphologie côtière est en relation avec les conditions bathymétriques.

3-3-1 Les outils pour réaliser l'étude bathymétrique

- Pour l'acquisition des données sur terrains :

Un échosondeur de type Furuno LS-4100 a été utilisé pour l'extraction des levés topo-bathymétriques. C'est un sondeur à double fréquence (50KHz, 2000 KHz) à écran LCD monochrome 5. Le système utilise les données capturées par la sonde pour afficher une représentation graphique et alphanumérique du fond et de la masse d'eau. (R.N.E.O, 2003)

- Pour le traitement numérique :

Le logiciel MIKE est un système logiciel développé par le Danish Hydraulics Institute (DHI) et reposant sur un maillage structuré (grille rectangulaire ou curviligne) ou, pour certains modules, sur un maillage non structuré (Van Van Than, 2015)

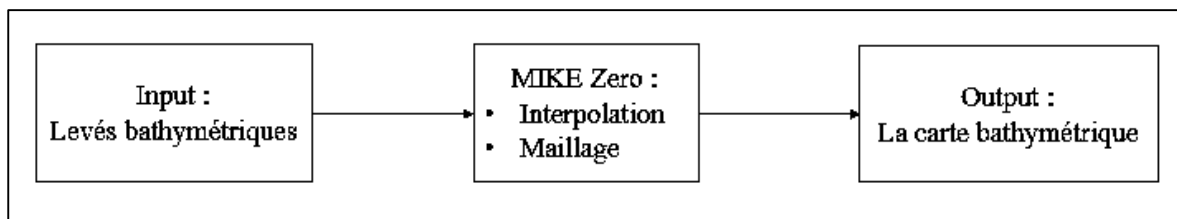


Figure 3.15 : Organigramme qui résume les principales étapes de MIKE Zéro.

3-3-2 L'évolution de la bathymétrie de la plage Est entre 2015 et 2017

- Acquisition des données topo-bathymétriques

Afin de déterminer la morphologie sous-marine de la zone d'étude, une sortie sur mer était faite le 14 Juin 2017 avec l'embarcation *El-Aurassi* qui fait partie du parc naval de l'ENSSMAL. Des levés bathymétriques de différents points de la plage sous-marine d'une façon où toute la zone était balayée ont été effectués. Figure (3.16)

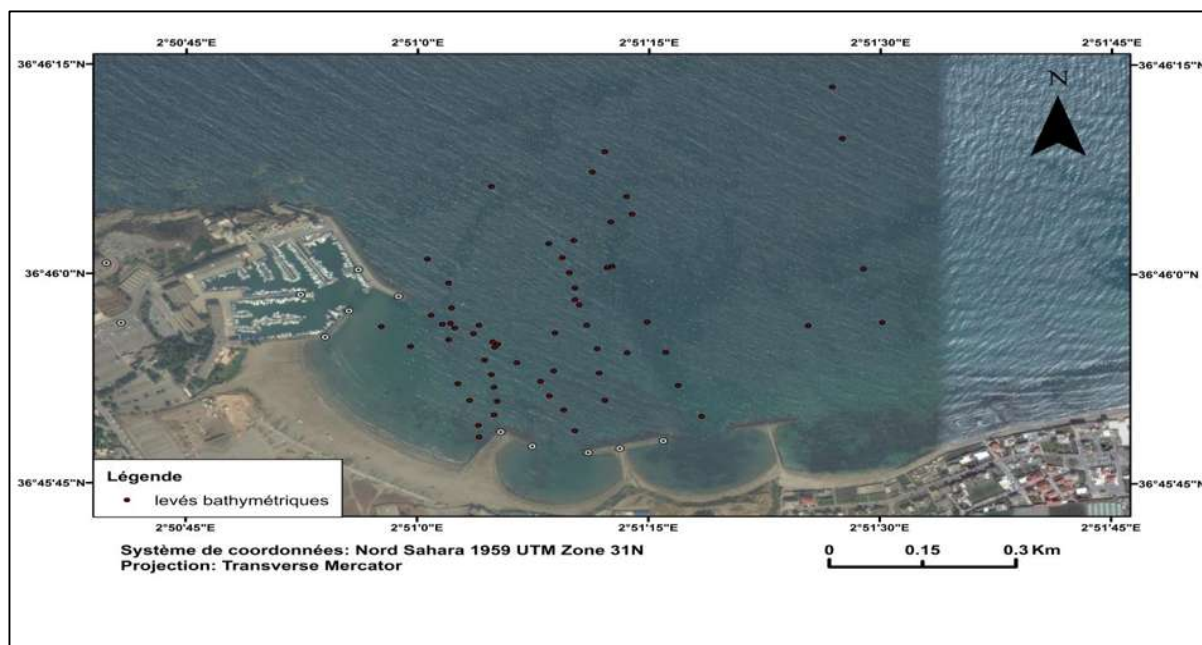


Figure 3.16 : cartes des points des levés topo-bathymétrique

La réalisation de ces levés était faite à l'aide d'un échosondeur de type LS 4100 équipé sur l'embarcation et leurs repérage selon les coordonnées géographiques est fait via un GPS Garmin Photo (3.4), et enfin l'obtention d'un tableau de trois dimensions (Lat., Long, Profondeurs).



Photo 3.4 : l'échosondeur à droite et le GPS à gauche.

Concernant l'année 2015, les données bathymétriques anciennes sont fournies par l'ENSSMAL.

- **Traitement numérique des données acquis**

A l'aide de logiciel MIKE, un traitement numérique des données acquises a été effectué pour représenter la bathymétrie de la zone d'étude et la détermination de son évolution.

D'abord, l'utilisation de l'application « Image Rectifier », pour géo-référencer et introduire le système de projection pour la carte de la zone d'étude qui est une image satellitaire téléchargée depuis Google Earth Pro. Ensuite, la création de l'espace de travail où la limitation de la zone était effectuée, avec la séparation entre la terre et la mer par un trait de côte sous format « .xyz » et mettre les limites au tour de notre zone, ainsi l'importation des données bathymétriques (anciennes 2015 et récentes 2017) sous format « .xyz ». Enfin, la réalisation des cartes bathymétriques après la génération du maillage « Mesh » et faire interpoler les valeurs bathymétriques introduites. (Voir Annexe 5)

3-3-3 Résultats du traitement numérique des données acquises

Après le traitement numérique des données acquises, la réalisation des cartes était faite, ces dernières vont décrire la bathymétrie de la zone d'étude ainsi son évolution.

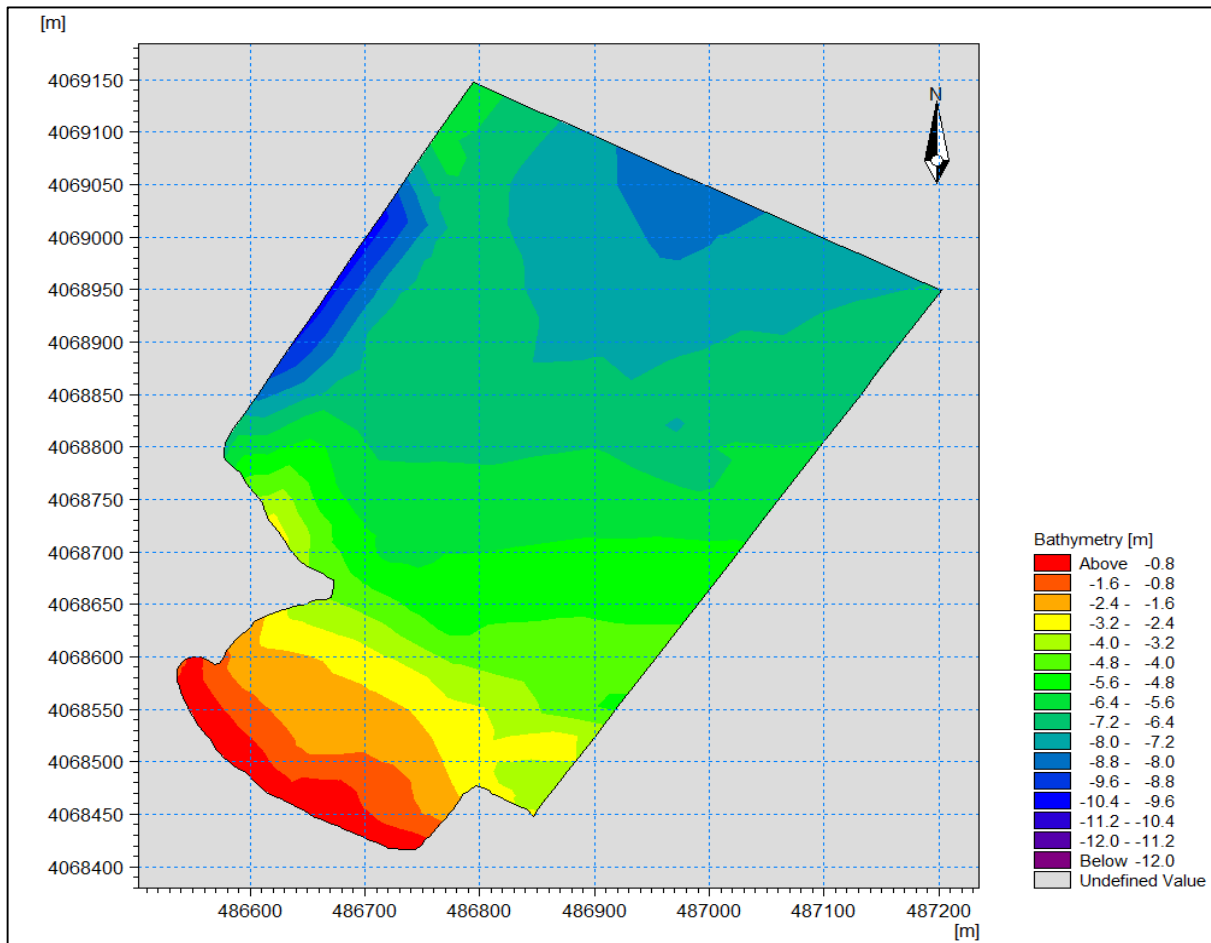


Figure 3.17 : Carte bathymétrique de la plage Est de 2015.

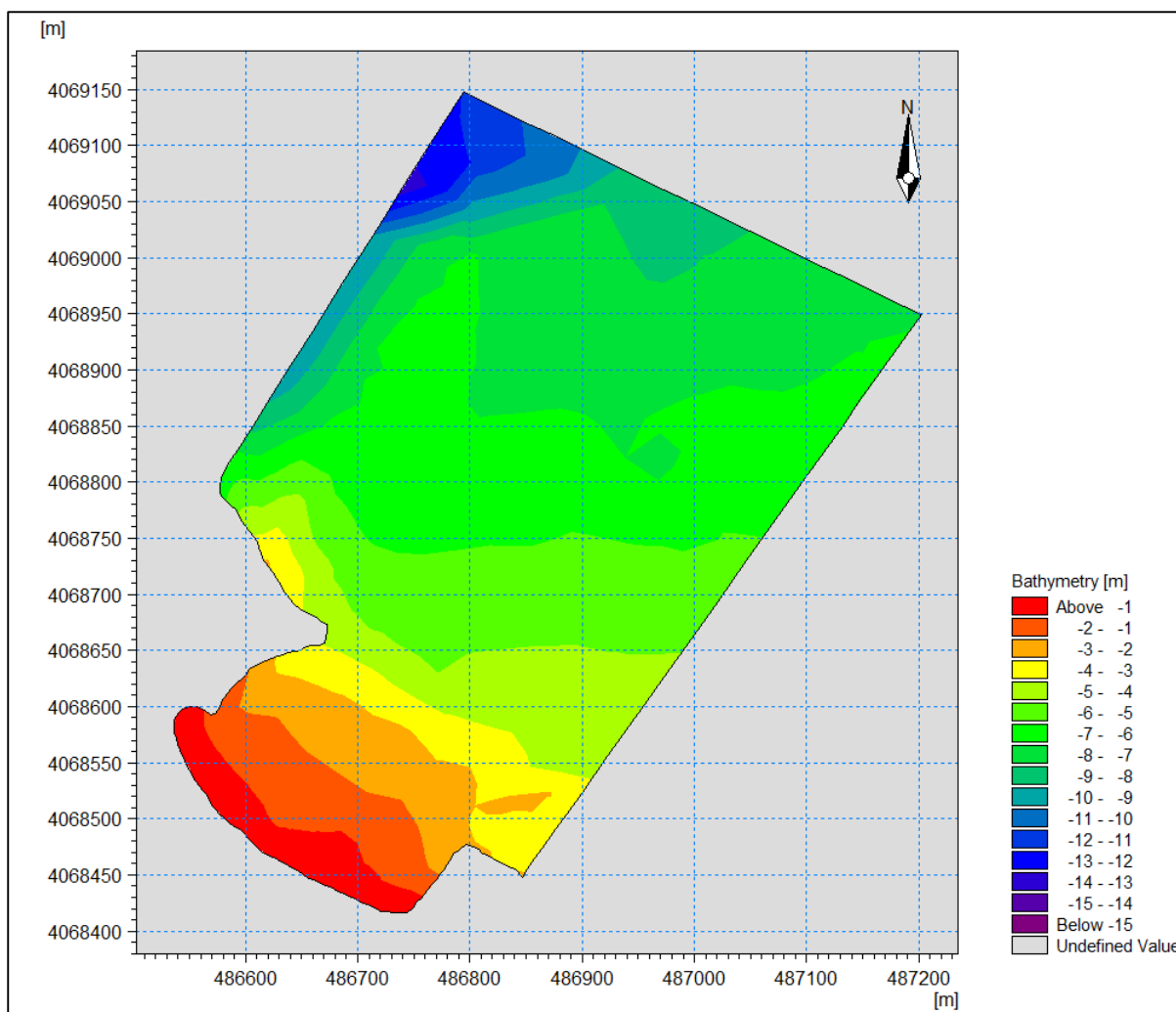


Figure 3.18 : Carte bathymétrique de la plage Est de 2017.

Après l'interpolation des valeurs de profondeurs introduites, des isobathes sont tracées en représentant les caractéristiques bathymétriques de la zone d'étude.

D'après les cartes réalisées par le logiciel MIKE, la zone d'étude se caractérise par une bathymétrie régulière avec des courbes de niveaux parallèles à la côte.

Pour la bathymétrie de 2015 (Figure 3.17). Les isobathes sont un petit peu serrés. En allant vers le large, à partir des profondeurs de plus de -4.8m elles deviennent un petit peu espacés.

Pour la bathymétrie de 2017 (Figure 3.18). Les isobathes sont espacées avec une équidistance plus au moins importante par rapport aux isobathes de 2015. De profondeur de -5m en allant vers le large, l'espacement entre les isobathes devient plus grand que dans la partie proche à la côte.

Alors, entre 2015 et 2017 la morphologie sous-marine a évolué d'où les isobathes deviennent plus espacées, donc la bathymétrie est modifiée et la pente devient plus douce.

Par rapport aux résultats obtenus, la faible augmentation des profondeurs entre la côte et le large, témoignent que la morphologie sous-marine de la zone d'étude est caractérisée par une douce pente.

3-4 Conclusion

L'utilisation des différents outils informatiques aident à analyser l'état de la plage, en déterminant les variations morphologiques de la zone.

L'évaluation du couvert végétal montre que ce dernier a régressé entre 2007 et 2017 pour la partie du haut de plage.

Dans la plage aérienne, concernant l'analyse de la topographie, des variations des profils ont été manifesté entre la période Hivernale et la période Estivale par la perte des sédiments de la plage aérienne qui sont mobilisés vers la plage sous-marine.

D'après l'étude de la bathymétrie, il y'a eu une évolution de la morphologie sous-marines par les variations de la bathymétrie, où en 2017 la pente devient plus douce par rapport à 2015.

Alors, les différentes études sur le long de profil de la plage, et quel que soit l'échelle de temps annuelle ou saisonnière, la morphologie de notre zone d'étude a évolué au cours de temps.

*Etude
morpho-sédimentaire et
morphodynamique*

Introduction

Afin de bien comprendre la dynamique côtière, l'étude de différents agents physiques influençant son équilibre ainsi l'étude de la répartition sédimentaire sont mises en œuvre.

L'étude sédimentaire permet la connaissance de la nature des sédiments superficiels qui constituent la zone d'étude et sa variation à l'échelle spatio-temporelle, en balayant toute la partie aérienne et sous-marine pour définir l'énergie du milieu et les transits sédimentaires.

Afin d'étudier les variations saisonnières de la répartition sédimentaire entre la plage aérienne et sous-marine, des prélèvements ont été effectués dans deux périodes différentes (Hivernale et Estivale).

L'équilibre de la plage se détermine principalement par son budget sédimentaire, et ce dernier est lié à la morphodynamique qu'est influencée par l'interaction entre le régime de l'hydrodynamisme et le climat saisonnier au niveau de la mer. Ces interactions engendrent au large des forces physiques qui correspondent principalement aux houles, ces dernières vont transmettre leurs énergies à la côte avec des modifications de leurs caractéristiques par l'effet du fond. Ils vont créer des courants induisant le transport et la mobilisation des sédiments. Alors pour comprendre la morphodynamique des plages, il est nécessaire de connaître les processus physiques qui contrôlent la dynamique des courants et de ce fait le transport sédimentaire.

4-1 Etude morpho-sédimentaire

4-1-1 Prélèvement des sédiments

Des sorties sur terrain ont été effectués pour les prélèvements de sédiments dans la partie aérienne et sous-marine (une distance de 15 m vers le large) de notre zone d'étude, une pendant la période Hivernale (Février, 2017) et l'autre pendant la période Estivale (Mai, 2017). Le prélèvement était fait sur six transects au niveau de la haute plage jusqu'à la plage sous-marine, chaque transect est caractérisé par sept stations (4 dans la partie aérienne et 3 dans la partie sous-marine), (Figure 4. 1).

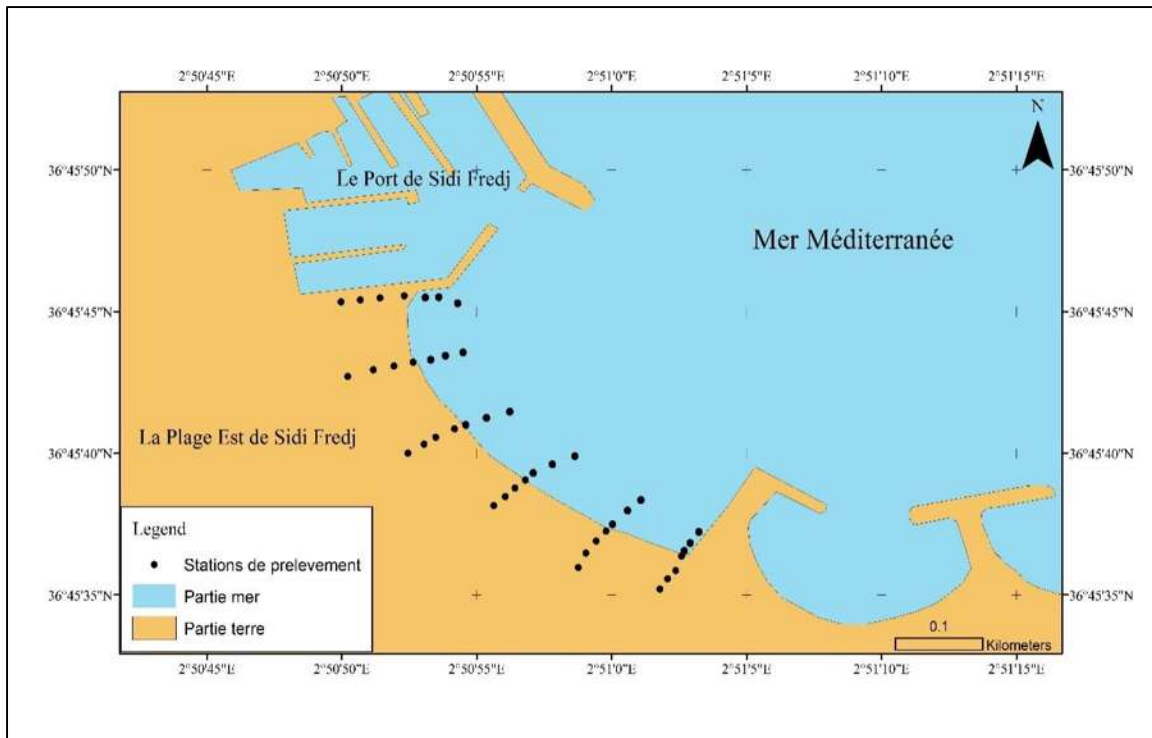


Figure 4.1 : Localisation des points de prélèvement dans la zone d'étude.

Ces prélèvements sont basés sur la méthode directe, en utilisant une Benne preneuse de type « Van Veen » (Photo 4.1), des sacs en plastique, du papier glacé et un crayon pour énumérer les étiquettes, un GPS Garmin (Photo 4.2) qui permet de prendre les coordonnées métriques de ces stations.



Photo 4.1 : Benne preneuse de type «Van Veen ».



Photo 4.2 : GPS Garmin.

En final, 42 échantillons ont été récoltés et destinés pour des analyses granulométriques au niveau du laboratoire de géologie et d'aménagement de l'Enssmal (LGA).

4-1-2 Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique permet de déterminer et observer les différents diamètres de grains constituant un sédiment. Pour cela l'analyse consiste à les séparer et les classer selon leurs diamètres. Ensuite une représentation graphique de l'analyse sera effectuée, ce qui nous permet une bonne observation et exploitation d'informations.

4-1-2-1 L'analyse au laboratoire

Le traitement et l'analyse des échantillons ont été réalisés au niveau du laboratoire selon les étapes suivantes (Figure 4.2) :

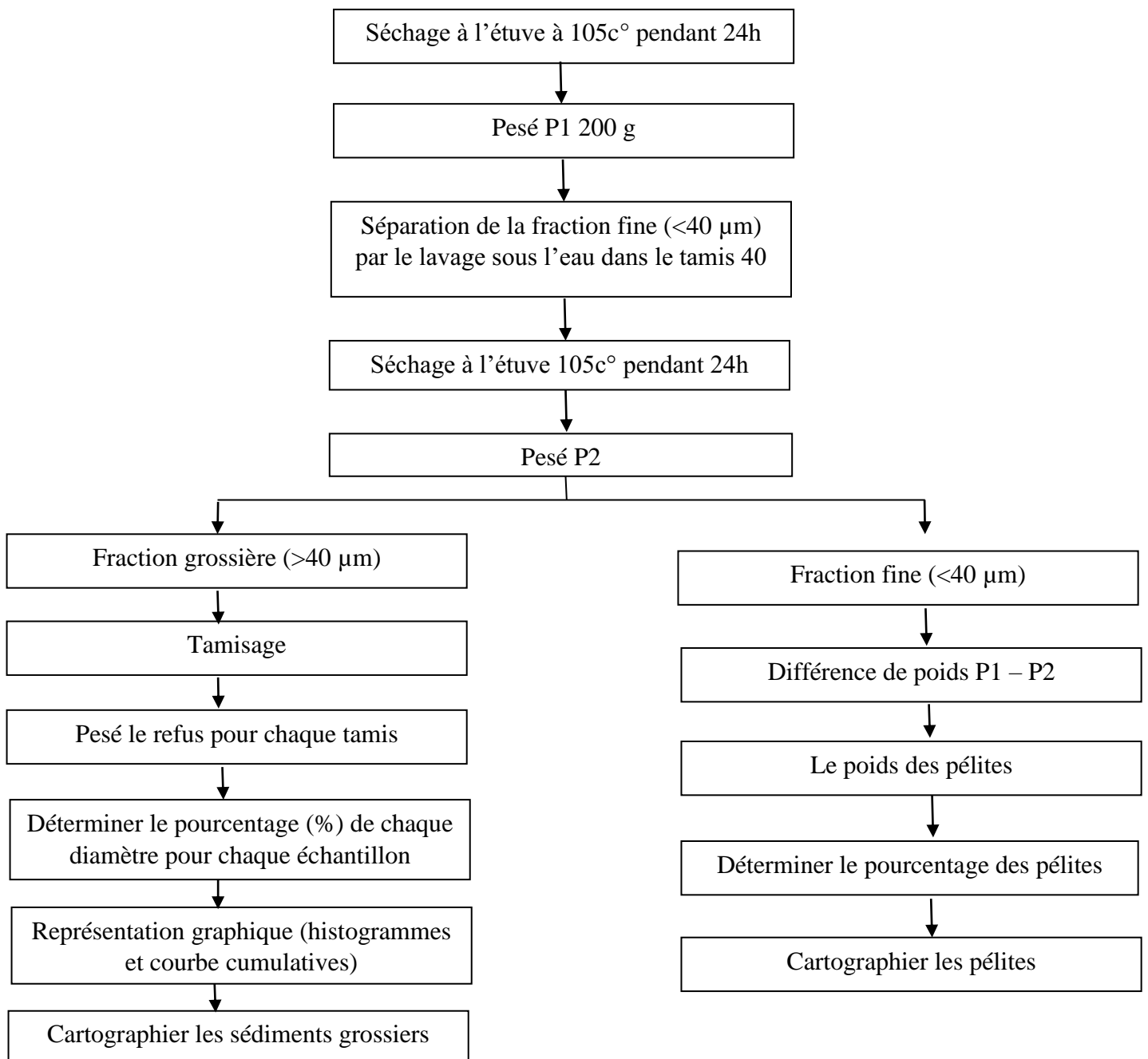


Figure 4.2 : Organigramme des modalités de l'analyse Granulométrique

4-1-2-2 L'analyse numérique

4-1-2-2-1 La fraction fine

L'étude de la fraction fine (inférieure à 40 μm) consiste d'abord à évaluer son pourcentage pour chaque échantillon dans un poids considéré, ensuite établir une carte des pélites représentant sa répartition dans la zone d'étude pour les deux périodes.

4-1-2-2-2 La fraction grossière

4-1-2-2-2-1 Les paramètres de position

Les paramètres de position sont extraits à partir des courbes de fréquence cumulative sachant que le pourcentage des tamis cumulés est présenté en ordonnée avec une échelle arithmétique, ainsi que les diamètres des tamis en abscisse avec une échelle logarithmique, ces derniers nous permettent le calcul des différents indices.

➤ Les quantiles

D10 :10% : diamètre du grain à l'ordonnée 10% (décile)

Q1 :25% : diamètre du grain à l'ordonnée 25% (quartile)

D50 :50% : diamètre du grain à l'ordonnée 50% (médiane)

Q3 :75% : diamètre du grain à l'ordonnée 75% (quartile)

D90 :90% : diamètre du grain à l'ordonnée 90% (décile)

➤ Le mode granulométrique

Il correspond au diamètre du tamis qui représente la fraction sédimentaire dominante dans un même échantillon. Il est déduit à partir de l'histogramme de fréquences. (Riviere, 1977) On distingue trois formes :

- Courbe (ou histogramme) unimodale : dominance d'un seul stock sédimentaire
- Courbe (ou histogramme) bimodale : dominance de deux stocks sédimentaires ;
- Courbe (ou histogramme) plurimodale : dominance de plusieurs stocks sédimentaires.

4-1-2-2-2-2 Les indices granulométriques

➤ Indice central (diamètre moyen) M_z :

Permet de positionner globalement l'échantillon sur l'échelle des dimensions des grains. Il traduit la puissance moyenne des paléoécoulements (Losson et Corbonnois 2006).

$$M_z = \frac{(\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84})}{3}$$

Où $\phi = -\log_2(D)$ qui est le logarithme à base de 2 du diamètre D en millimètre.

➤ Indice de classement (S_0 ; sorting de trask) :

Cet indice S_0 permet d'apprécier le degré de classement d'un sédiment (**TRASK, 1932**)

(Durafour, 2014)est exprimé par :

$$S_0 = \sqrt{\frac{Q_{75}}{Q_{25}}}$$

Pour le classement, les valeurs adoptées sont les suivants :

Tableau 4.1 : le classement des sédiments selon les valeurs de S_0

S_0	Classement
< 1	très bien classé
1 - 2.5	bien classé
2.5 - 3	normalement classé
3 - 4	mal classé

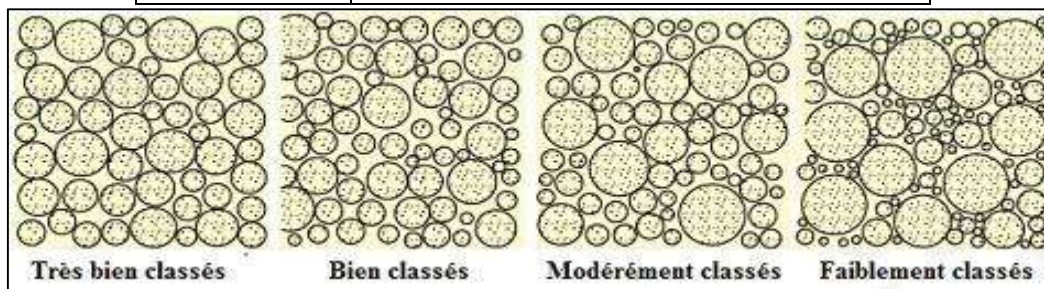


Figure 4.3 : Représentations visuelles des différents degrés de classement des sédiments (**Tucker, 2011in Durafour, 2014**)

➤ Le coefficient d'asymétrie (S_k ; Skewness de Trask)

Il caractérise le degré de symétrie de la courbe par rapport à la médiane, qui est défini par la relation suivante :

$$S_k = \frac{Q_{25} * Q_{75}}{(D_{50})^2}$$

- Si $S_k < 1$, le classement est maximum vers les fines.
- Si $S_k = 1$, la symétrie est parfaite.
- Si $S_k > 1$, le classement est maximum vers les grossiers.

4-1-3 Résultats

La cartographie de la distribution spatiale des paramètres granulométriques peut fournir des informations sur la provenance des sédiments et les conditions de dépôt (**Friedman, 1979 ; Bui et al, 1990 in Cordier, 2007**).

4-1-3-1 La fraction fine

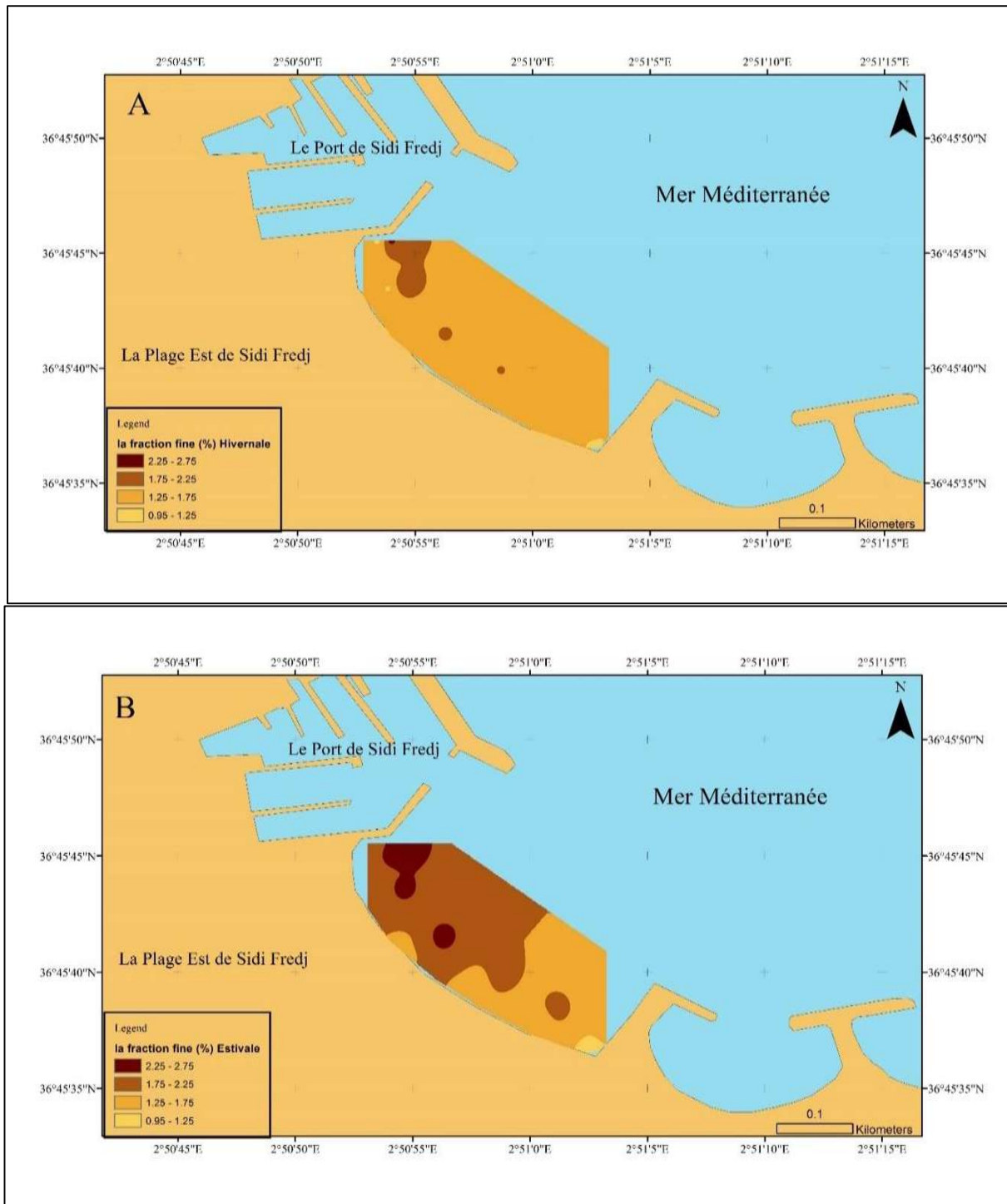


Figure 4.4 : les cartes de la répartition de la fraction fine dans la partie sous-marine (A : la période Hivernale, B : la période Estivale).

Les résultats obtenus (Figures 4.4) montrent que la teneur en fraction fine diminue en se déplaçant de la digue portuaire vers l'ouvrage dans les deux périodes cela est expliqué par la grande influence de l'énergie de la houle sur la dynamique sédimentaire à côté de l'ouvrage. Le pourcentage de la fraction pélitique des deux périodes hivernale et estivale augmente tout en se rapprochant de la digue portuaire, cela est probablement dû à la variation saisonnière de l'énergie de la houle.

4-1-3-2 la fraction Grossière

4-1-3-2-1 les paramètres de positions

➤ Les courbes modales

Le traitement numérique des résultats de l'analyse granulométrique par le logiciel Matlab (version R2013a) permet de représenter les résultats par des courbes et des histogrammes.

- Les courbes unimodales

Elles indiquent la présence d'un seul stock sédimentaire représenté par un seul mode granulométrique.

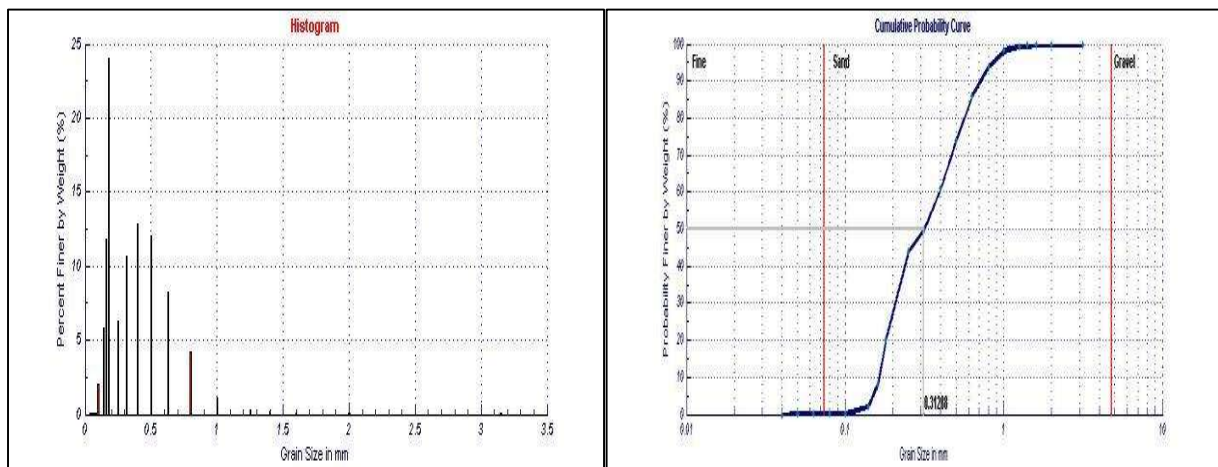


Figure 4.5 : Courbe et histogramme unimodale

- Les courbes bimodales

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

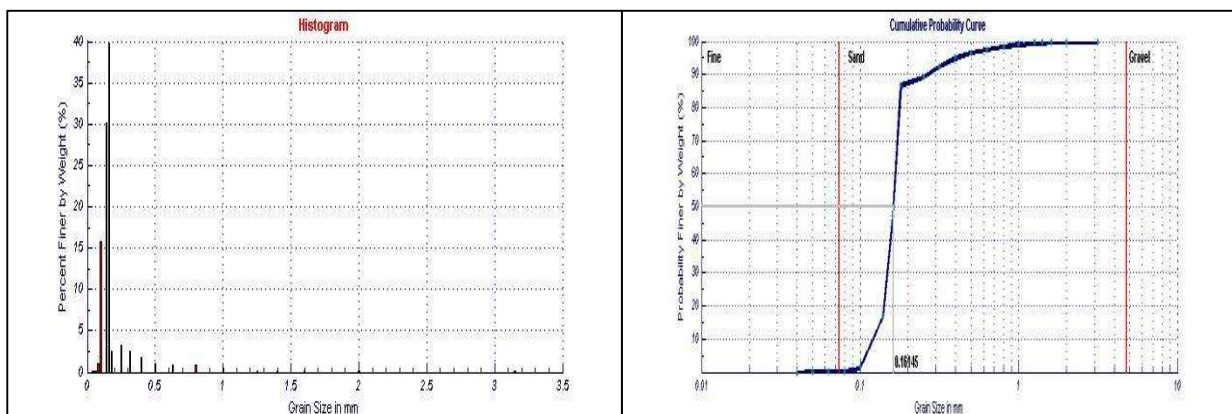


Figure 4.6 : Courbe et histogramme bimodale

- Les courbes plurimodales

Elles rendent compte de la présence de plusieurs stocks sédimentaires au sein d'une même population dynamique. Elles sont surtout représentatives du sédiment grossier.

Ces courbes sont marquées par la présence de plusieurs modes granulométriques représentatifs du sédiment.

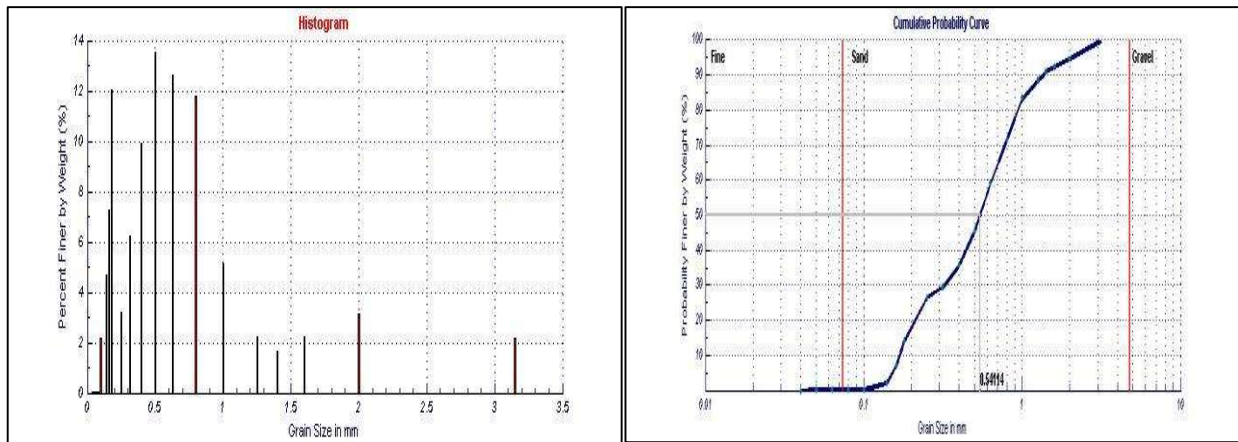
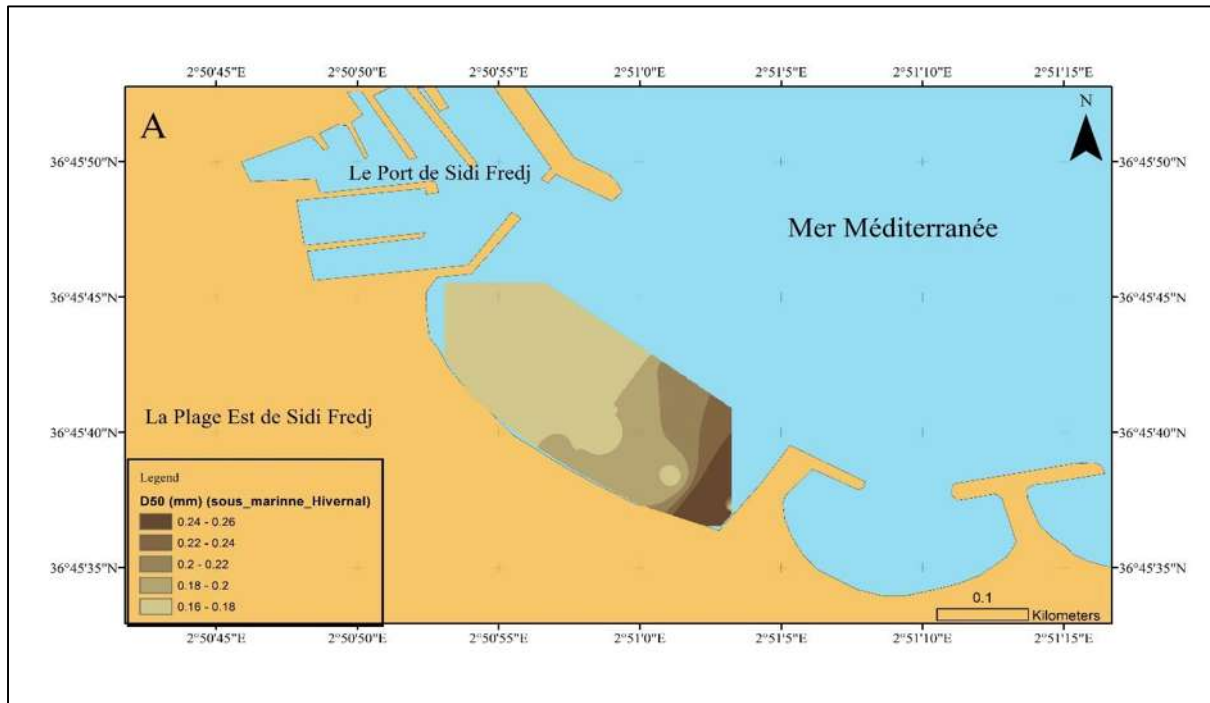


Figure 4.7 : Courbe et histogramme plurimodale

➤ La médiane (D50)

Le diamètre médian D50 est l'indice de taille le plus fréquemment employé puisqu'il donne une estimation de la grandeur médiane du sédiment. (Durafour, 2014)

a- La partie sous-marine



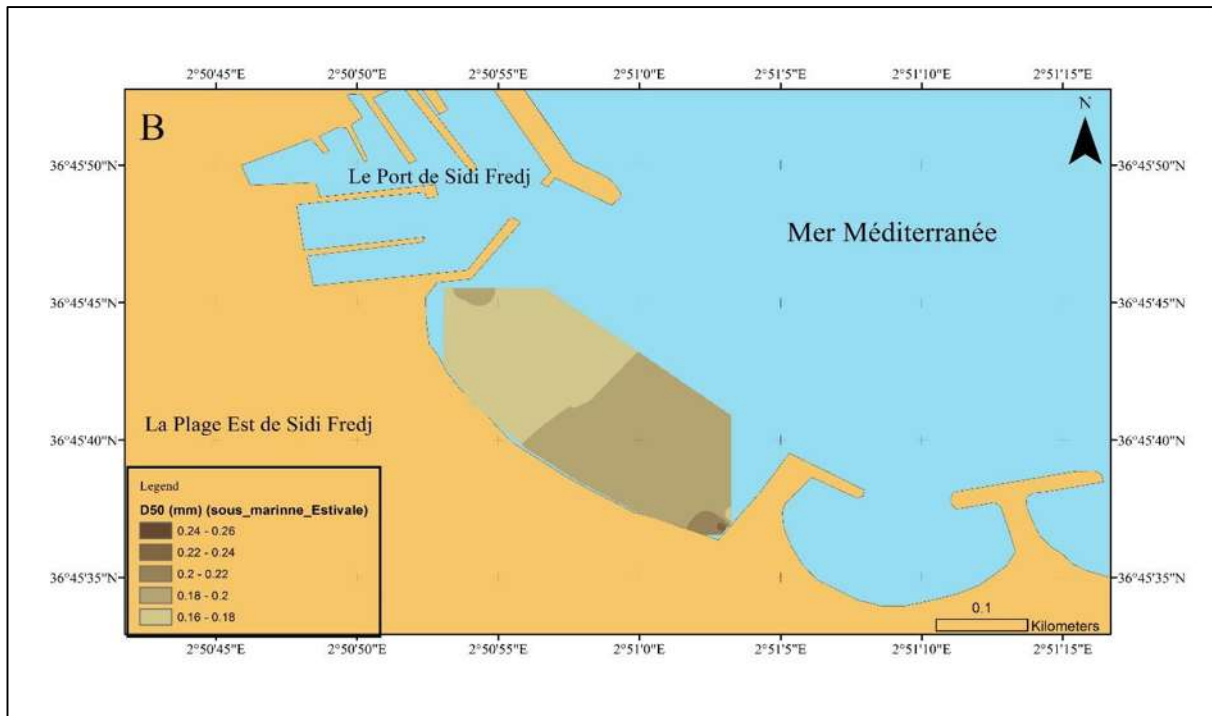


Figure 4.8 : les cartes de la répartition du D50 (mm) dans la partie sous-marine (A : la période Hivernale, B : la période Estivale).

Les cartes montrent la répartition de la Médiane (D50) dans la partie sous-marine de deux périodes. Les particules grossières se localisent au niveau de la partie qui est proche de l'épi où cette partie est exposée à la houle plus que la partie ouest à l'abri de la digue portuaire qu'est protégée, tout en traduisant une activité hydrodynamique intense qui opère de façon à mobiliser les particules fines et laisser celles dont la taille est plus importante sur place. La variation saisonnière de cette répartition est caractérisée par un changement de diamètre des particules avec un taux d'environ 0.05 mm dans toute la zone qui peut être expliqué par le changement saisonnière des conditions d'agitation et la diminution de l'hydrodynamisme qui influencent sur le transport sédimentaire.

- La partie aérienne

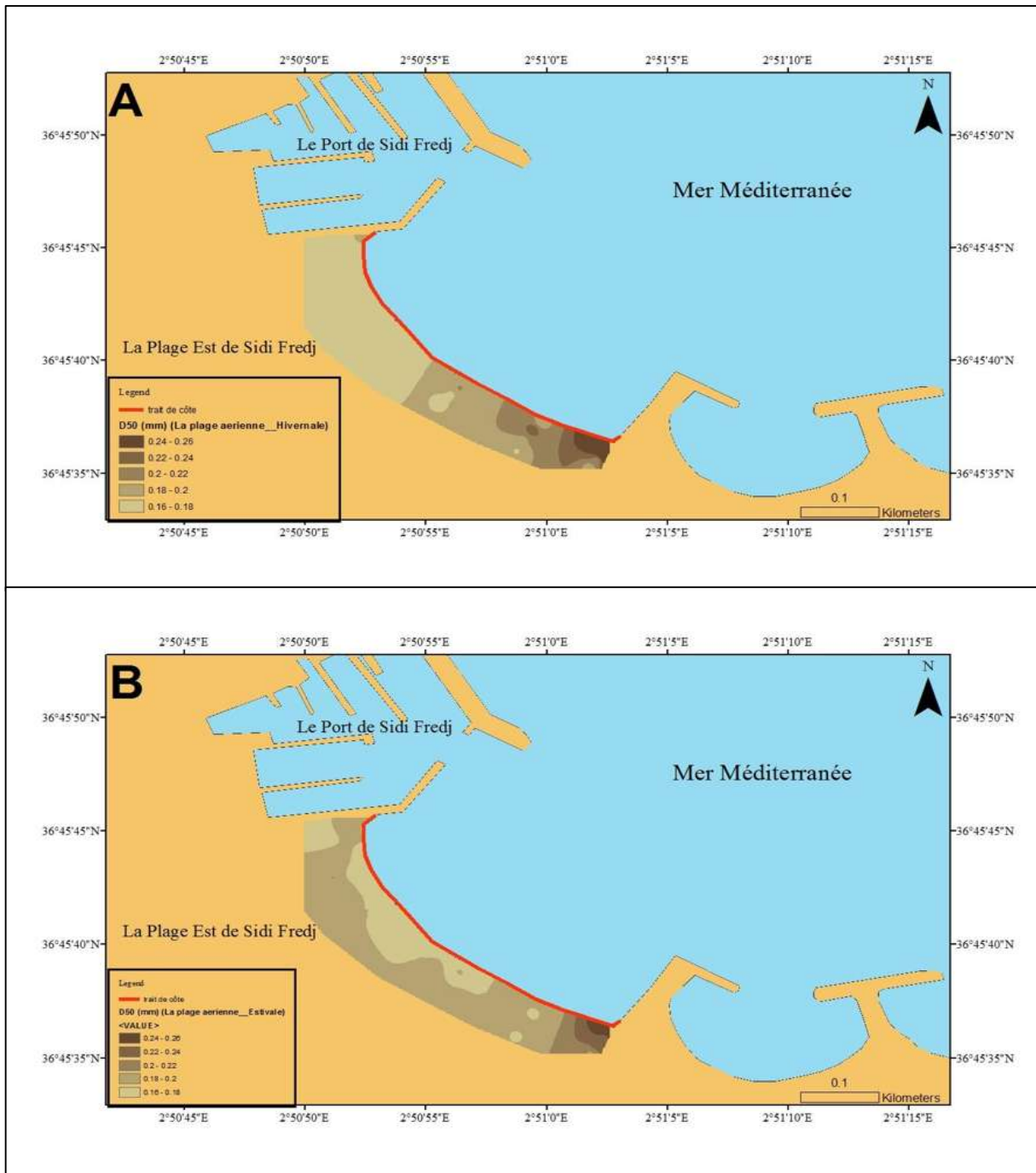


Figure 4.9 : Les cartes de la répartition du D50 (mm) dans la partie aérienne (A : la période Hivernale, B : la période Estival).

Les résultats obtenus montrent que le diamètre des grains augmente en allant de l'ouest de la plage (la digue portuaire) vers l'Est (avant l'épi en L) dans les deux périodes dont le diamètre le plus grossier est de l'ordre de 0.25 mm qui se situe proche de l'épi. La répartition de la médiane dans la plage aérienne montre aussi que les diamètres diminuent entre la période hivernale et la période estivale qui peut être expliquée par la variation climatique saisonnière qui permet le transport des particules fines et leurs dépôts dans cette zone.

4-1-3-2-2 Les indices granulométriques

- L'indice de classement (S_0)

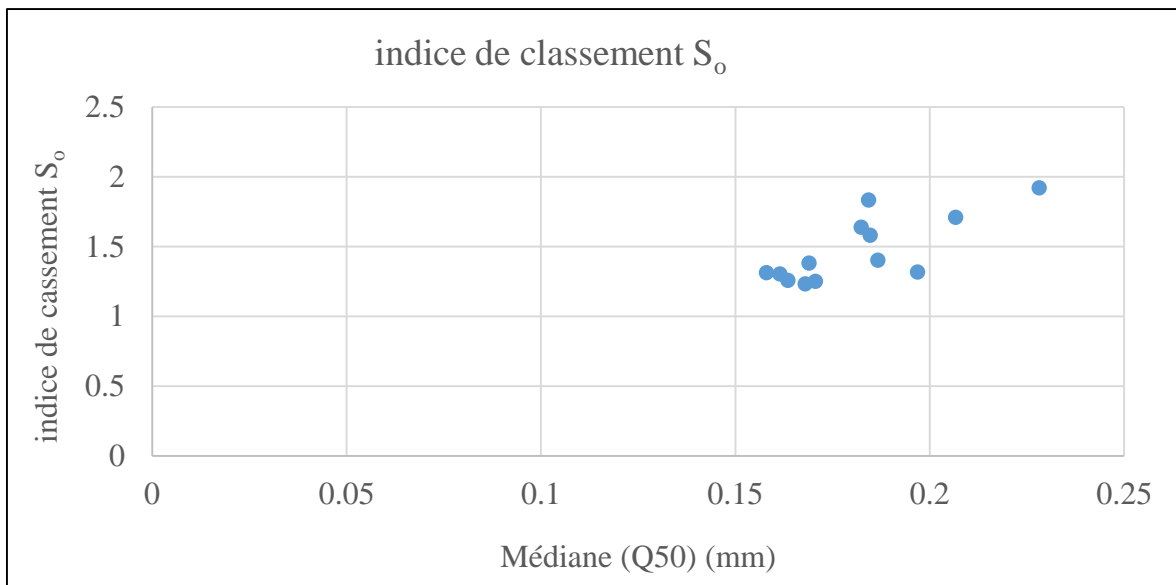


Figure 4.10 : Relation entre l'indice de classement et la Médiane(Q50).

Les valeurs de S_0 obtenues dans la partie Est de Sidi Fredj varient entre 1 et 2. Ce qui nous a permis de déduire que les sédiments de la région sont bien classés.

- L'indice d'asymétrie (S_k)

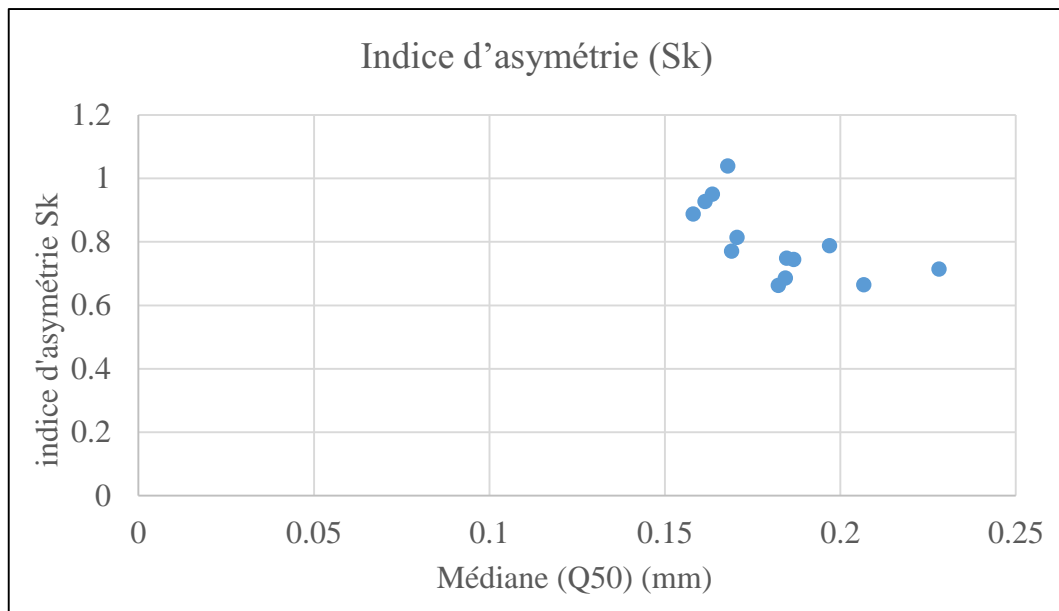


Figure 4.11 : Relation entre l'indice d'asymétrie et le diamètre moyen

Les valeurs de l'indice d'asymétrie des échantillons prélevés sont en majorité inférieures à 1, ceci traduit un classement maximum vers les fractions fines de notre zone d'étude.

4.2 Etude morphodynamique

4-2-1 Modélisation numérique de la dynamique littorale

La modélisation de la houle sert à déterminer l'action de la bathymétrie sur la réfraction des vagues et l'impact de ces dernières sur la ligne de rivage, ainsi qu'une ébauche d'un modèle d'évolution des différentes morphologies de l'estran en fonction des agents météo-marins locaux. (**Bertier, 2009**), alors les houles vont générer des forces en créant des mouvements des masses d'eaux, qui correspondent aux courants côtiers. Le transport des sédiments non cohésifs (sables) 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. (**Doré, Lohier, & Grunnet, 2009**).

La suite du logiciel MIKE 21, développé par DHI, permet de modéliser numériquement le transport sédimentaire intégrant l'ensemble des paramètres entrants 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-sédimentaire de la zone d'étude, une modélisation bidimensionnelle de la propagation de la houle, de la courantologie et du transport sédimentaire est mise en œuvre. (**Doré, Lohier, & Grunnet, 2009**)

4-2-1-1 Les outils pour réaliser la modélisation numérique

- MIKE21

MIKE est un système logiciel développé par le Danish Hydraulics Institute (DHI) et reposant sur un maillage structuré ou, pour certains modules, sur un maillage non structuré. Actuellement, MIKE se compose de MIKE21 et MIKE21/3 systèmes. Il a trois principaux modules tels que l'hydrodynamique (HD), le transport de sable (ST), et le spectre de la houle (SW). (**Than, 2015**)

- Description des modules de logiciel MIKE 21

➤ MIKE 21 HD

MIKE 21 HD constitue le cœur 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 courants en fonction des paramètres de forçage des zones côtières et du large.

➤ MIKE 21 SW

MIKE 21 SW est le module de propagation de la houle spectrale. C'est un modèle basé sur la conservation de la densité de l'action d'onde qui permet de simuler la propagation des houles dans les domaines offshore et côtier.

➤ MIKE 21 ST

Le module ST de la suite MIKE 21 est mis en œuvre pour la modélisation du transport sédimentaire. Il 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. (Doré, Lohier, & Grunnet, 2009)

4-2-2 Modélisation numérique de la dynamique littorale dans la plage Est

Modélisation couplée propagation de houle / courantologie / transport sédimentaire à l'échelle locale basé sur les conditions de la houle au large qui sont des données de SSMO Tableau (4.2) et la morphologie sous-marine (la bathymétrie de la zone) ainsi les caractéristiques des forces physiques et sédimentaires.

4-2-2-1 Echelle locale

L'échelle locale de la dynamique littorale de la zone côtière est un couplage des modèles de propagation de la houle, hydrodynamique et de transport sédimentaire. Ce modèle couvre la côte autour de la zone d'étude. Il simule les modifications du littoral dus aux régimes des vagues. Le domaine de calcul et le maillage de la bathymétrie sont représentés dans la figure (4.11).

4-2-2-2 Délimitation de la zone

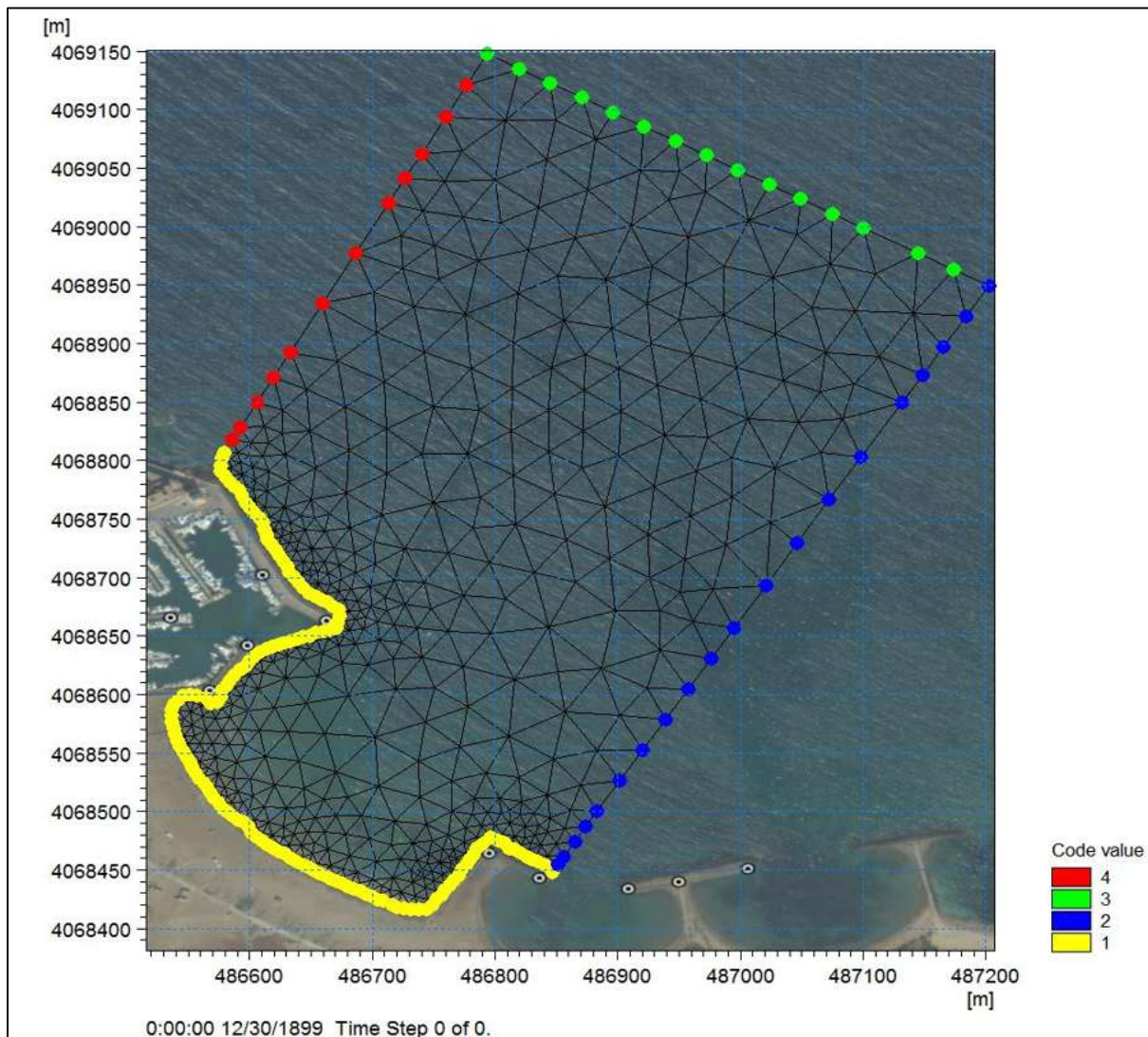


Figure 4.12 : la délimitation de la zone et le codage de chaque limite.

Selon les données sur la zone d'étude, le domaine de la simulation est dans la direction Nord-Est, avec une longueur vers le large est d'environ 1000m et une largeur d'environ 500m.

4-2-2-2-1 Conditions aux limites

La connaissance des caractéristiques de la houle aux niveaux des limites est nécessaire pour réaliser la simulation. Pour notre cas, les limites Sud-Est (côté droit avec le code n°2) et Nord-Ouest (côté gauche avec le code n°4) sont considérées comme des frontières latérales « Lateral boundary », la variation de la houle est en face la plage sur la limite Nord-Est.

Tableau 4.2 : les caractéristiques de la houle au large (SSMO, 1970)

Période	Direction de la houle au large			
	N45°	N270°	N315°	N360°
6s	Hs = 1.09m	Hs = 1.19m	Hs = 1.10m	Hs = 1m
8s	Hs = 2.56m	Hs = 2.67m	Hs = 2.64m	Hs = 2.67m
10s	Hs = 5.05m	Hs = 5.54m	Hs = 4.53m	Hs = 4.92m

4-2-2-2-2 Calibration du modèle

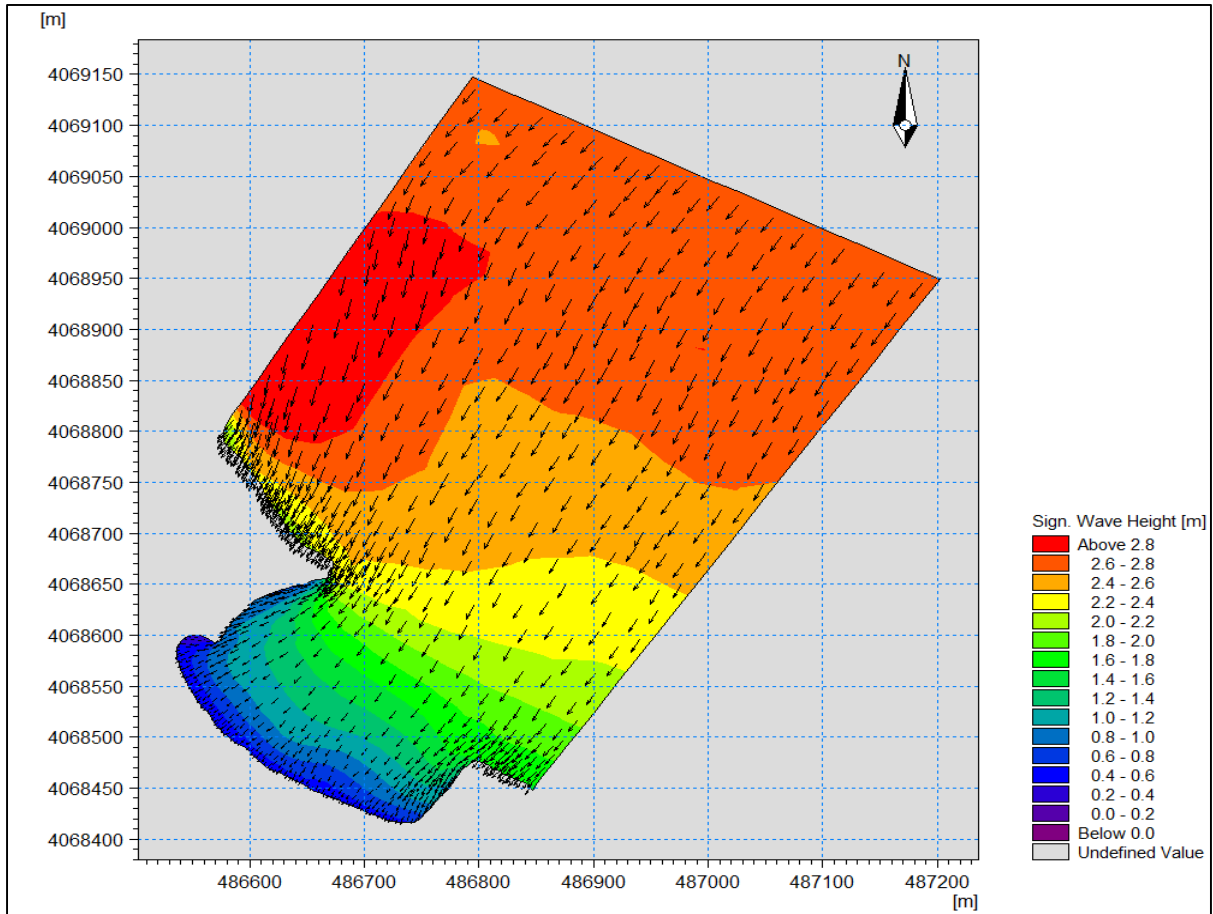
Les différents paramètres physiques (les forces d'hydrodynamisme et les caractéristiques sédimentaires) sont spécifiés pour réaliser la simulation (voir annexe 6).

4-2-3 Évolution de la morphodynamique de la plage Est entre 2015 et 2017

La simulation de la morphodynamique de la plage Est de Sidi Fredj est réalisée en fonction des houles au large avec la période (8s) sur les quatre directions (45°, 270°, 315° et 360°) avec la bathymétrie de 2015 et de 2017, les résultats de la modélisation expriment les champs des houles à la côte ainsi que les courants et le transport sédimentaire induits par cette houle pour les deux années (voir Annexe 6).

4-2-4 Résultats de la simulation hydrodynamique selon la houle avec les caractéristiques ($T_p=8s$, $Dir=45^\circ$, $H_s=2.56m$)

4-2-4-1 La houle à la côte



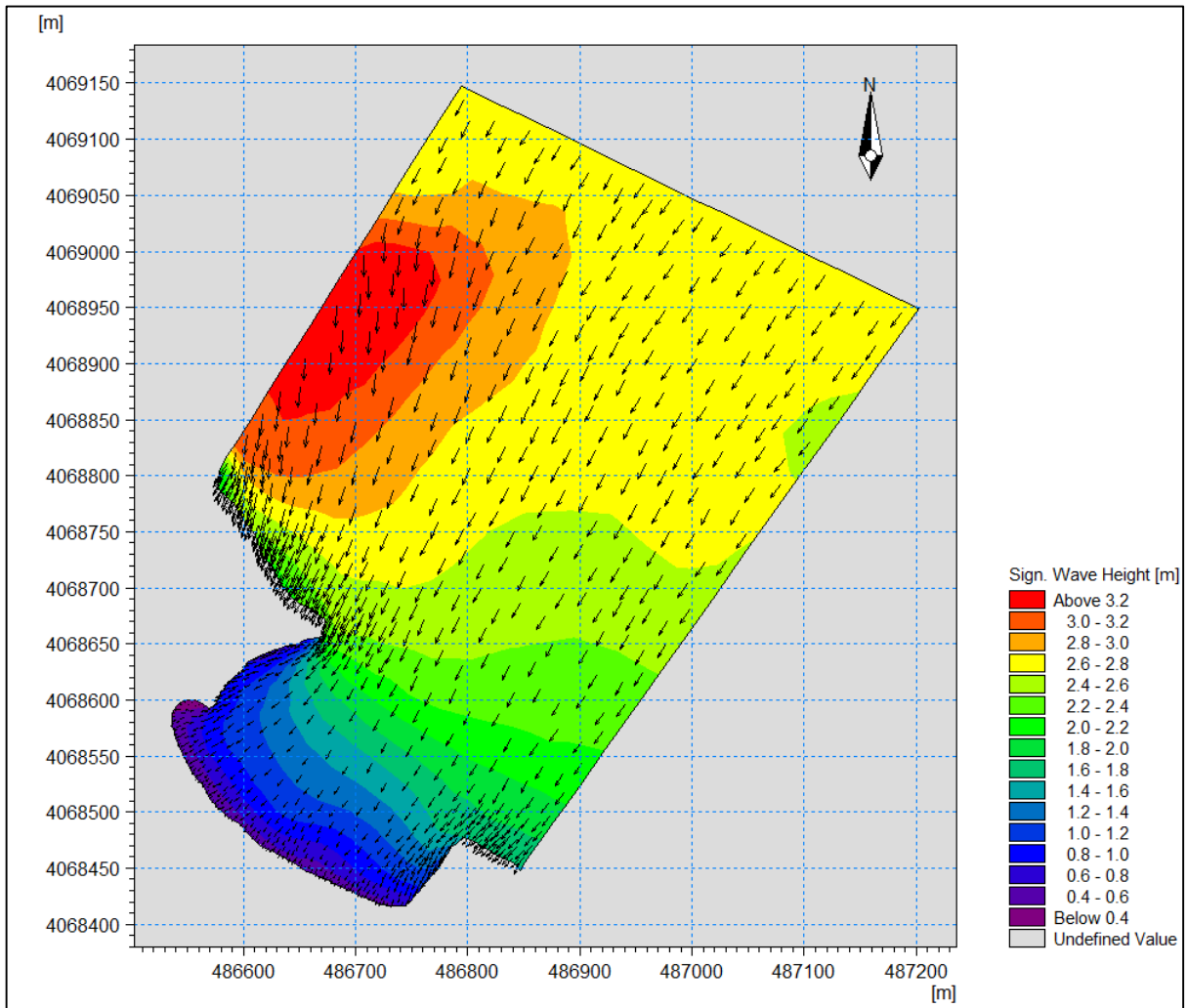


Figure 4.14 : Simulation de la propagation des houles à la côte ($T_p=8s$, $Dir= 45^\circ$, $H_s=2.56m$) pour 2017

Les figures 4.13 et 4.14 représentent les résultats de la modélisation numériques de la propagation des houles à la côte pour les années 2015 et 2017 respectivement en utilisant le module MIKE 21 SW. Les champs des houles pour les deux années ont la même direction Nord-Est, avec des hauteurs plus importantes en 2017 par rapport à 2015. La hauteur maximale est d'environ de 3.2 m pour 2017 et 2.8 m pour 2015. De plus, les houles incidentes à la côte varient entre 0 et 0.4m en 2015 par contre en 2017 elles varient de 0.4 jusqu'à 0.8 m. Au large les houles ont presque les mêmes hauteurs (2.6-2.8m) pour les deux années.

4-2-4-2 Les courants

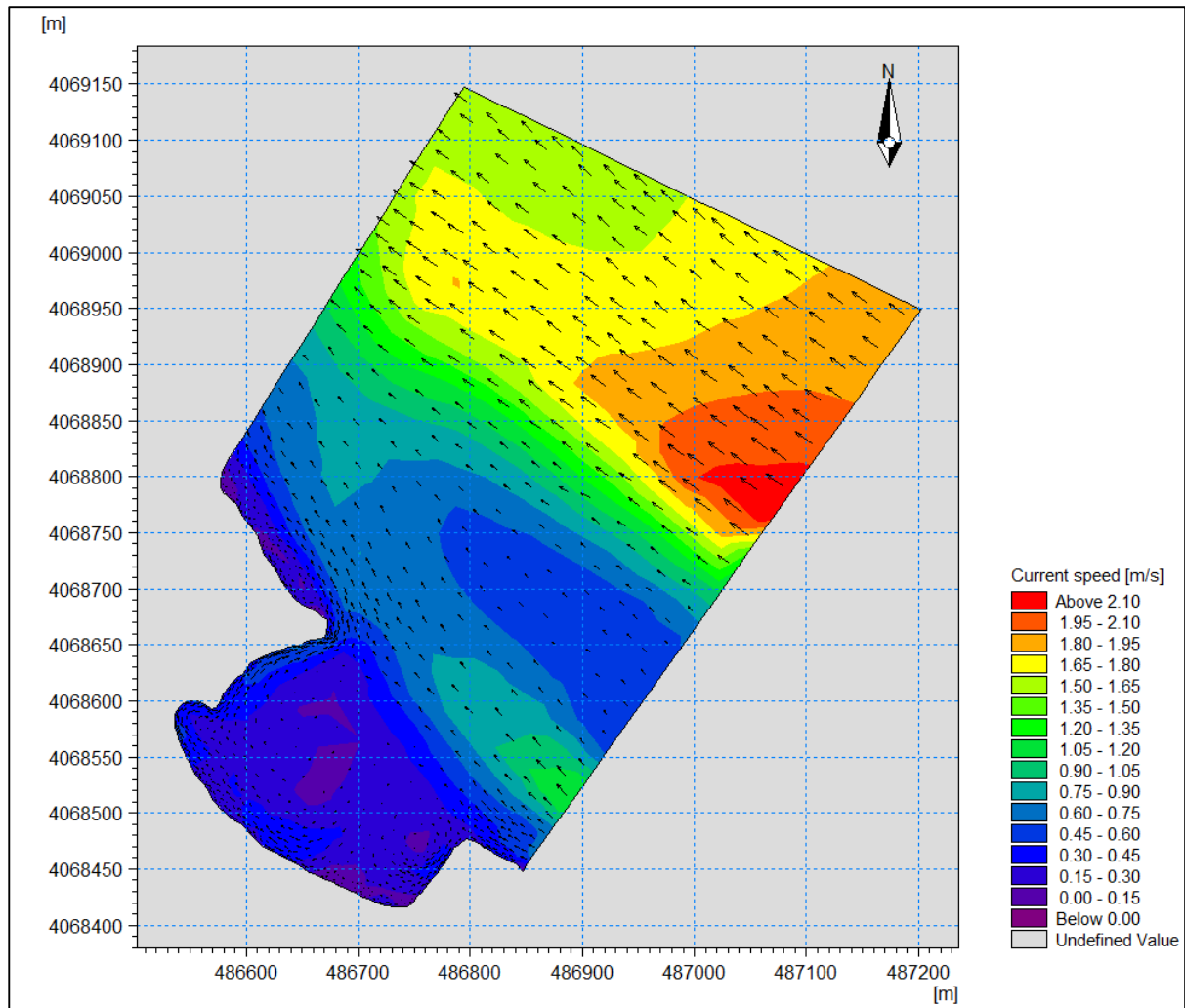


Figure 4.15 : Simulation des courants dans la plage Est (Tp=8s, Dir=45°, Hs=2.56) pour 2015

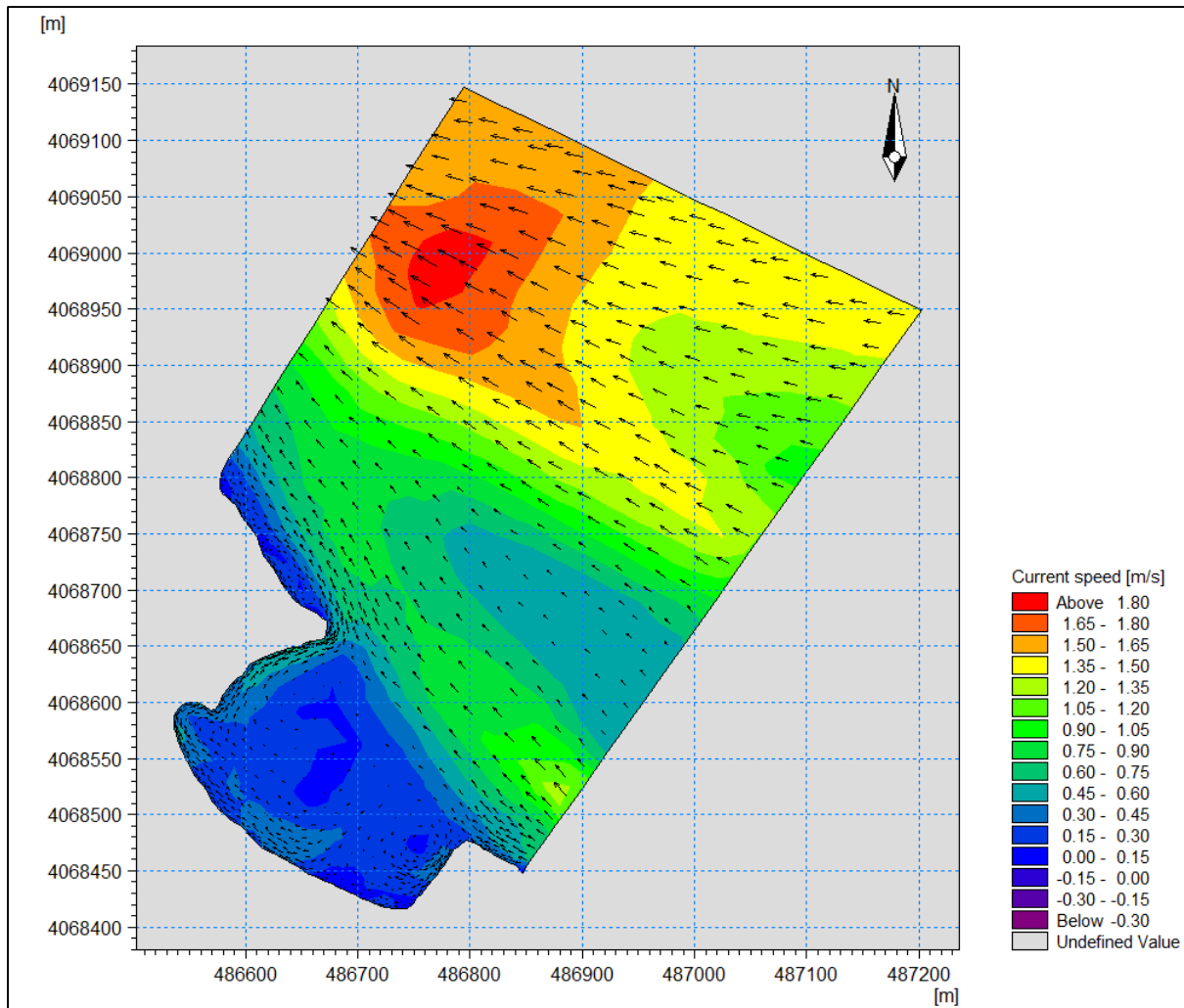


Figure 4.16 : Simulation des courants dans la plage Est (Tp=8s, Dir=45°, Hs=2.56) pour 2017

Les figures 4.15 et 4.16 illustrent les résultats de la modélisation numérique des courants générés par les houles Nord-Est dans la zone d'étude pour 2015 et 2017 en utilisant le module MIKE 21HD.

Les champs des courants ont presque les mêmes directions pour 2015 et 2017. Au large sont dans la direction Nord-Ouest. Puis en rapprochant un petit peu à la côte, leurs directions deviennent Nord-Ouest. Au bord de la plage ils sont générés d'une façon où ils suivent la trajectoire du trait de côte, en allant de l'épi en L du côté Sud-Est vers la digue du port en Nord-Ouest.

Les vitesses des courants montrent une différence entre 2015 et 2017. Au large elles varient entre 1.05 m/s jusqu'à 2.10 m/s pour 2015 et entre 0.90 m/s jusqu'à 1.80 m/s pour 2017. En se rapprochant un petit peu à la côte, elles varient entre 0.60 m/s et 1.05 m/s pour 2015 et entre 0.30 m/s jusqu'à 0.90 m/s pour 2017. Au bord de la plage, elles varient entre 0 m/s à 0.60 m/s pour 2015 et du 0 m/s à 0.30 m/s pour 2017.

4-2-4-3 Transport sédimentaire

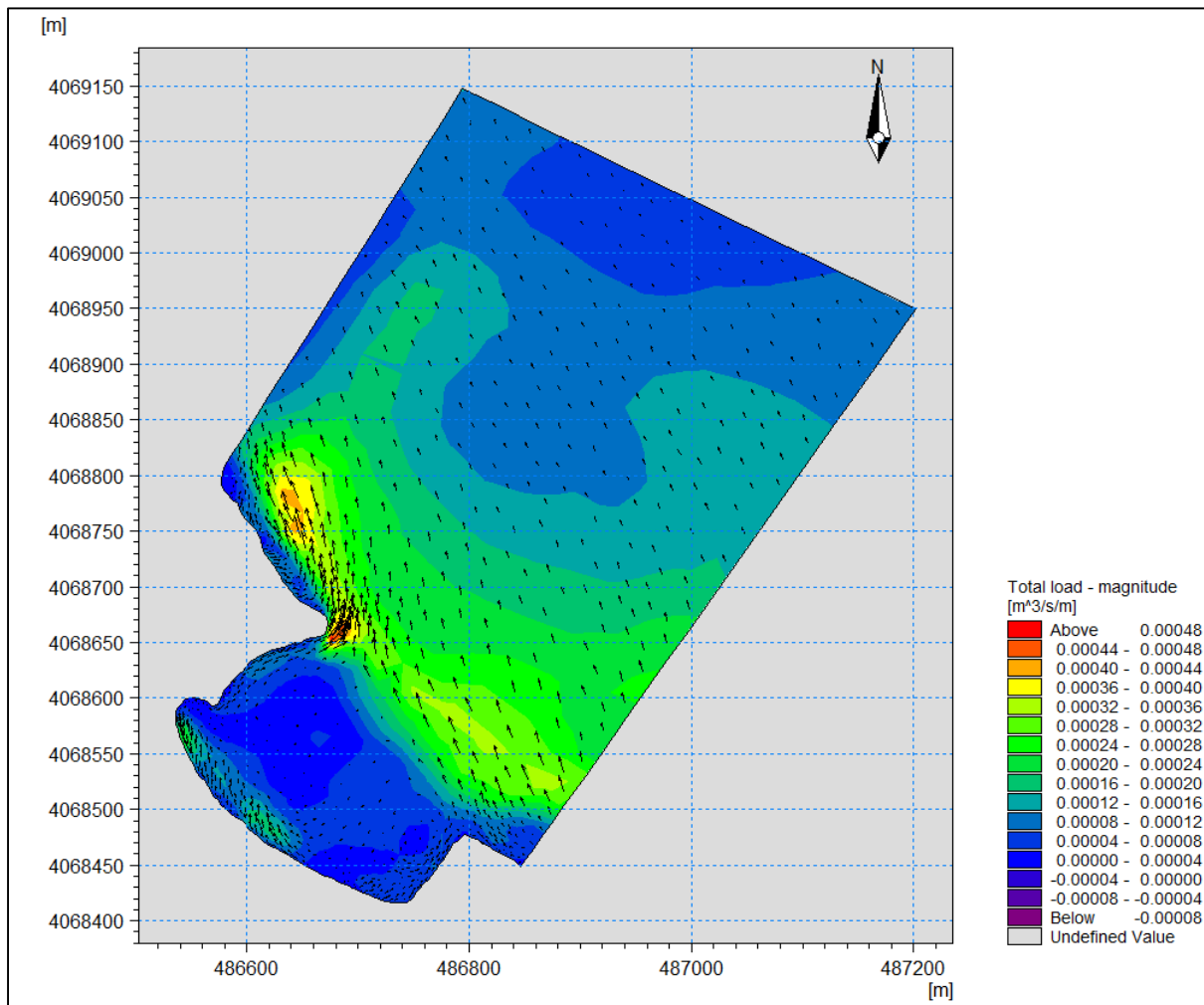


Figure 4.17 : Simulation du transport sédimentaire dans la plage Est ($T_p=8s$, $Dir=45^\circ$, $H_s=2.56$) pour 2015

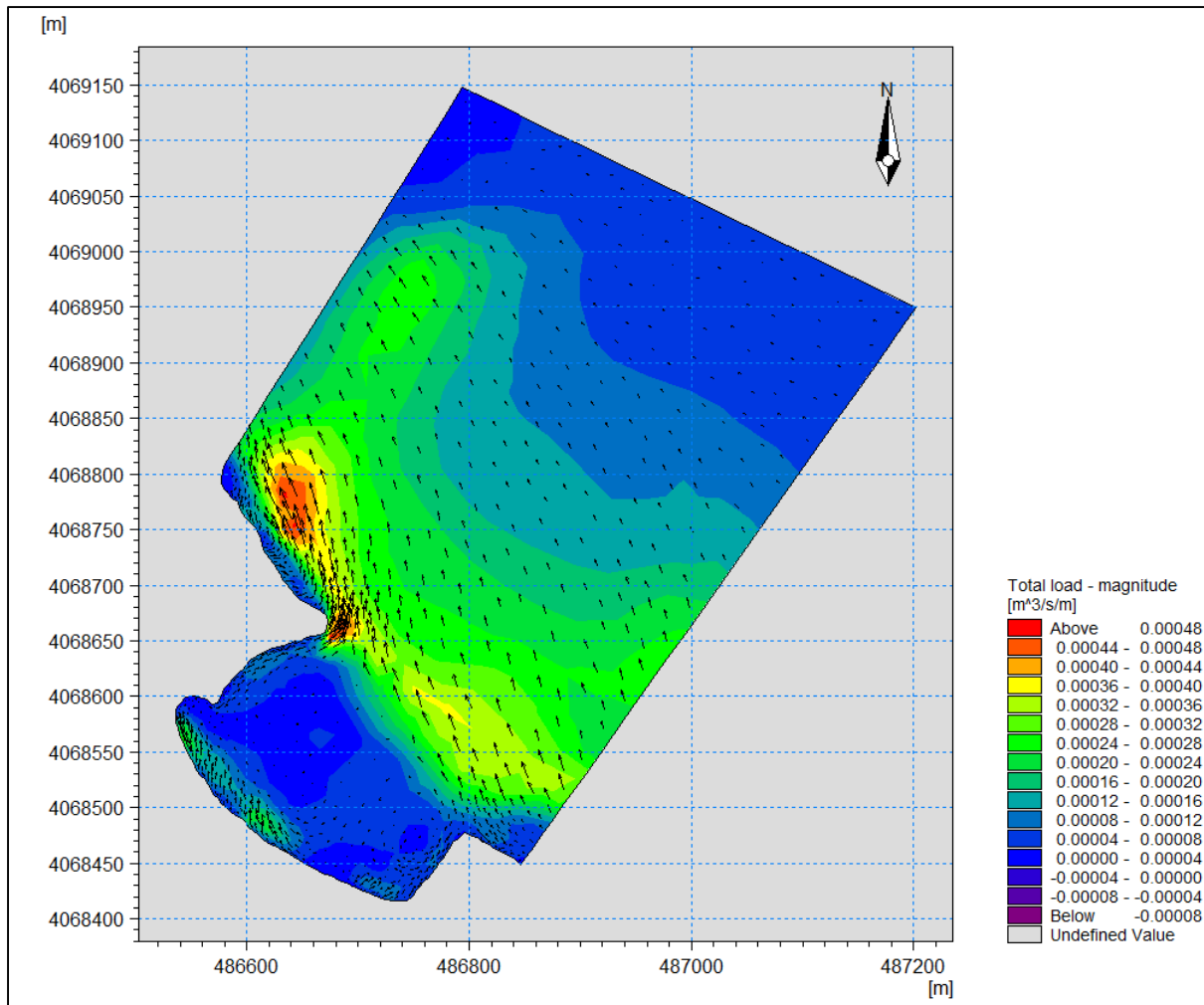


Figure 4.18 : Simulation du transport sédimentaire dans la plage Est ($T_p=8s$, $Dir=45^\circ$, $H_s=2.56$) pour 2017

Les figures 4.17 et 4.18 présentent le transport sédimentaire dans la zone d'étude pour 2015 et 2017 respectivement, modélisé par le module MIKE 21 ST résultant des courants générés par les houles de Nord-Est.

Sur le domaine globalement le transport sédimentaire a les mêmes directions pour 2015 et 2017. Au bord de la plage, il suit la trajectoire de la ligne du rivage en allant du Sud-Est de l'épi en L vers la digue du port en Nord-Ouest. Au large, il est majoritairement dans la direction Nord-Ouest.

Pendant les deux années 2015 et 2017, le débit volumique de transport sédimentaire est relativement faible au bord de la plage. Il ne dépasse pas $0.8 \cdot 10^{-4} \text{m}^3/\text{s}/\text{m}$, sauf dans une petite partie à l'approche du port où il est de l'ordre de $0.24 \cdot 10^{-3} \text{m}^3/\text{s}/\text{m}$. Puis en avançant un petit peu vers le large, le débit augmente un petit peu, où il varie entre $0.16 \cdot 10^{-3} \text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ à $0.48 \cdot 10^{-3} \text{m}^3/\text{s}/\text{m}$. Au large il va diminuer avec un transport variant de 0 à $0.8 \cdot 10^{-4} \text{m}^3/\text{s}/\text{m}$.

4-2-5 Conclusion

L'étude sédimentaire nous a fournir des informations sur la répartition sédimentaire de la plage Est de Sidi Fredj.

Les cartes des pélites obtenues, informent sur les faibles teneurs en fraction fine dans les échantillons récoltés de la plage pendant les deux périodes, et la répartition de la médiane montre une dominance de sable moyen pour les deux périodes (0.16mm à 0.25mm) avec une légère diminution entre l'Hiver et l'été. Selon les valeurs des indices S_0 et S_k les sédiments sont bien triés avec un classement maximum vers les fins.

Pour l'hydrodynamisme, le modèle numérique permet d'illustrer les houles, le courant dû aux vagues et les modes de transport sédimentaire. Le modèle morphodynamique repose sur un couplage des modèles de propagation de la houle, du modèle de circulation et du modèle de transport sédimentaire dans le MIKE21.

D'après les résultats de la simulation, le régime morphodynamique est globalement faible sur notre zone d'étude. La modélisation de la propagation de la houle montre qu'il y a une augmentation des hauteurs de la houle dans la zone d'étude de 2015 à 2017. Ceci peut être expliqué par les modifications de la morphologie sous-marine qu'a subit la zone. Ce changement de la hauteur des vagues a influencé sur la vitesse des courants où elle a diminué en 2017 par rapport en 2015. Pour le transport sédimentaire, il est moins important pour les deux périodes (2015 et 2017) dans cette zone. Cette dernière est surprotégée par l'épi en L dans le Sud-Est et la digue portuaire au Nord-Ouest qui vont diminuer l'effet des courants en réduisant l'effet de la dérive littoral.

*Etude d'évolution
historique de trait de
côte*

Introduction

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)**

5-1 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.

Le trait de côte et son évolution (érosion, accrétion), quelle que soit la définition utilisée, est un indicateur représentatif d'une limite terre-mer, il doit avoir la qualité de représenter schématiquement mais correctement l'état global du littoral de point de vue de son évolution sédimentaire. **(C.Mallet et al, 2012)**

5-1-1 Méthodes d'étude

L'analyse de la cinématique littorale requiert avant tout le choix d'un indicateur du trait de côte, la mise au point d'une méthode d'extraction et de suivi adaptée au marqueur utilisé selon le type de côte, le matériel et les données disponibles. **(Faye, 2010)**

Le suivi du trait de côte se réalise par des mesures directes sur la zone d'études par des levés sur terrains (GPS, DGPS, théodolite) ou bien par des levés aériens et d'imagerie satellite (Photos aériennes, images satellitaires de Land Sat ou de Google Earth), les données récoltées vont être traitées numériquement par des programmes de SIG pour représenter le trait de côte ainsi sa variation à l'échelle spatio-temporelle.

5-1-2 Difficultés de représentation

Compte tenu de sa nature géométrique, le trait de côte est généralement cartographié en mode d'implantation linéaire. Par conséquent, les positions successives d'un trait de côte à différentes dates sont traduites cartographiquement par le tracé d'une série de lignes géoréférencées pouvant, selon la situation, se confondre ou se croiser. Sur des secteurs littoraux évoluant à faible vitesse ou pour des suivis à haute fréquence temporelle, cette représentation n'est pas tout à fait satisfaisante même si utilisée à grande échelle. Il est, en effet, souvent difficile de respecter la règle de sélectivité ou de séparation visuelle, si les

écarts provoqués par progradation ou érosion du littoral sont trop faibles. (Ibrahima Faye et al, 2012). Ainsi la difficulté pour la détermination du trait de côte à cause de sa dynamique ou il n'a pas des limites fixe à l'échelle spatio-temporelle due aux différents facteurs naturels et anthropiques.

5-2 Etude diachronique

C'est une étude basée sur la comparaison entre les différentes positions du trait de côte à des dates différentes.

La difficulté de représenter les déplacements mineurs d'un trait de côte à des échelles de représentation trop petites impose de compléter le modèle de représentation cartographique classique par un modèle de représentation graphique afin de conserver l'intégrité de l'information sur la cinématique. Cette proposition a pour objectifs :

- de localiser l'évolution du trait de côte (volet cartographique)
- de mesurer et de représenter cette évolution par l'exploitation statistique des variations de la position du trait de côte (volet graphique et statistique). (**Ibrahima Faye et al, 2012**)

5-2-1 les outils de l'étude diachronique

L'étude de l'évolution du trait de côte nécessite une analyse numérique en utilisant des programmes pour traiter les données récoltées et faciliter l'étude.

➤ **Système d'Information Géographique (SIG)**

Le Système Informatique permettant, à partir de diverses sources, de rassembler et d'organiser, de gérer, d'analyser et de combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement, contribuant notamment à la gestion de l'espace. (**Habert, 2000**)

Les différents acteurs de l'aménagement du littoral s'accordent à faire de ce système d'Information Géographique l'un des outils les plus adaptés à la gestion des milieux côtiers.

➤ **Google Earth Pro**

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.

➤ **ArcGIS**

ArcGIS est l'un des Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) les plus utilisés. Ce logiciel offre de nombreuses potentialités pour la manipulation, la gestion, l'analyse et l'édition des données spatiales. (**Kamel, 2006**)

Les applications d'ArcGIS

- 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.
- 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.
- ArcToolbox : est une boîte à outils permettant d'effectuer des conversions, des transferts de format et aussi de projection.
- ArcReader : est une application gratuite permettant d'échanger des cartes publiées entre différents utilisateurs. **(Kamel, 2006).**

Digital Shoreline Analysis System (DSAS)

DSAS (Digital Shoreline Analysis System) est un système d'analyse et de digitalisation du trait de côte, c'est une application de logiciel gratuite pour le système ESRI (Institut de Recherche du système environnemental), utilisé dans les SIG (système d'information géographique) pour le logiciel Arcgis. DSAS calcule les statistiques de taux des variations d'une série chronologique des données vectorielles de trait de côte. **(Himmelstoss et al, 2009)**

Pour quantifier les changements de position du trait de côte, il est préconisé d'utiliser cette extension (DSAS), son emploi nécessite de définir une ligne de référence fictive, une longueur pour les transects ainsi qu'un pas de mesure et de disposer de traits de côte projetés dans le même système géographique. **(Ibrahima Faye et al, 2012)**

Barre d'outils :



Figure (5.1) : barre d'outils de DSAS

Tableau (5.1) : tableau des différents outils de DSAS (**Himmelstoss et al, 2009**)

1	<i>Set/Edit default parameters</i> : (Définir/Modifier les paramètres) Spécifier les noms des fichiers de la base ligne et les traits de côtes entrés et autres paramètres tels que l'espacement des transects.
2	<i>Cast transects</i> : (transects Cast) Générer une nouvelle (ou écraser une existante) classe d'entité des transects basée sur des paramètres spécifiés par l'utilisateur par défaut.
3	Le menu déroulant répertorie tous les fichiers des transects reconnus ajoutés au projet ArcMap actif.
4	<i>Calculate statistics</i> : (calcule des statistiques) Lance une boîte de dialogue remplie d'une liste sélectionnable des statistiques de taux de changement à calculer.
5	<i>Clip transects to SCE</i> : (Clip transects vers SCE) Lance une boîte de dialogue fournissant aux utilisateurs avec la possibilité de générer une copie du fichier transect spécifié qui est coupé à l'enveloppe de changement de trait de côte (SCE) ou à distance maximale entre tous les traits de côte.
6	<i>DSAS help</i> : (fonction d'aide DSAS)
7	<i>About DSAS</i> : (À propos de DSAS) Fournit des informations sur le logiciel, Y compris le numéro de version.

5-3 Evolution historique du trait de côte de la plage Est de Sidi Fredj

Afin de suivre l'évolution du trait de côte de notre zone et déterminer les variations de sa position, l'étude est faite sur une période de dix ans (2007-2017). La réalisation de cette étude est composée de deux volets :

5-3-1 Cartographier le trait de côte

Cette étape consiste en premier lieu à préparer une base de données par le téléchargement d'une série des images satellitaires depuis Google Earth Pro puis effectuer leurs géoréférencement sous ArcGIS et définir le système de projection pour bien localiser la zone. Ensuite, on passe à la digitalisation des traits de côte de différentes années. Enfin la création de la ligne de base ; qui est une ligne virtuelle, elle doit être à une distance suffisamment loin de la surface en contact avec la mer, elle sert à être une référence fixe. Figure (5.2)



Figure (5.2) : les différentes positions du trait de côte entre 2007 et 2017 par rapport à la ligne de base.

5-3-2 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 (56 transects) numéroté du Nord-Ouest (Transect 1) au Sud-Est (transect 56) 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 (5.3)



Figure (5.3) : l'évolution des traits de côte selon les transects entre 2007 et 2017

A l'aide d'un outil de DSAS l'étude des variations de trait de côte est faite en effectuant des calculs statistiques. (Annexe 7).

Les différents paramètres calculés :

- Mouvement net de 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 transect. (**Himmelstoss et al, 2009**)

- Taux de point final (EPR) :

Le taux de point final est calculé en divisant la distance du mouvement du trait de côte par le temps écoulé entre la ligne la plus ancienne et la plus récente. Les principaux avantages de l'EPR sont la facilité de calcul et l'exigence minimale de seulement deux levés différents trait de côte. (**Himmelstoss et al, 2009**)

- Régression linéaire (LRR) :

La régression linéaire correspond à la valeur de la pente d'une droite de régression linéaire positionnée dans le nuage de points formé par les mesures de distance entre tous les points d'intersection de chaque transect et des traits de côte comparés. En traduisant également le taux d'évolution annuelle de la ligne de référence le long de chaque transect, il est intéressant si l'analyse de la cinématique littorale est 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. (**Ibrahima Faye et al, 2012**)

5-3-3 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 2007 et 2017 sont représentés dans un tableau statistique. (Annexe 7)

5-3-4 Résultats de volet graphique

Pour comprendre l'évolution de la zone d'étude entre 2007 et 2017, les paramètres statistiques (NSM, LRR, EPR) calculés à l'aide de DSAS sont représentés graphiquement.

5-3-4-1 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 2007 et 2017 calculées par rapport à la ligne de base, ces distances peuvent être négatives dans le cas d'érosion ou positives dans le cas d'accumulation. Figure (5.4)

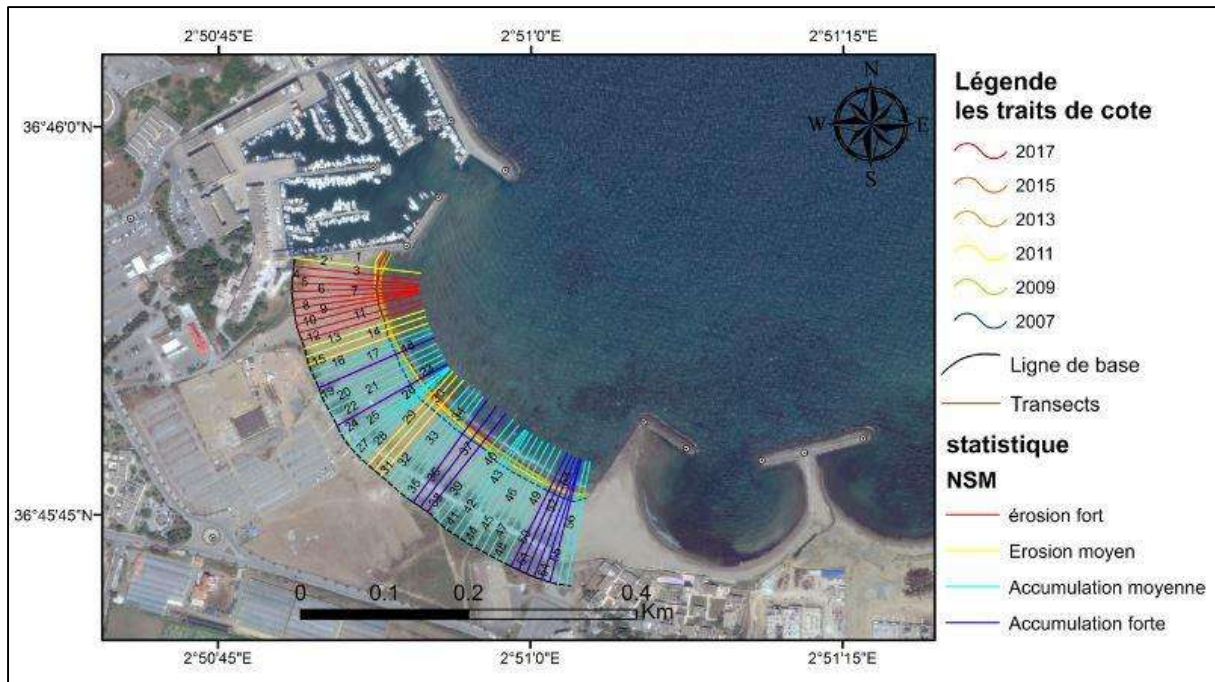


Figure (5.4) :Représentation de l'évolution de la plage en fonction de NSM entre 2007 et 2017

Par rapport aux résultats obtenus, durant cette période (2007-017) la plage est en général en état d'accumulation avec une moyenne de l'ordre de 3m ou les distances entre l'ancien et le récent trait de côte sont positives. Ce qui se manifeste par les transects bleus (ciel ou foncé) et la distance maximale d'avancée est d'environ de 5m, sauf dans la partie proche du port ou les distances sont négatives et représentées par les transects rouges et jaunes, cette partie a connu une érosion avec une moyenne de presque 2m avec une distance d'érosion maximale de -3.7m.

5-3-4-2 Le taux d'évolution de trait de côte entre 2007 et 2017 (EPR)

Le calcul statistique du taux du point final permet de distinguer les variations que la zone d'étude a subi Figure (5.5), 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 0.63 m/an dans le cas d'accrétion et d'environ de 0.46 m/an dans le cas de recul.

Les transects bleus (ciel et foncé) montrent que la grande partie de la plage est en état d'accrétion (figure 5.6) avec une vitesse moyenne de 0.38 m/an (tableau 5.2), par contre les transects rouges signifient que la partie à proximité du port a connu un recul (figure 5.6) avec une moyenne de 0.24 m/an (tableau 5.2)

D'après le diagramme figure (5.7), la vitesse d'accrétion de la plage varie selon les transects, avec quatre pics de vitesse au niveau des transects 17, 22, 36 et 53 et la vitesse minimale d'avancement est 0.19 m/an au niveau de transect 30. Concernant la vitesse de recul qui a trois pics au niveau des transects 3,7 et 10 avec une vitesse maximale de recul de 0.46m/an et le minimal est de 0.02 m/an.

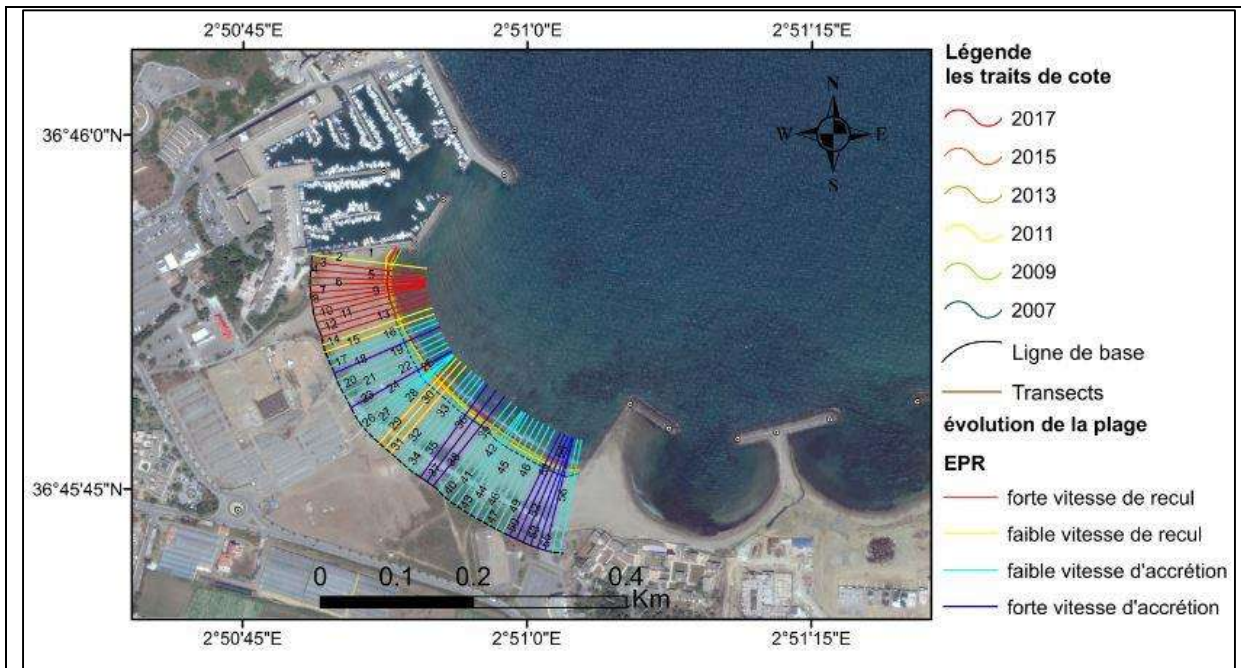


Figure (5.6) : représentation de la vitesse d'évolution de la plage (Recul ou accrétion) en fonction de l'EPR entre 2007 et 2017

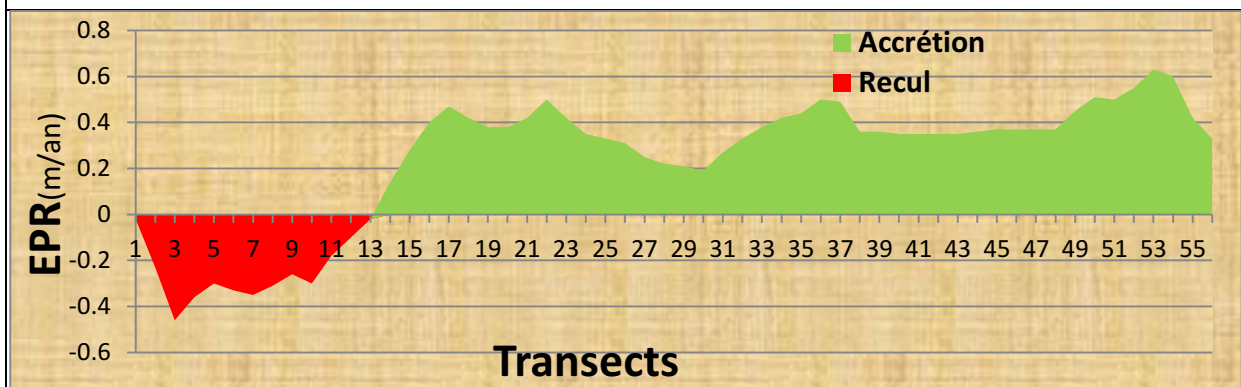


Figure (5.7) : diagramme d'évolution de trait de côte entre 2007 et 2017 en fonction de l'EPR

Tableau (5.2) : le taux d'évolution de trait de côte entre 2007 et 2017 selon l'EPR :

Statistique (EPR)		
Evolution	Recul	Accrétion
Moyenne (m/an)	-0.248	0.383

Figure (5.5) : cartographie les résultats statistique d'évolution de trait de côte entre 2007 et 2017 selon l'EPR

5-3-4-3 La régression linéaire de trait de côte entre 2007 et 2017 (LRR)

La synthèse de l'analyse de la régression linéaire dans la zone d'étude entre 2007 et 2017 (figure 5.8) a permis de définir que la plage globalement a tendance d'engraisser, 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. La vitesse maximale est de l'ordre de 0.79m/an pour l'engraissement et de 0.13 m/an pour la régression.

Les transects verts et bleus montrent que la plage a tendance d'engraisser (figure 5.9) avec une vitesse moyenne de 0.35 m/an (tableau 5.3), par contre les transects rouges signifient une régression (figure 5.9) qui est faible avec une moyenne de 0.044 m/an (tableau 5.3).

D'après le diagramme (figure 5.10), la vitesse d'engraissement augmente en allant de partie centre vers le côté des ouvrages. Les transects du 37 jusqu'à 55 ont la plus grande vitesse d'engraissement. Elle varie entre 0.4 et 0.8 m/an. Par contre la régression est faible avec une vitesse maximale inférieure à 0.13 m/an

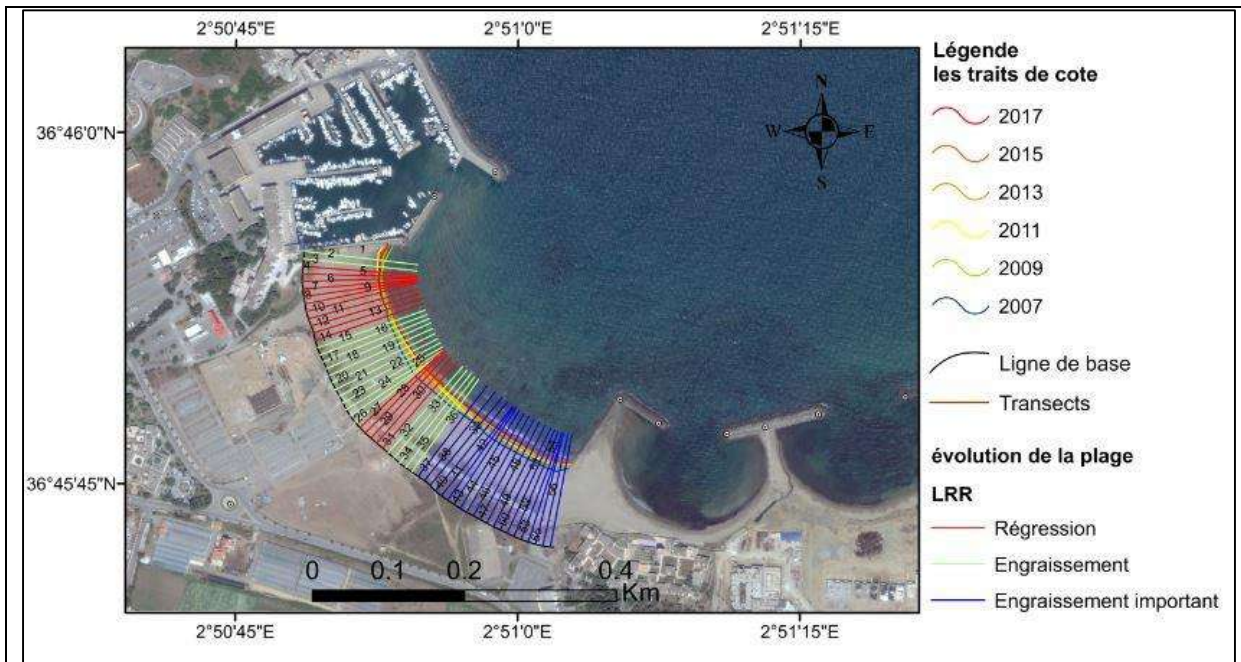


Figure (5.9) : Représentation de la vitesse d'évolution de la plage (Régression ou engraissement) en fonction de LRR entre 2007 et 2017

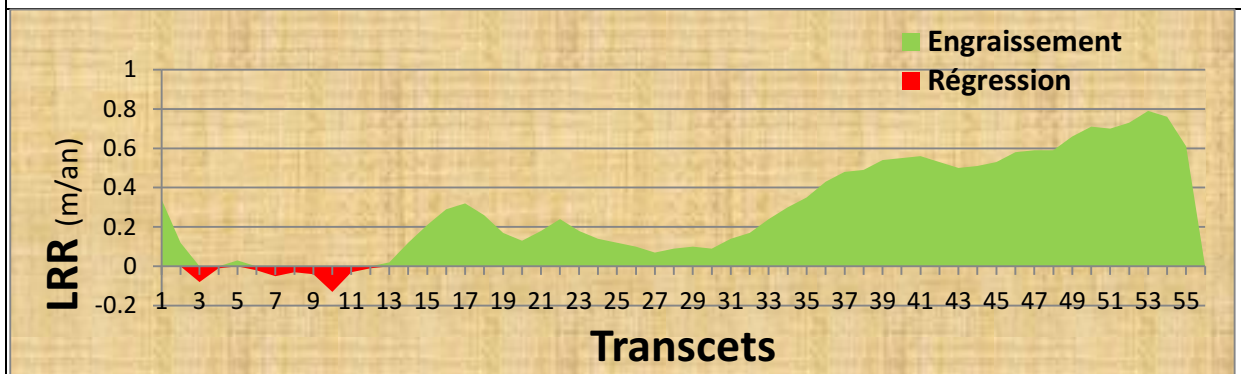


Figure (5.10) : diagramme d'évolution de trait de côte entre 2007 et 2017 en fonction de LRR

Tableau (5.3) : le taux d'évolution de trait de côte entre 2007 et 2017 selon l'EPR :

Statistique (LRR)		
Evolution	Régression	Engraissement
Moyenne (m/an)	-0.044	0.356

Figure (5.8) : cartographie les résultats statistique d'évolution de trait de côte entre 2007 et 2017 selon LRR

5-3-4-4 L'évolution de la plage entre 2007 et 2017 :

La cartographie des variations surfaciques de la plage durant les dix dernières années (2007-2017), montre que cette dernière a gagné assez d'espace vers la mer sauf sur une petite partie proche du port où il y'avait une petite perte sédimentaire. Figure (5.11) a permis de calculer les surfaces gagnées et perdues pendant cette période.

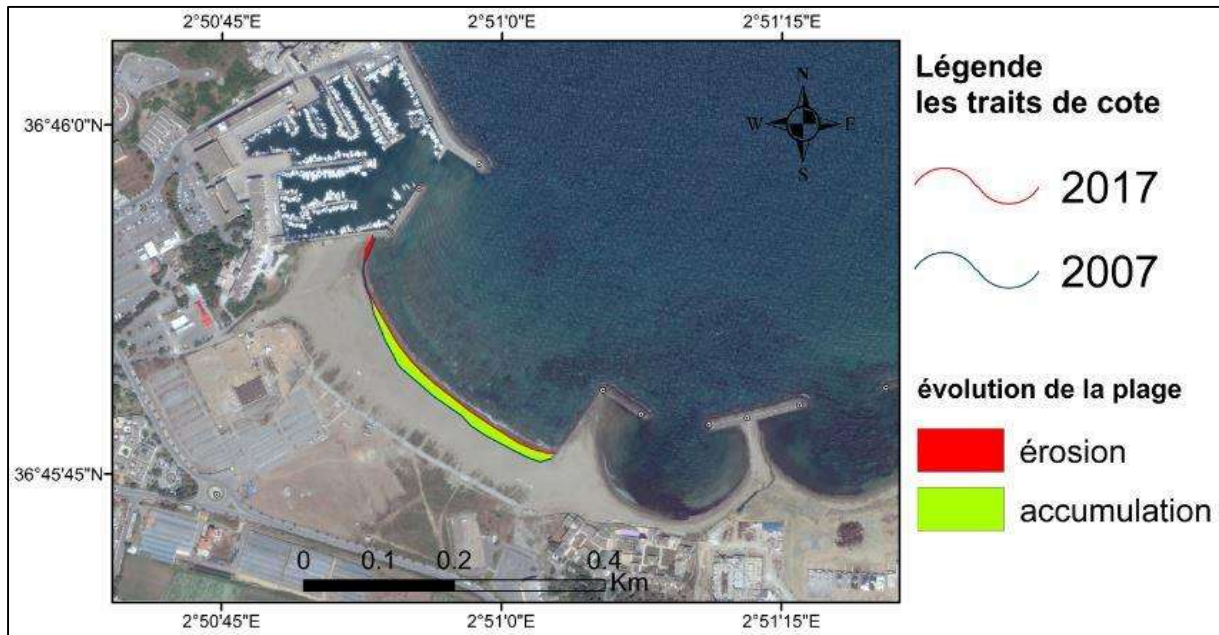


Figure (5.11) : représentation d'évolution de la plage entre 2007 et 2017

La cartographie des variations a permis de réaliser un histogramme en calculant les surfaces gagnées et perdues. Ce calcul montre un bilan positif de la zone d'étude de plus de 4000 m² où la plage a gagné une surface de 4214 m² et elle a perdu une surface de l'ordre de 164 m². Figure (5.12)

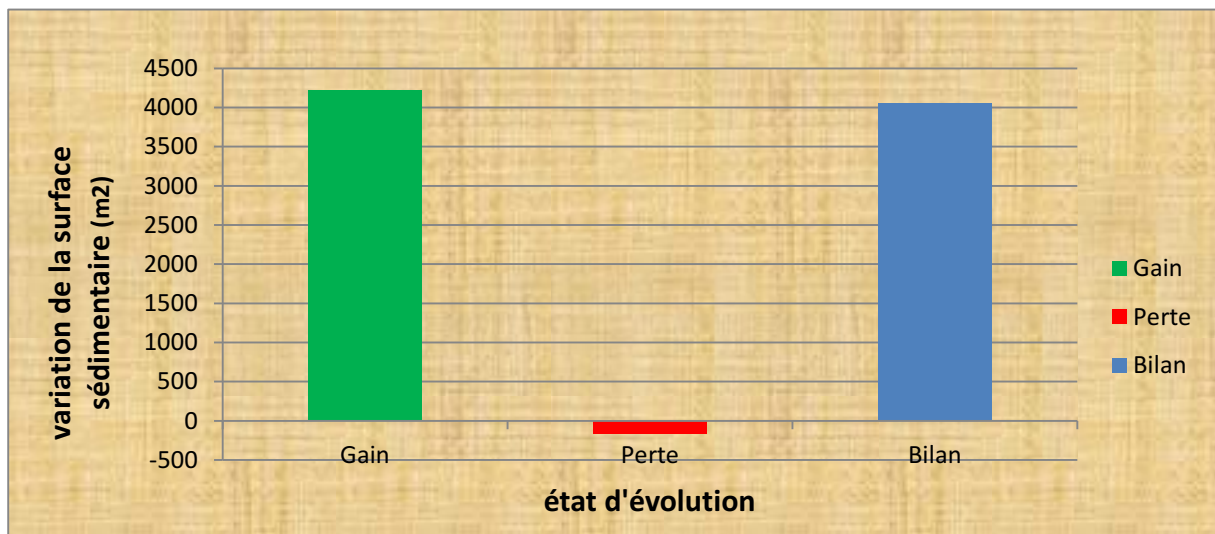


Figure (5.12) : l'histogramme représentatif de bilan des variations de la surface de la plage entre 2007 et 2017.

5-4 Conclusion

L'outil DSAS 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 permet de calculer les paramètres statistiques des changements qu'a subit le trait de côte pendant une période donnée (2007-2017). Alors l'analyse diachronique a permis de déterminer l'évolution historique de la plage en définissant le taux de recul, et d'avancé. Cette étude a relevé des résultats intéressants. Elle a permis de nous faire savoir que notre zone d'étude a un bilan sédimentaire positif, la plage globalement a tendance d'engraisser et que par contre une petite partie à côté du port la régression se manifeste avec un taux faible.

*Etat futur et plan
d'Aménagement*

Introduction

Le suivi de l'évolution de la plage peut être réalisé à travers différentes études morphologiques, morpho-dynamiques, et essentiellement par l'étude de la dynamique du trait de côte. Ce suivi permet de définir les variations qu'a subit la plage. L'utilisation de ces données ainsi que la détermination de l'état actuel permettent d'estimer approximativement comment va être la plage dans le futur. Selon le devenir, des actions d'aménagements peuvent être mises en compte pour la préservation de la zone comme elles peuvent devenir une nécessité dans le cas où la plage est menacée.

6-1 Etat futur

6-1-1 L'état actuel

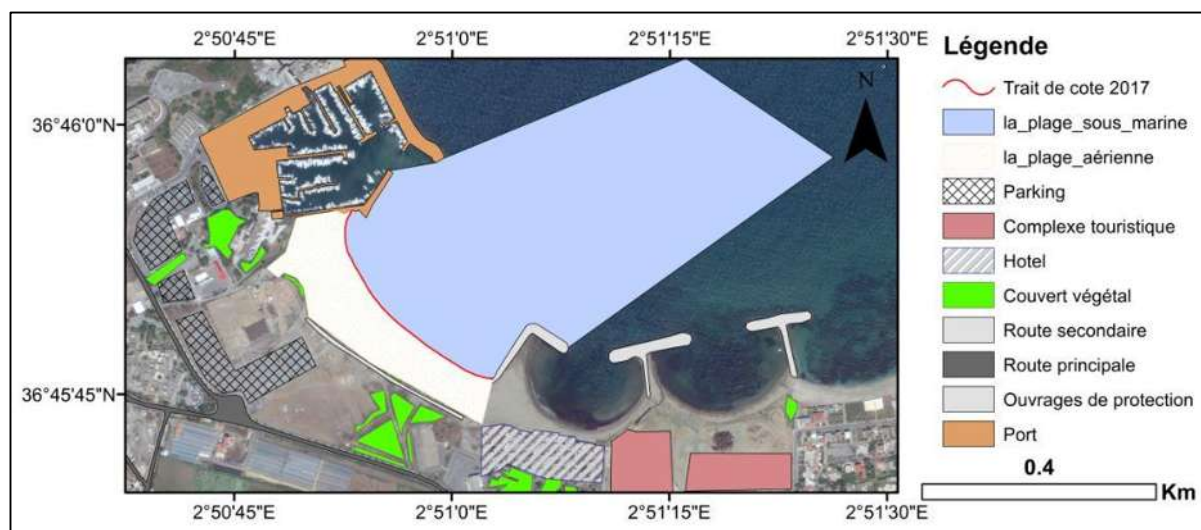


Figure 6.1 : l'état actuel de la plage Est 2017

La zone d'étude par sa valeur socio-économique, a connu des actions anthropiques importantes, ce qui se manifeste par l'installation de différentes infrastructures, telles que les routes et les parkings pour accéder au port de plaisance (il est installé en 1969 (**Mokhtar & Lamie, 2011**)). Cet infrastructure portuaire ainsi que la plage sont très fréquentés et portent un rôle touristique important.

L'intervention anthropique a aussi causé la régression du couvert végétal, qu'occupe un petit espace dans la zone, l'artificialisation de cette dernière est faite aussi par l'installation des habitats et des hôtels pour objectif économique, ainsi qu'un autre projet en cours de construction et qui consiste en la création d'un complexe touristique.

Les ouvrages de protections sont installés en 1985(Boutiba, 1996) leur but est de protéger les deux plages El Riyadh et Morretti ; ont aussi artificialisé la zone, mais ils ont un rôle positif sur l'équilibre de la plage Est car ils ont diminué l'agitation dans cette zone. La plage dans les deux parties aérienne et sous-marine se caractérise par une pente douce, avec des sédiments fins.

6-1-2 Prospection au futur

En utilisant les résultats de l'étude d'évolution historique de la plage, ainsi que l'analyse de l'état actuel, une estimation de la position du trait de côte peut être déterminée à l'aide de la modélisation numérique, si les conditions environnementales restent stables, et supposant que les différents agents influençant la dynamique côtière évoluent dans le même rythme que la période étudiée avant. La projection a cours terme (10 à 20 ans) de l'évolution de la zone est réalisée.

Vu que l'évolution de la plage est déterminée essentiellement par la position du trait de côte, nous allons estimer sa position au futur en se basant sur les résultats de DSAS, on utilise ces résultats pour modéliser la future dynamique de trait de côte, afin de projeter sa position future via l'équation 6-1

$$TCF = TCA + LRR * \Delta t \dots\dots\dots (6.1)$$

- TC_F : Position du trait de côte estimé au futur
- TC_A : Position du trait de côte actuel
- LRR : la régression linéaire (m/an)
- Δt : la période de temps (entre l'actuel et le futur) (an)

6-1-2-1 La position du trait de côte estimée

Après la détermination de la future position du trait de côte (Annexe 8), le pro-logiciel ArcGIS est utilisé pour le dessiner. Figure (6.2)

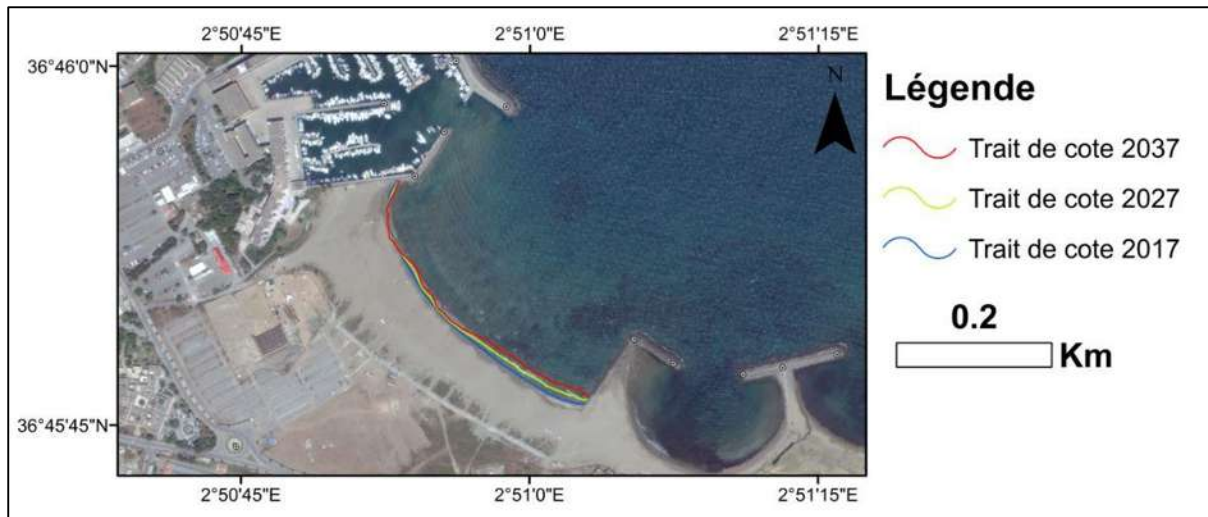


Figure 6.2 : Représentation des positions des traits de côte estimées pour le futur (2027, 2037)

La figure (6.2) montre les positions du trait de côte estimées pour le futur, le trait vert pour 2027 et rouge pour 2037 ainsi le trait de côte actuel avec le bleu, selon la projection de l'évolution du trait de côte à court terme (10-20 ans), la plage aura une évolution positive globalement avec l'avancée de trait de côte dans le futur avec une distance maximale de 7.9 m pour 2027 et 15.8 m pour 2037. Dans une petite partie de la plage à côté du port, il va y avoir une régression avec une distance maximale de l'ordre de -1.3m pour 2027 et de -2.6 m pour 2037.

6-1-2-2 Evolution de la surface de la plage estimée

Puisque le trait de côte va avoir des changements de sa position alors toute la plage va être modifiée. Après l'estimation et la projection de cette dernière au futur, à l'aide de pro-logiciel ArcGIS les surfaces gagnées ou perdues sont déterminées approximativement. Figure (6.3 et 6.4)

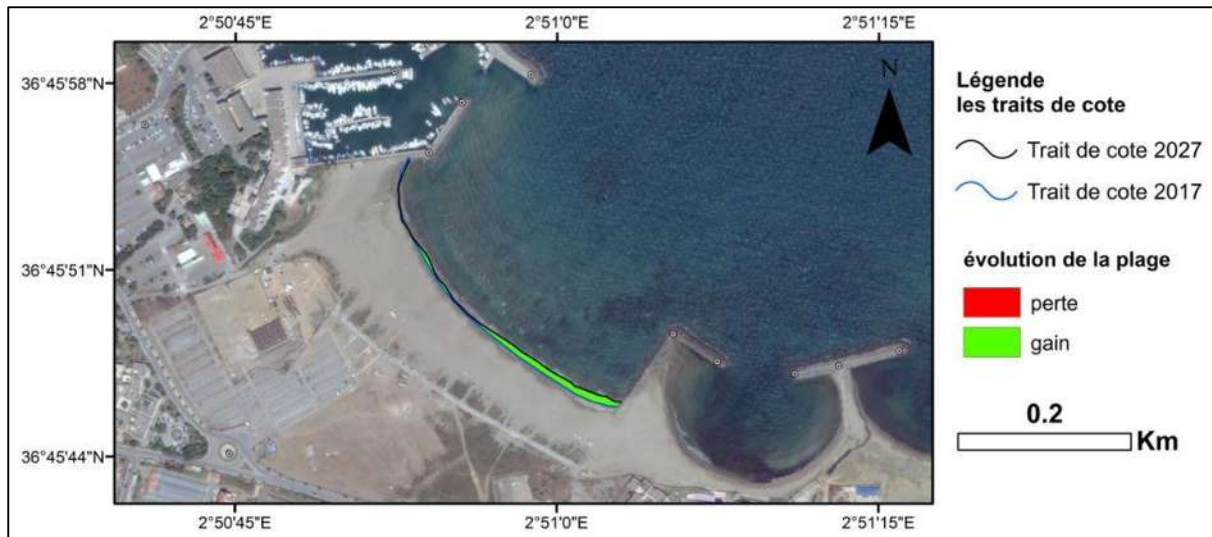


Figure 6.3 : évolution de la plage estimée en 2027

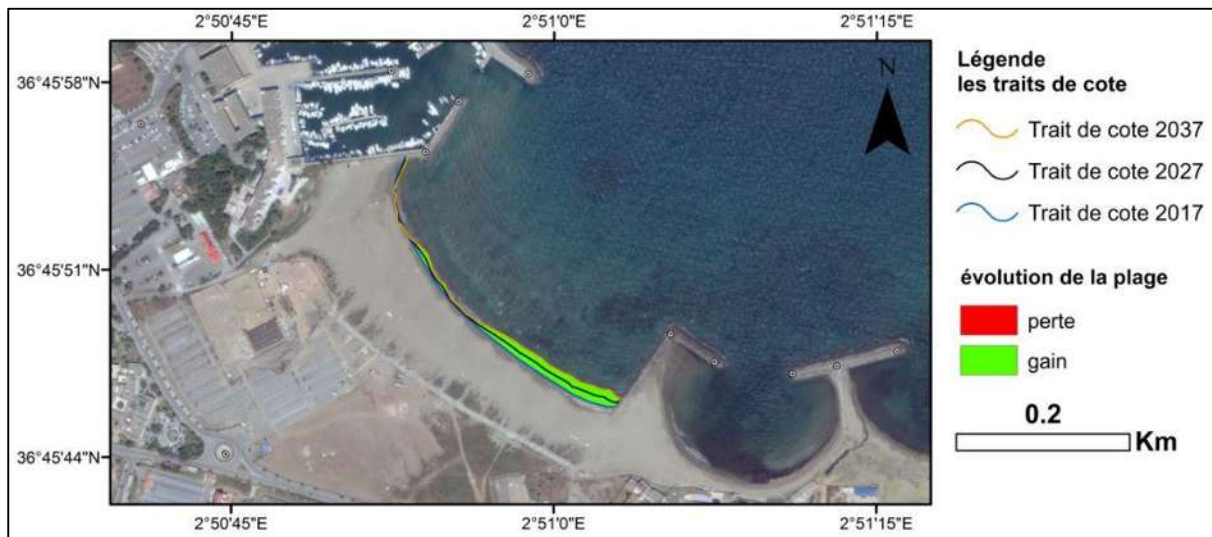


Figure 6.4 : évolution de la plage estimée en 2037

- La figure 6.3 représente les variations surfaciques de la plage estimées pour l'année 2027, selon les résultats de la prospection, globalement il va y avoir une accumulation avec une surface gagnée d'environ de 1675 m^2 , avec une très faible érosion de l'ordre de -28.5 m^2 .
- La figure 6.4 illustre les changements de la surface de la plage estimée pour l'année 2037, d'après les résultats des prévisions, la plage va gagner une surface de l'ordre de 3321 m^2 , ainsi une faible érosion avec une petite surface d'environ de -57 m^2

6-2 Plan d'aménagement

6-2-1 L'état de la plage

Le diagnostic de l'état actuel de la zone et la détermination de son évolution historique sont des éléments indispensables pour pouvoir projeter l'état actuel au futur. Afin de bien agir face à la nature en préservant l'équilibre du littoral l'élaboration d'un plan d'aménagement est mis en compte.

Selon les résultats obtenus de l'estimation d'évolution de la plage à court terme (10-20 ans), un histogramme est réalisé représentant les futurs changements surfaciques estimés. Figure (6.5)

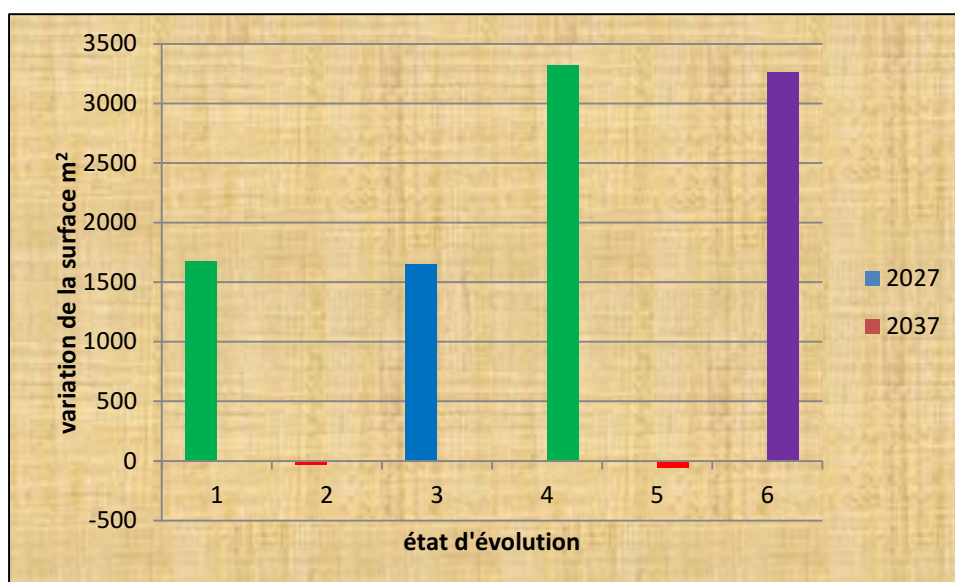


Figure 6.5 : Histogramme représentatif du bilan des variations de la surface de la plage estimées en 2027 et en 2037.

D'après l'historique, qui illustre les variations surfaciques, en vert les surfaces gagnées et en rouges les surfaces perdues, le bilan d'évolution surfacique de la plage estimée au futur est positif (en bleu pour 2027 et en marron pour 2037).

6-2-2 Les différentes méthodes d'aménagement littoral

Les littoraux, constituent de par leurs situations géographiques, des milieux attractifs, privilégiés et convoités. Ils constituent un lieu d'enjeux culturels, économiques, sociaux et scientifiques et se situent au cœur des préoccupations actuelles. (KANGAH & KOLI, 2015),

alors ils connaissent une pression anthropique, qui se manifeste par les différentes actions d'aménagements et de multiples activités socio-économiques.

Ces pressions ont une influence sur l'équilibre de ce patrimoine fragile, qui va être menacé par des risques où ces actions peuvent avoir un effet négatif sur le système côtier. Pour la préservation du système côtier, différentes méthodes sont mises en œuvre. Selon l'état de lieu et les études sur la zone à protéger le choix entre les méthodes rigides (les épis, les brise-lames) ou les méthodes souples (rechargement artificiel, reprofilage et la création des dunes).

Selon nos résultats, la plage est en équilibre, elle a une évolution positif, si les différents agents continuent à influencer la zone par une façon ressemblant leurs effets à la période passée, alors elle ne nécessite pas une intervention par les méthodes lourdes.

6-2-3 Planification d'aménagement

Nous proposons un plan d'aménagement avec des méthodes souples, qui consiste à renforcer la stabilité de la plage en préservant son équilibre. (Figure 6.6) Débutant de l'arrière de la plage, la réduction de l'effet négatif de l'aménagement, par la création des voies d'accès à la plage et des parkings loin de la plage en laissant un espace libre pour le couvert végétal.

Le maintien d'une végétation adaptée sur le haut de plage constitue un moyen de protection active à ne pas négliger (**Virginie & al, 2009**). Elle a un rôle très important pour la diminution des effets de la force éolienne qui mobilisent les sédiments fins et les transportent derrière la plage ce qui est remarqué au terrain (photo 6.1).



Photo 6.1 : la mobilisation des sédiments fins par le vent vers l'arrière de la plage (Juin, 2017)

Ensuite, cette végétation peut favoriser la formation des dunes qui existaient avant. Leur réhabilitation peut être réalisée par la mise en place d'obstacles (ganivelles, filets), destinés à piéger le sable en mouvement et aussi la plantation des végétaux spécifiques et adaptés à ce milieu tel que les Oyats. Pour qu'un bourrelet sableux s'édifie en arrière d'une plage, il faut du vent, du sable et de la végétation, trois éléments dont les interactions sont complexes. **(PASKOFF, 1992)**, alors le vent mobilise les grains fins vers l'arrière plage qui vont être déposés quand elles rencontrent les végétaux. En créant un stock sédimentaire qui va alimenter la plage dans les périodes des tempêtes.

Enfin, on peut réduire l'effet de piétinement par la création des chemins spécifiques pour accéder à la plage. Sur les littoraux très fréquentés, la canalisation des flux de piétons permet en outre de limiter le piétinement de la végétation en haut de cordon qui participe à lutter contre l'érosion en piégeant les sédiments (des cheminements au moyen de petits plots peuvent être installés à cet effet. **(Virginie & al, 2009)**)



Figure 6.6 : Plan d'aménagement de la plage

6-3 Conclusion

La prédiction de l'état futur de la plage se fait grâce à l'analyse de son état actuel ainsi que l'étude de son évolution historique, l'estimation approximative d'un futur d'une plage nécessite la compréhension du rythme des changements que subit la zone pour projeter son évolution et de décrire au mieux son état futur.

Notre zone d'étude selon les différentes analyses est classée comme une zone stable et évolue d'une façon positive, alors l'intervention par l'aménagement via les méthodes rigides est déconseillé, par contre, un aménagement souple permettra de mieux préserver son équilibre.

Conclusion générale

Conclusion Générale

Notre projet intitulé « évaluation du risque d'érosion des plages », consiste à étudier l'évolution de la plage dans ses variations de différentes parties à l'échelle spatio-temporelle.

La réalisation de ce projet nous a apporté deux avantages essentiels. D'abord, il nous a offert l'opportunité d'approfondir nos connaissances des cinq années de notre formation à l'ENSSMAL. De plus, il a fait l'objet d'une phase de préparation de notre intégration dans le domaine de la recherche scientifique dans le cadre de l'Aménagement du Littoral.

Pour atteindre nos objectifs et obtenir des résultats pertinents, nous avons essayé d'exploiter des données actuelles afin de les analyser par des techniques et des méthodes de travail qui ont prouvé une faisabilité d'étude. En effet nous avons effectué des sorties sur terrain et en mer qui nous ont permis d'obtenir des échantillons sédimentaires et qui ont été traités au laboratoire, ainsi des levés topographiques et topo-bathymétriques, et aussi un suivi du trait de côte a été réalisé tout en se basant sur des instruments de mesures et des softwares de haute précision.

- Etude morphologique :

Cette partie résume l'évolution d'état de la zone, envers le couvert végétal qui est en régression entre 2007 et 2017 probablement due de différentes activités anthropiques par l'urbanisation et l'installation des parkings et des complexes touristiques. Concernant la plage aérienne, une évaluation saisonnière de l'hivers à l'été des profils topographiques, en déduisant les changements morphologiques qu'ont subi la plage, alors il y'a eu un amaigrissement où la perte est réversible. Cette réversibilité pourrait être confirmée par une autre étude des variations topographiques de la période Estivale à la période Hivernale, pour la plage sous-marine, en étudiant l'évolution de la bathymétrie entre 2015 et 2017, la plage sous-marine a évolué positivement où la pente devient plus douce en 2017 par rapport à 2015.

- Etudes morfo-sédimentaire et morphodynamique :

Dans cette partie, l'analyse de la dynamique côtière à travers l'hydrodynamisme et le régime hydrosédimentaire, afin de comprendre l'évolution à l'échelle du temps.

Pour l'étude sédimentaire, selon l'analyse granulométrique de la plage aérienne et de la zone proche du rivage de la partie sous-marine, notre zone se caractérise par des sédiments fins, avec un sable fin d'un mode de 0.18mm dans les deux unités émergées et immergées, et aussi sur la répartition spatiale des pélites, diamètre moyen des grains, les déciles, les

Conclusion Générale

quartiles et d'autre indice caractérisant l'asymétrie et le tri du sédiment qui est très bien trié et uniforme.

Par l'étude morphodynamique, qui est venue pour mieux comprendre l'effet des courants sur le transport sédimentaire tout en se basant sur un modèle numérique qui nous a permis d'avoir une simulation qui nous a déterminé le régime morphodynamique avec un degré faible tout au long de notre zone d'étude.

Les variations morphologiques sous-marines du 2015 à 2017 peuvent expliquer l'augmentation des hauteurs de la houle, et la réduction des courants, et effet le transport sédimentaire, alors la zone a évoluée positivement.

- Etude de l'évolution de Trait de côte

Par cette étude, qui est consacrée au suivi de l'évolution de la dynamique de la ligne du rivage au cours de dix ans par sa cartographie via le pro-logiciel ArcGIS, et à l'aide de l'outil DSAS le calcul statistique des variations annuelles de sa position, la plage est globalement en accrétion sauf dans une petite partie à côté du port ou une faible érosion est manifestée.

Ces résultats avec celles des études précédentes confirment la stabilité et l'évolution positive de la zone d'étude en gagnant assez d'espace au cours de la période étudiée.

Alors l'évaluation de l'état de la plage se fait par différents paramètres, afin de comprendre le rythme de son évolution à l'échelle de temps, à l'aide de ces différentes études, et si les différents facteurs agissants sur la zone continue à influencer au futur par le même rythme qu'avant, l'estimation approximativement de l'état futur de la zone d'étude à court terme est réalisée. Selon les prévisions, la plage va évoluer positivement avec une accumulation importante, pour ceci elle ne nécessite pas un aménagement lourd.

Bibliographie

Bibliographie

- AINI, A. (2012).** Morphodynamique de la zone côtière Est de la presque île de Sidi Fredj (Ouest d'Alger). Alger: USTHB. 100 p.
- AI SID CHIKH, S. (2009).** Baie de Bou-Ismaïl et d'El Djamila : paramètres océanographiques, gestion littorale et imagerie bathymétrique. Alger : ENSSMAL. 77 p.
- ASSOUMOU, E. O. (2006).** Dynamique des paysages végétaux du littoral centre-Ouest du Gabon autour de Port-Gentil : approche spatiale et analyse des données de terrain. Montpellier, Université Paul-Valéry Montpellier 3, France : géographie et aménagement de l'espace. 83 p.
- AUBIE, S., Mallet, C., & FAVENNEC, J. (2011).** Caractérisation de l'aléa érosion (2020-2040) de la Côte Aquitaine dans le cadre de l'étude stratégique de gestion du trait de côte. Observatoire de la Côte Aquitaine. BRGM 11LITA12, Aquitaine. 100 p.
- BELKACEMI, S. (2015).** Impact des Infrastructures littorales sur l'évolution du trait de côte dans une zone soumise à un fort transit sédimentaire – cas de Sidi Fredj -. ENSSMAL. 87 p.
- Boutiba, M. (1996).** Etude en vraie grandeur du mode de fonctionnement des ouvrages de protection dans la plage Est de Sidi Fredj. 120 p.
- C.BONNOT, & C.FEISS-JEHEL. (2010).** les sédiments sur le littoral. GEO Festival. 23 p.
- C.Mallet et al. (2012).** Synthèse de référence des techniques de suivi du trait de côte. BRGM/RP-60616-FR. 23 p.
- CHAUCHAT, J. (2006).** Contribution à la modélisation diphasique du transport sédimentaire en milieux côtiers et estuariens. Université de Caen. 221 p.
- CLUS-AUBY, C. (2003).** La gestion de l'érosion des côtes : l'exemple Aquitain. 195 p.
- CORREIA, P. (2006).** Guide pratique d'utilisation du GPS sur le terrain. [Consulter le 08 juin 2017]. Disponible à l'adresse : < http://www.ge-eau.org/Documents/formation_GPS.pdf >.
- DAN, G. (2007).** Processus gravitaires et évaluation de la stabilité des pentes : approches géologique et géotechnique. application à la marge algérienne et à l'effondrement de l'aéroport de Nice en 1979. Université de Bretagne Occidentale. pp. 77-79.
- DUBARBIER, B. (2014).** Modélisation numérique de l'évolution des profils. Bordeaux, École Doctorale Sciences et Environnements, France. 23 p.
- EMODN. (2013).** European Marine Observation and Data Network). Bathymetry. [Consulter le 20 juin 2017]. Disponible à l'adresse : < <http://www.emodnet.eu/bathymetry> >.
- ETIENNE, S., & al, e. (2012).** master-egb programme-gel. [Consulter le 26 Mai 2017]. Disponible à l'adresse : <<https://geomorphologielittorale.files.wordpress.com/2012/11/master-egbprogramme-gel.p>>.

- FAYE, I. (2010).** Dynamique du trait de côte sur les littoraux sableux de la Mauritanie à la Guinée-Bissau (Afrique de l'Ouest) : approches régionale et locale par photo-interprétation, traitement d'images et analyse de cartes anciennes. Bretagne, Université de Bretagne Occidentale. 232 p.
- GENTILHOMME, V. [s.d.].** Ecosystème dunaire. Lille, Université de sciences et techniques de Lille, France. 1 p.
- Gouriou, T. (2007).** Comparaison entre un site préservé et un site anthropisé. Bordeaux. 131 p.
- GRASSO FLORENT. (2009).** Modélisation physique de la dynamique hydro-sédimentaire des plages [En ligne]. Thèse de doctorat. Océans, Atmosphère, Hydrologie. Grenoble l'Université Joseph Fourier- Grenoble1. 18 p.
- HABERT, É. (2000).** Qu'est Ce Qu'un Système D'information Géographique?. Laboratoire de cartographie appliquée. 37 p.
- HIMMELSTOSS et al. (2009).** Installation Instructions and User Guide. 79 p.
- IBRAHIMA FAYE et al. (2012).** Cartographie normalisée de l'évolution du trait de côte. Revue trimestrielle sur l'imagerie géographique et les formes du territoire. 5 p.
- JEGO, R. (2003).** Evolution du trait de côte : du suivi des érosions cotières à la gestion intégrée du littoral. Observatoire Départemental de l'Environnement du Morbihan, France. 46 p.
- JOLIVEAU, T. (2013).** Modèle numérique du terrain (MNT). [Consulter le 24 Mai 2017]. Disponible à l'adresse :
< <http://www.emse.fr/tice/uved/SIG/Glossaire> >
- KAMEL, S. (2006).** Initiation aux Systèmes d'Informations Géographiques sous ArcGIS 9. Paris : faculté des Sciences d'Orsay – Université Paris Sud XI (2006-2007). 32 p.
- KANGAH, A., & KOLI, Z. (2015).** Dynamique et transformation spatiale du littoral Ivoirien : cas du littoral Alladjan, à l'ouest d'Abidjan. Revue de géographie tropicale et d'environnement. 15 p.
- KHALDI, N. (2015).** Modélisation de l'hydrodynamique sédimentaire soumise à l'action de la houle et des courants Application à la côte de Sidi-Fredj. ENSSMAL. 135 p.
- MEDDE (2010).** La gestion du trait de côte. France. 271 p.
- MERGENTHALER, S., & DUCATEZ, J.-P. (2015).** Détermination de l'aléa submersion marine à Carnac. Nantes. 68 p.
- MOKHTAR, R., & LAMIE, G. T. (2011).** Port de Sidi Fredj : quantité des sédiments à draguer. ENSSMAL. 03 p.
- MONGI, B., & MIOSSEC, J.-M. (2010).** Les littoraux : enjeux et dynamiques. 235 p.

- NADIR, M. (2016).** Modélisation numérique de la morphodynamique d'une côte sableuse soumise à l'effet des vagues et des houles cas : plage Est de Sidi Fredj. Alger : ENSSMAL. 140 p.
- O BAIN, & S COSTA. (Avril 2016).** Volumes sédimentaires littoraux : un stock à connaître et à gérer. 2 p.
- OTMANI, H. (2014).** Impact des infrastructures maritimes sur le littoral : cas du port de Cap Djinet. Alger: ENSSMAL. 76 p.
- P.G.MARIONS, & all. (1997).** Engineering geology and the environment. 135 p.
- PASKOFF, R. (1992).** Côtes en danger. 1^{ère} édition, Paris, Masson, 1992. 247 p.
- R.N.E.O. (2003).** Sondeur LS-4100 Manuel d'utilisation. Furuno. 4 p.
- S. AGNELLI, S. M. (2002).** La défense des plages contre l'érosion dans la zone Ramoge. Ramoge. 74 p.
- SAMUEL, W. [s.d.].** Tutoriel d'utilisation de surfer 11. Université de Maroua. 130 p.
- VAN VAN THAN. (2015).** Modélisation d'érosion côtière : application à la partie ouest du tombolo de Giens. Marseille, Université d'Aix-Marseille : Institut de Mathématiques de Marseille. 472 p.
- VIRGINIE, B., & al, e. (2009).** Gestion de l'érosion du littoral de la Réunion. La Réunion, BRGM, France. 32 p.
- Y BELLAHSENE, & S MESSOUDI. (2005).** Etude bathymétrique, sédimentologique et pollution par les métaux lourds de la baie d'El Djamila. 44 p.
- ZEMENZER, S. (2004).** Ensablement du port par transport sédimentaire simulation et application du modèle de Gao et Collins (1994) au port de Sidi Fredj. Alger : ISMAL. Pp. 31-41.

Annexes

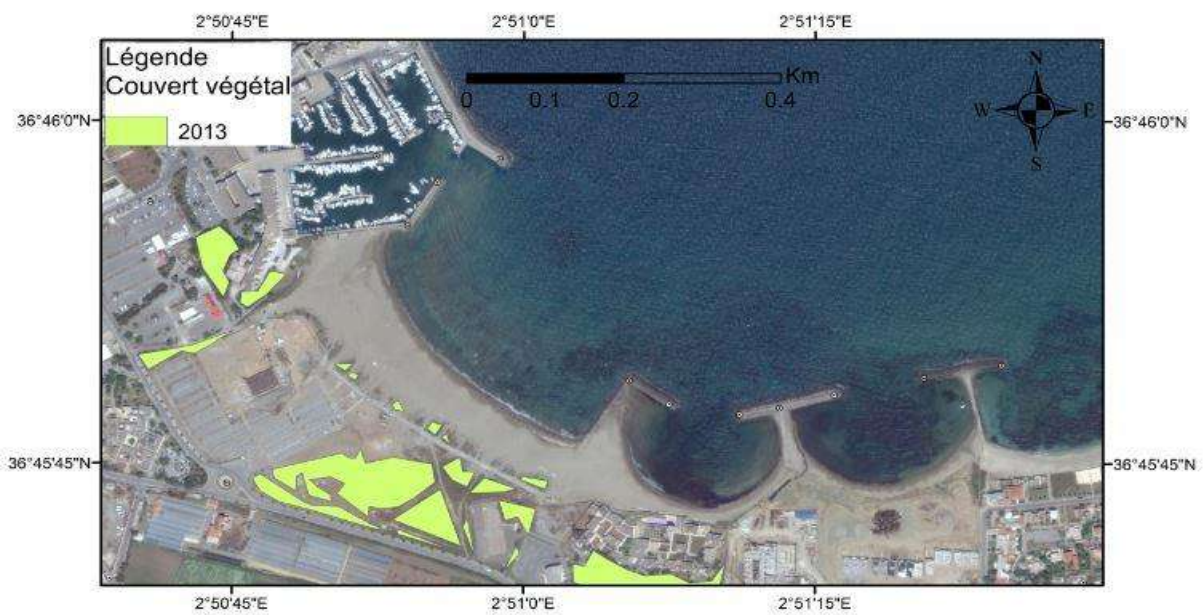
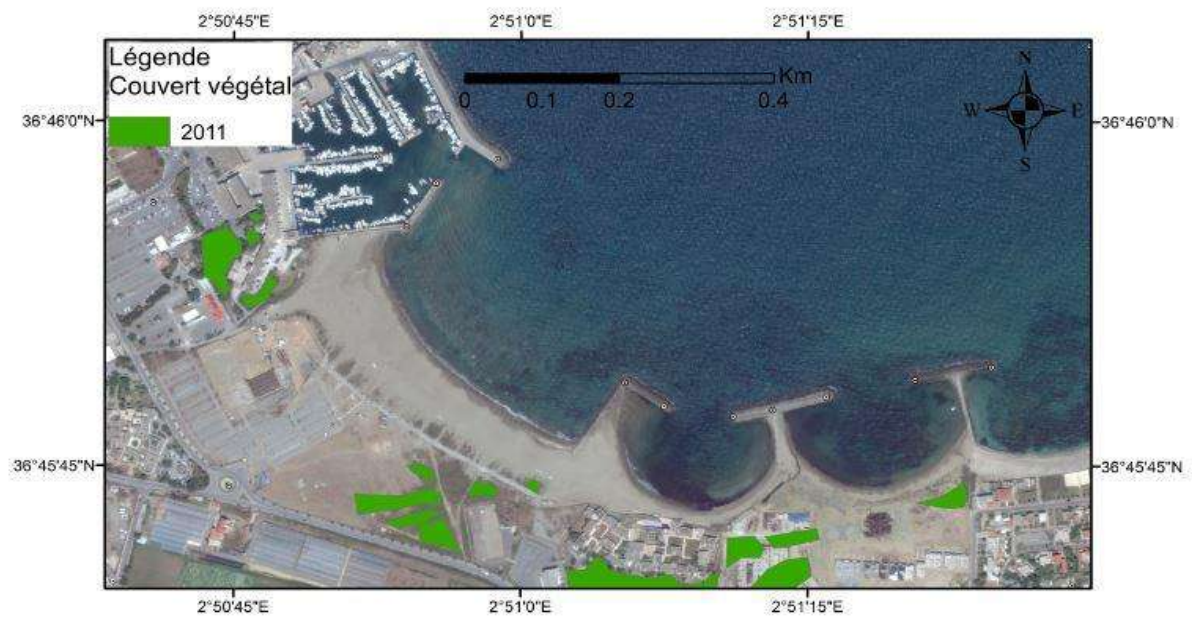
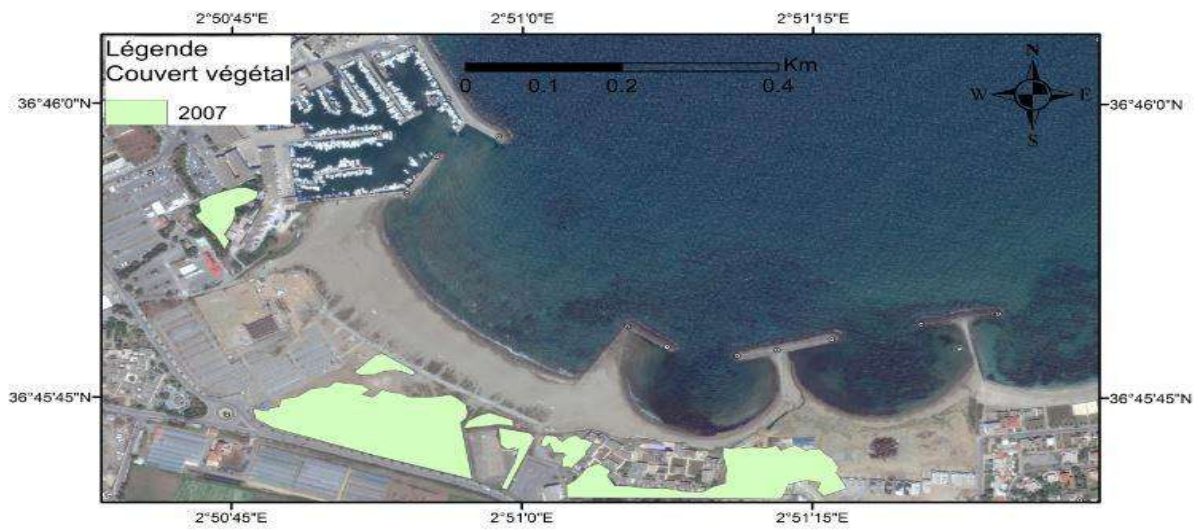
Annexe 01

Tableau 01 : Distribution Fréquentielle du vent à la station météorologique du Dar El Beida selon 4 classes de vitesses et 16 directions (périodes de 1^{er} Janvier 1995 au 31 décembre 2015, ONM) (in Nadir Mohamed 2016).

Mois	Annuel				
Direction	Classes de Vitesses (m/s)				Total (%)
	01-05	05-10	10-15	>= 15	
N	3%	2%	0%	0%	5%
NNE	3%	1%	0%	0%	4%
NE	3%	3%	0%	0%	6%
ENE	3%	2%	0%	0%	5%
E	2%	1%	0%	0%	3%
ESE	0%	0%	0%	0%	0%
SE	0%	0%	0%	0%	0%
SSE	1%	0%	0%	0%	1%
S	1%	1%	0%	0%	2%
SSW	2%	0%	0%	0%	2%
SW	4%	1%	0%	0%	5%
WSW	5%	2%	0%	0%	7%
W	4%	4%	1%	0%	9%
WNW	1%	1%	0%	0%	2%
NW	1%	1%	0%	0%	2%
NNW	2%	2%	0%	0%	4%
Calme					43%
Total (%)	35%	21%	1%	0%	57%

Annexe 02

La cartographie des surfaces du couvert végétale au cours de dix ans (2007-2017)



Annexe 02

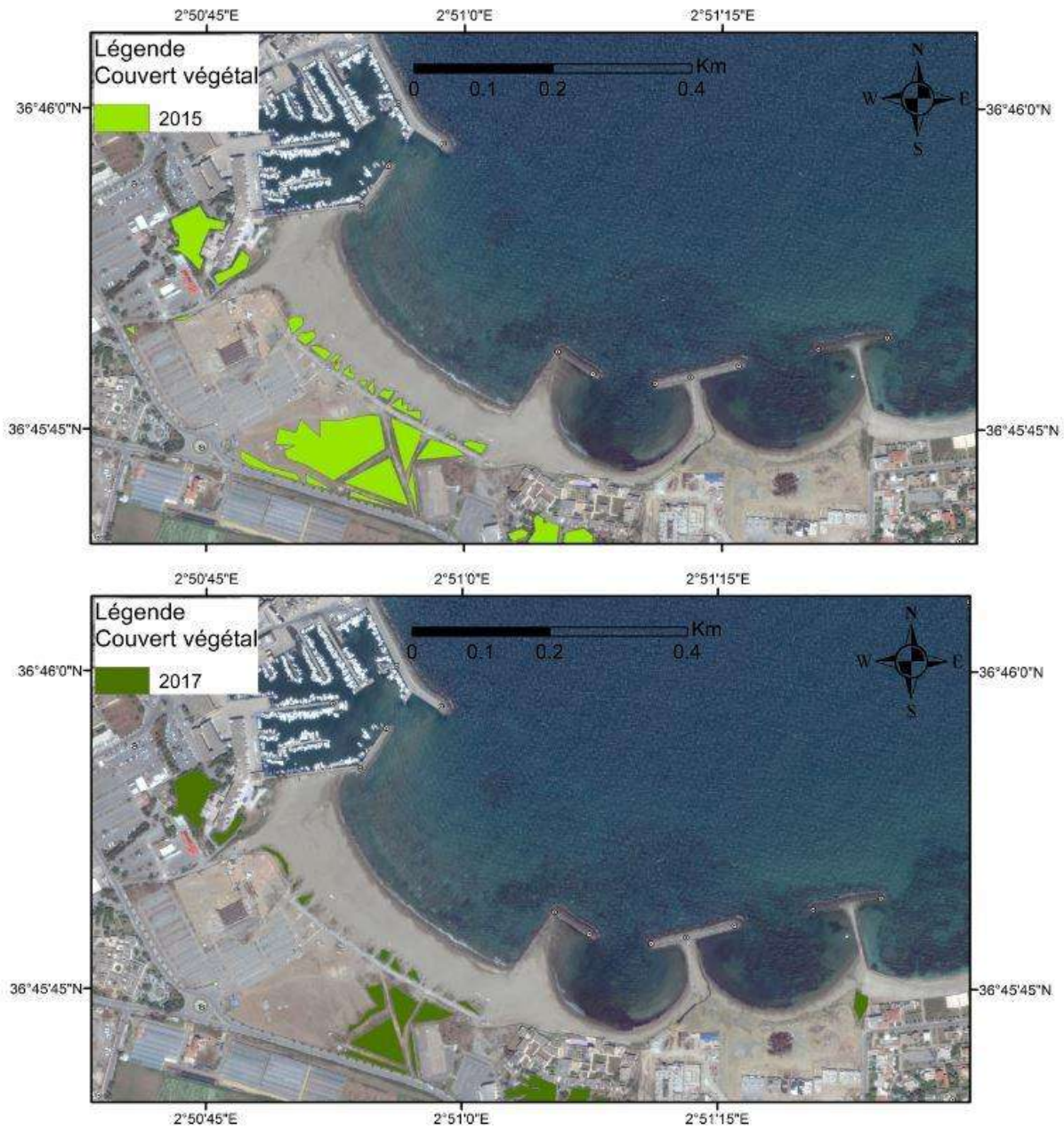
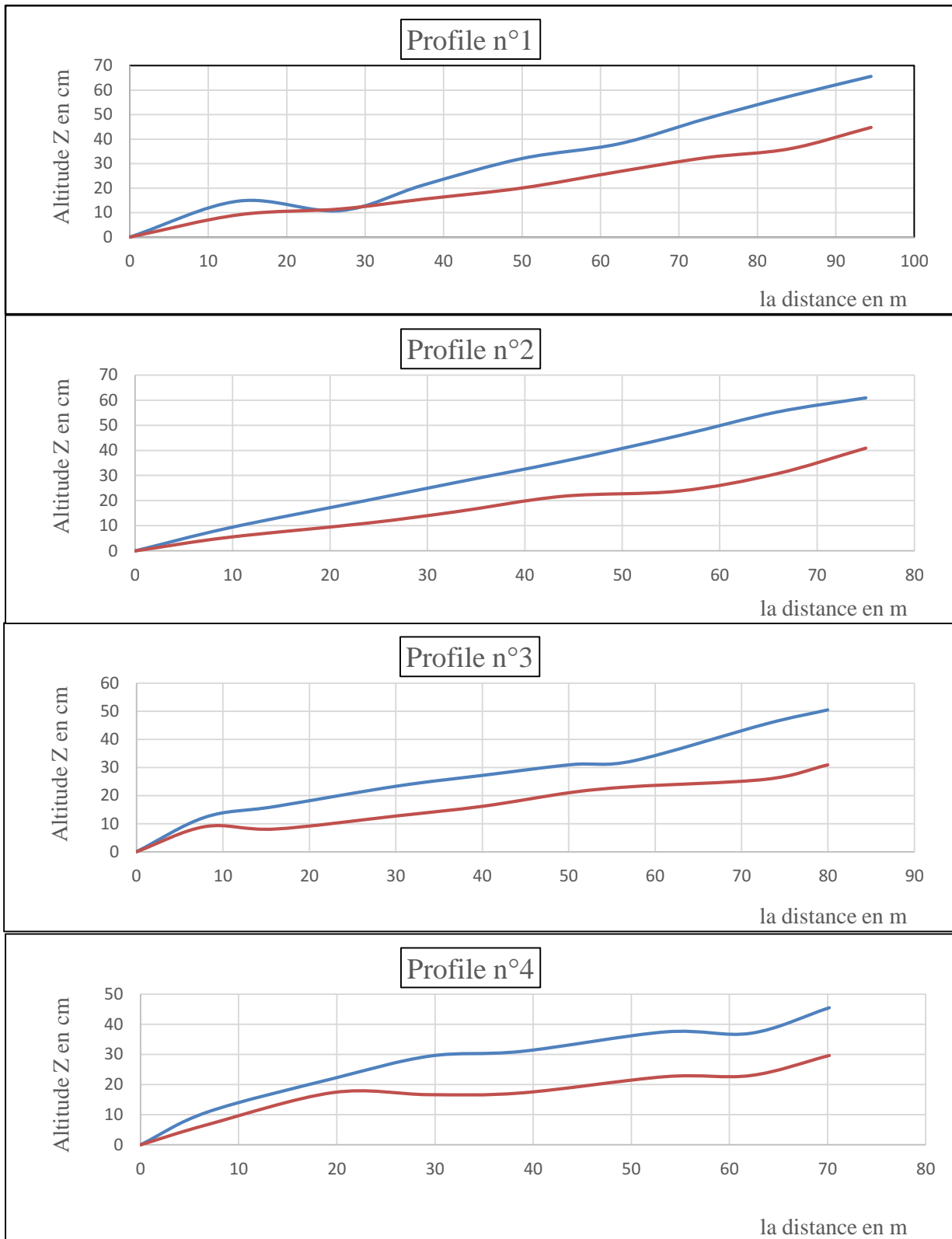


Figure 1 : Le couvert végétal des années de 2007 à 2017

Annexes 03

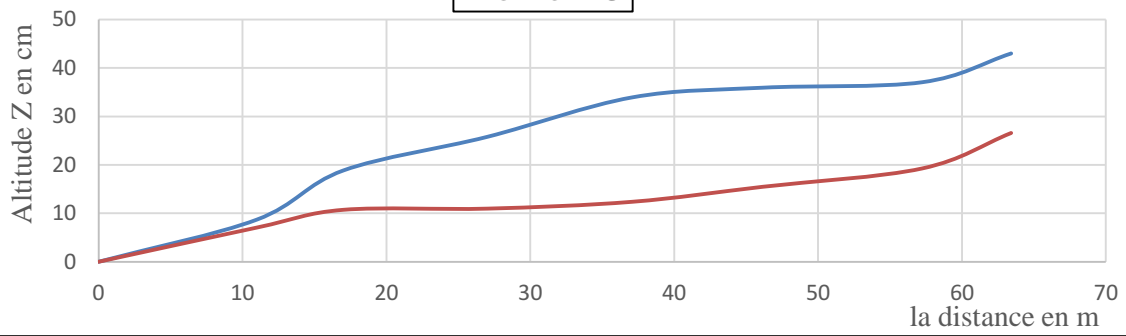
Les profils topographiques de la partie aérienne de la plage Est (Sidi Fredj) :

(Le bleu : la période Hivernale, le rouge : la période Estivale)

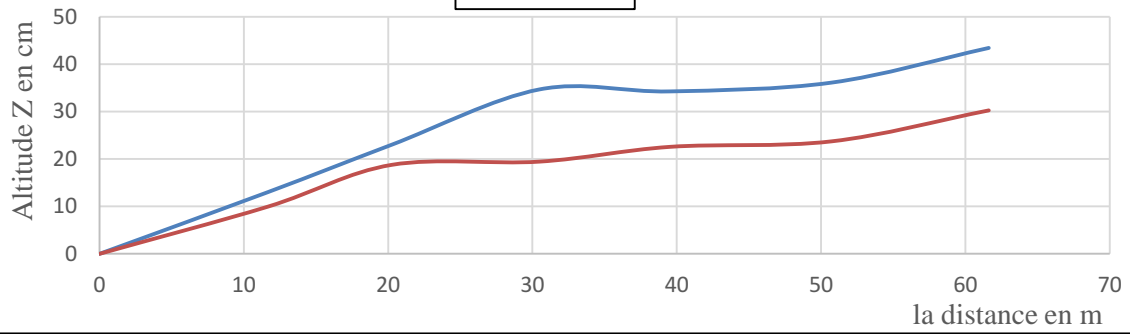


Annexes 03

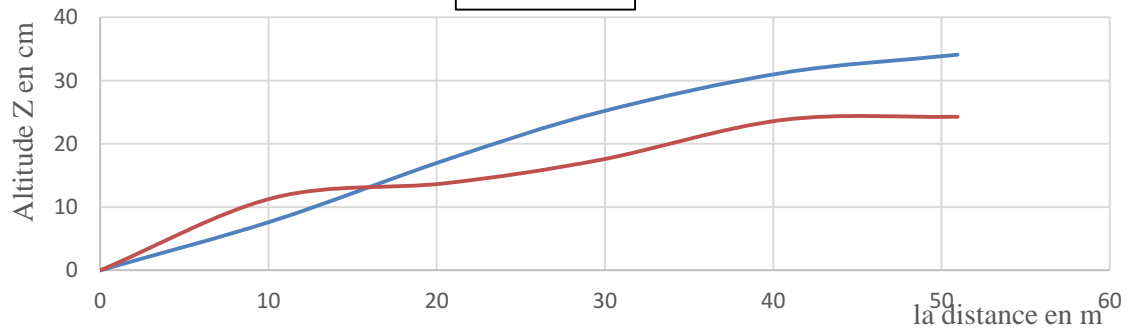
Profile n°5



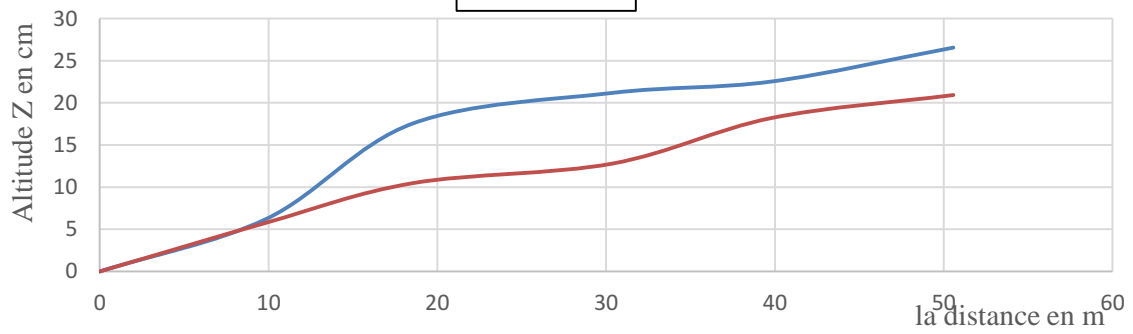
Profile n°6



Profile n°7

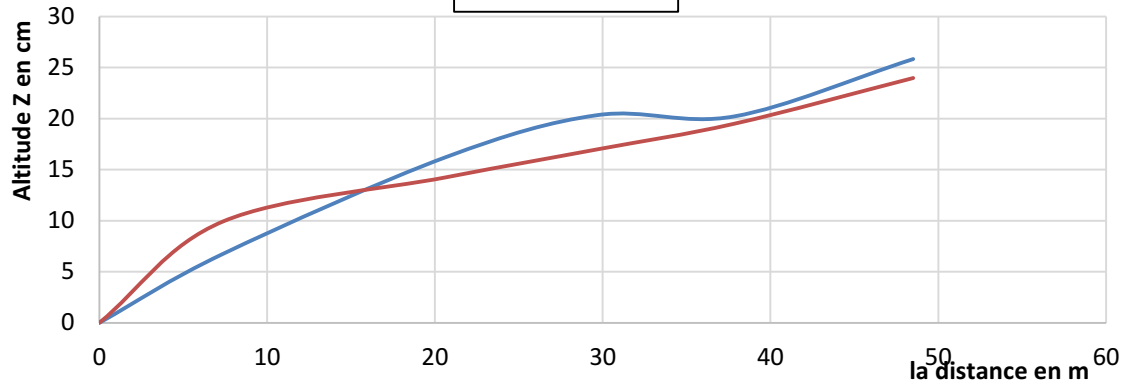


Profile n°8

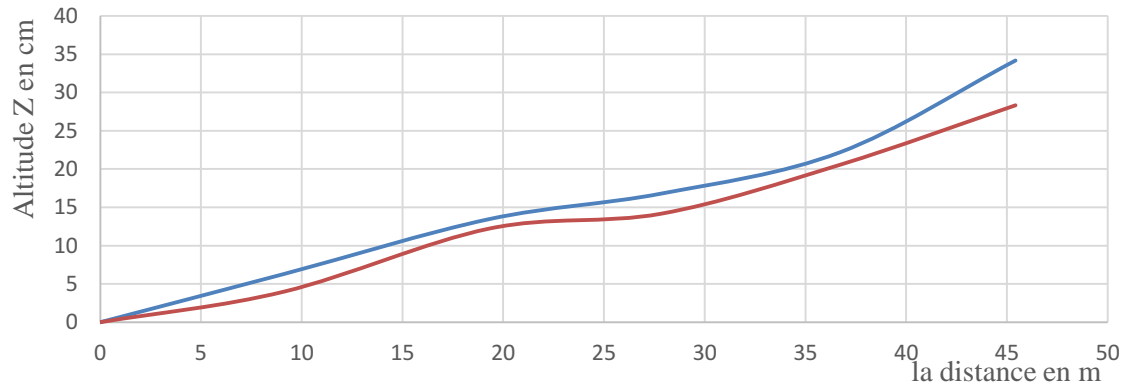


Annexes 03

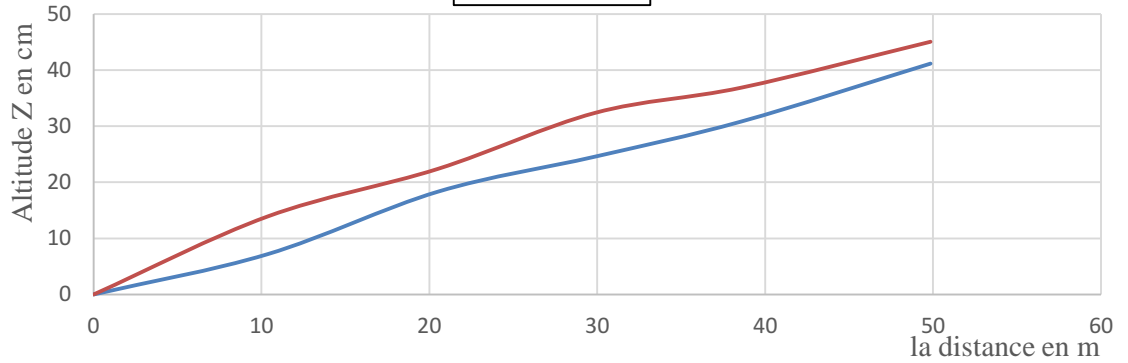
Profile n°9



Profile n°10



Profile n°11



Annexe 04

Les étapes du calcul du volume

1- Ouvrir un fichier MNT

Map → New → 3D Surface

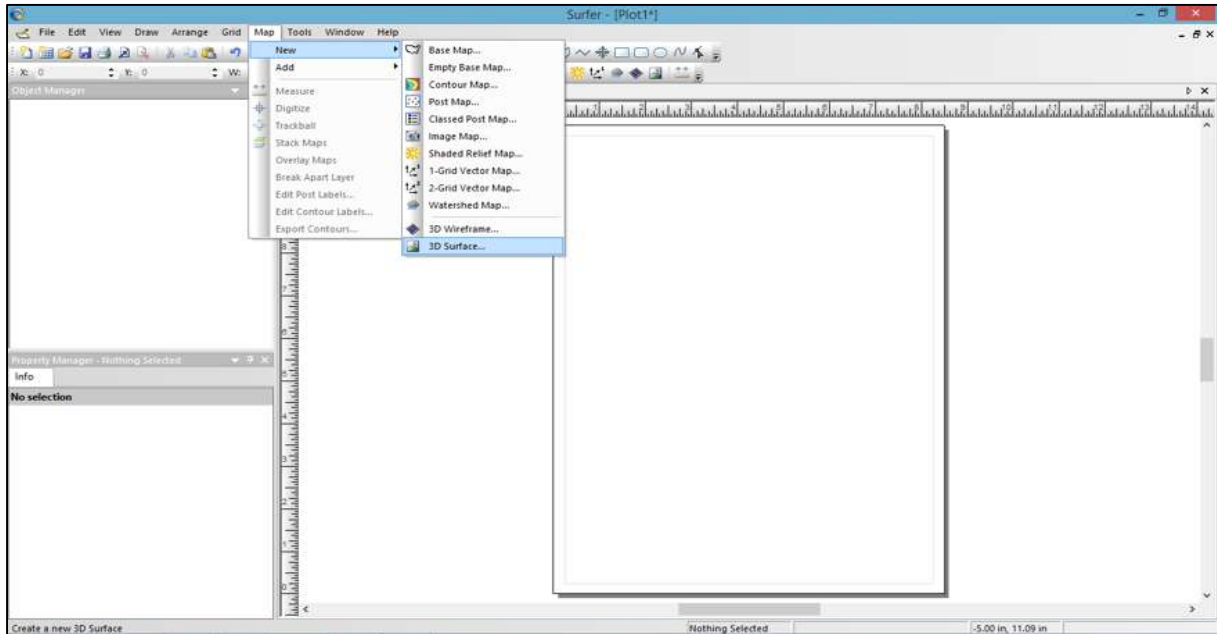


Figure 1 : ouvrir le fichier MNT.

2- Sélectionner le fichier « Mètre hivernal » sous format « .grd » puis le fichier « Mètre estival » format « .grd ».

Note : il faut que les paramètres XYZ seront en mètre pour effectuer le calcul du volume

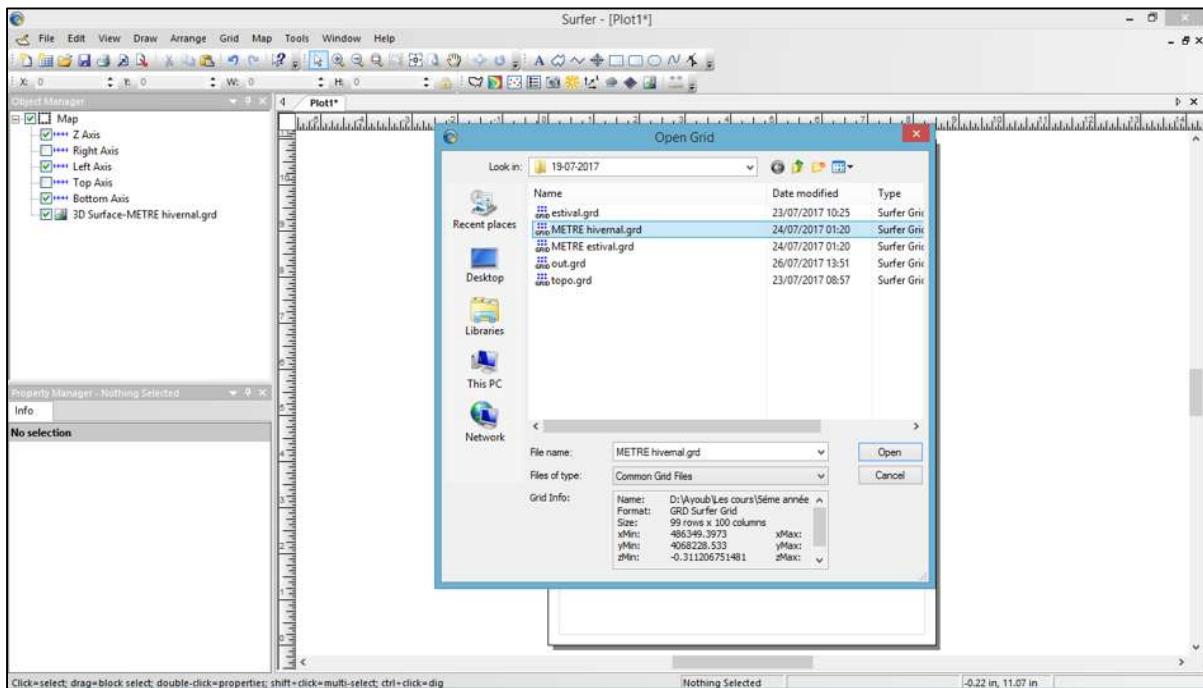


Figure 2 : sélectionner le fichier MNT

Annexe 04

3- Lancer l'application du calcul du volume.

Grid → Volume

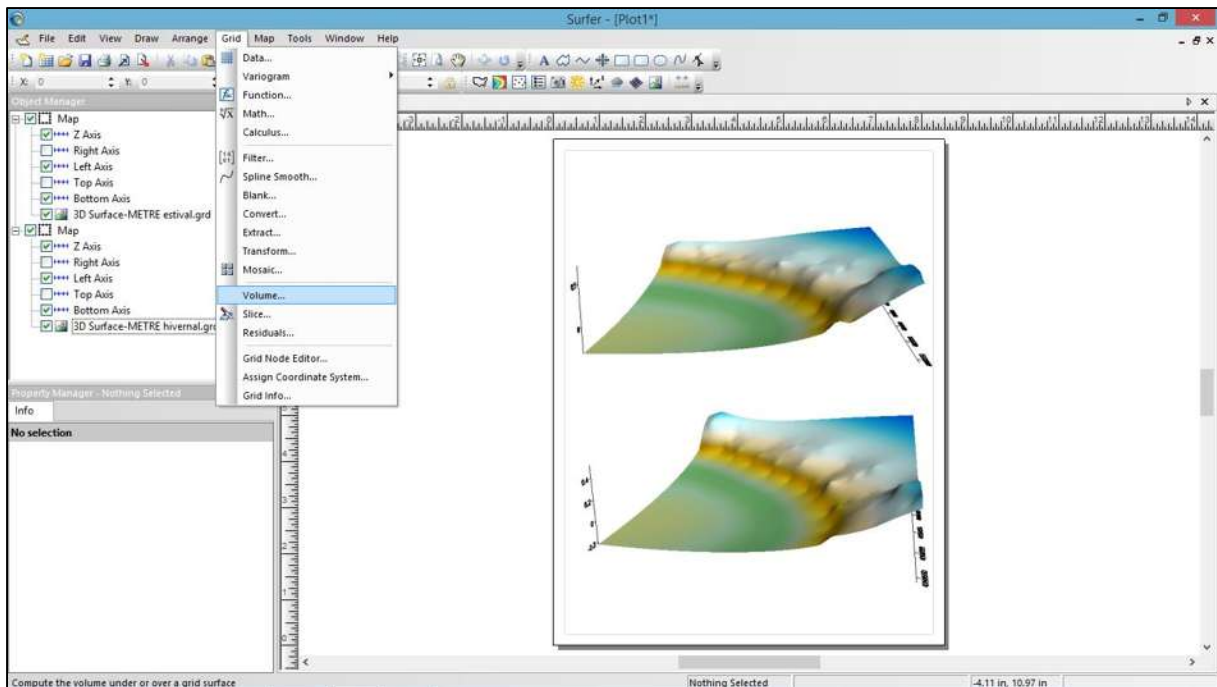


Figure 3 : l'application du calcul de volume

4- Sélectionner la surface supérieure « upper surface ».

Pour notre cas la surface supérieure est de la période Hivernale.

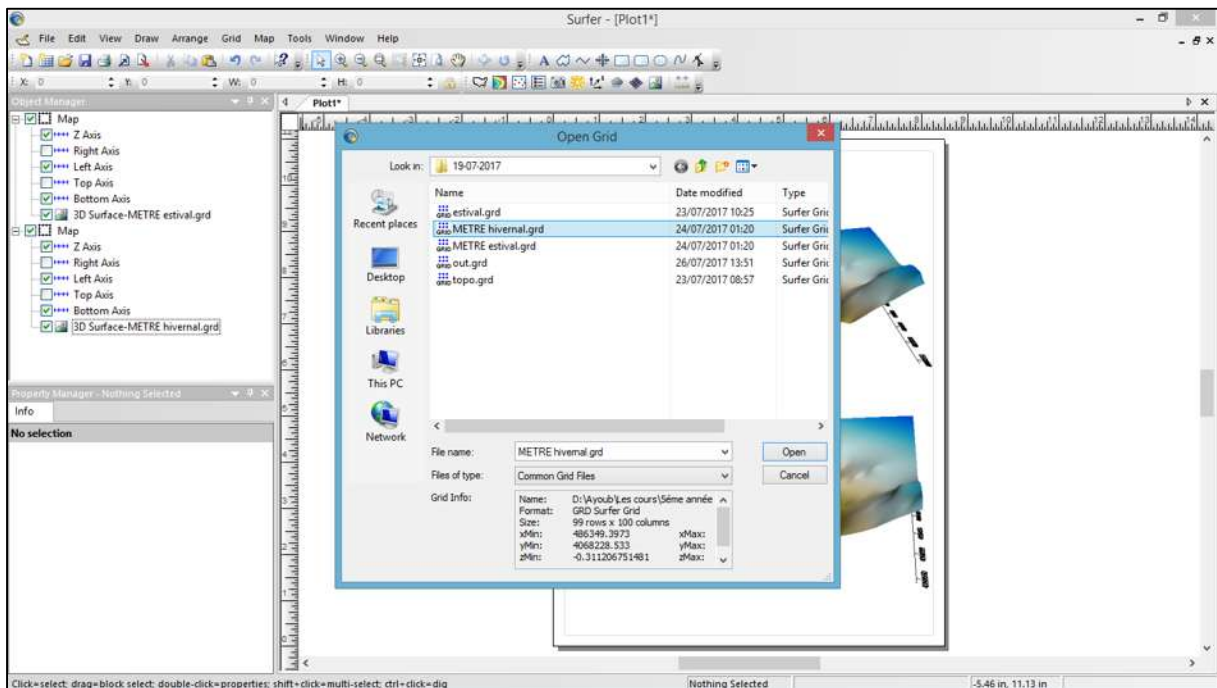


Figure 4 : le fichier de la surface supérieure

Annexe 04

5- Sélectionner la surface inférieure « Lower Surface ».

Pour notre cas la surface inférieure est de la période Estivale.

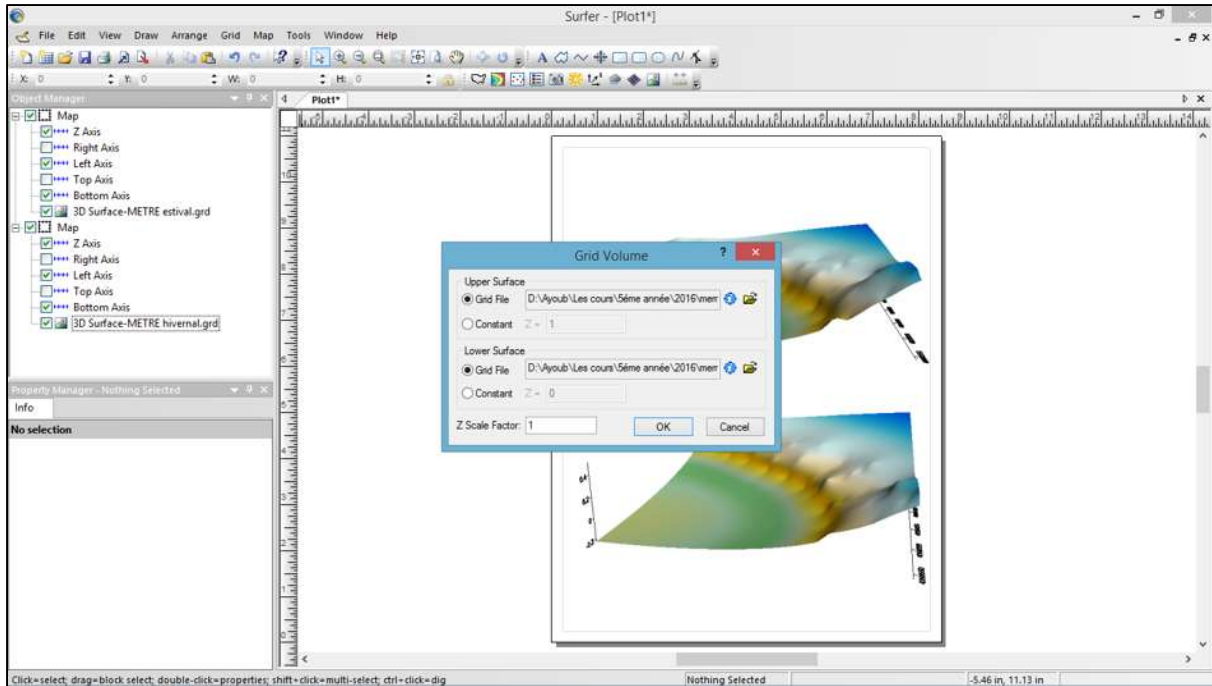


Figure 5.1 : la fenêtre de dialogue pour sélectionner les deux fichiers

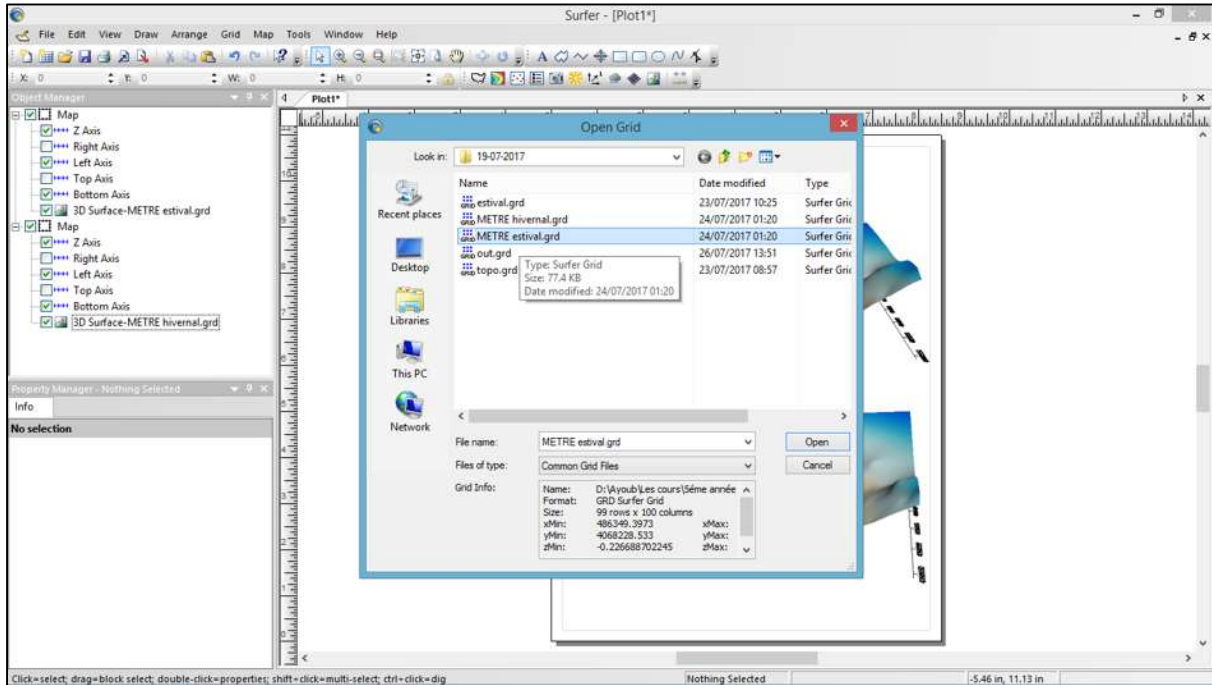


Figure 5.2 : le fichier de la surface inferieure

Annexe 04

6- Mettre le facteur du Z = 1 « Z Scale Factor ».

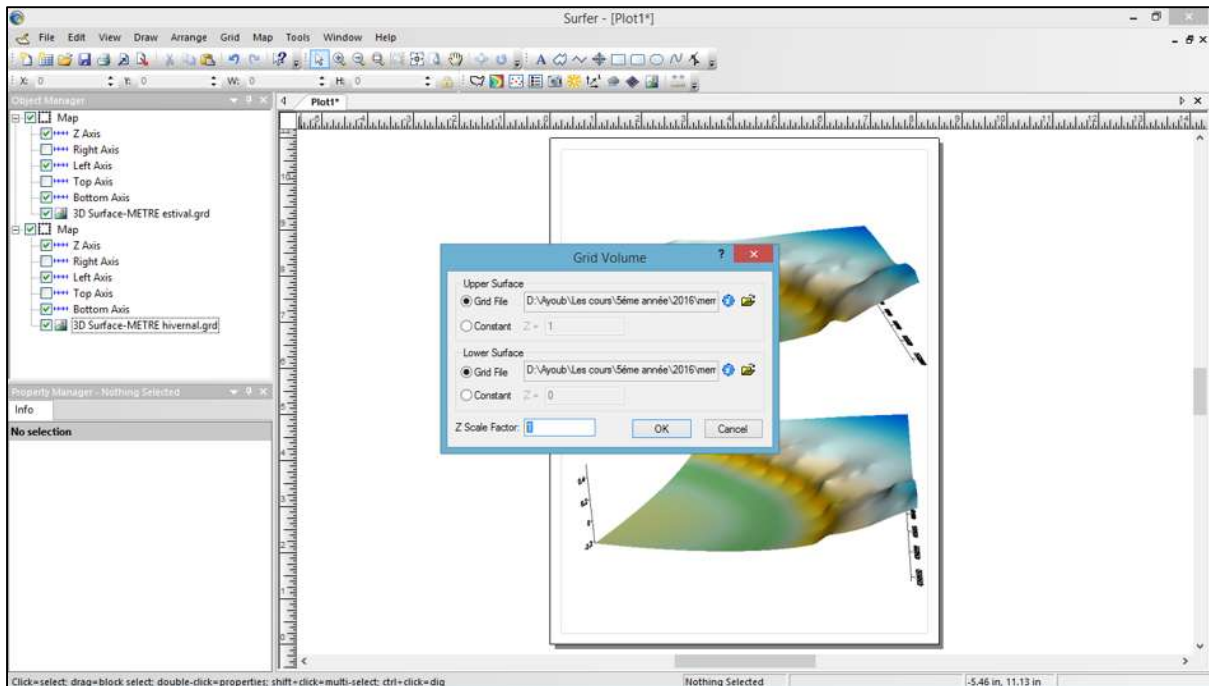


Figure 6 : la valeur du facteur de Z.

7- Le résultat est le volume net « Net Volume [Cut-Fill] »

Le volume net est la différence entre le volume positive [Cut] et le volume négative [Fill]

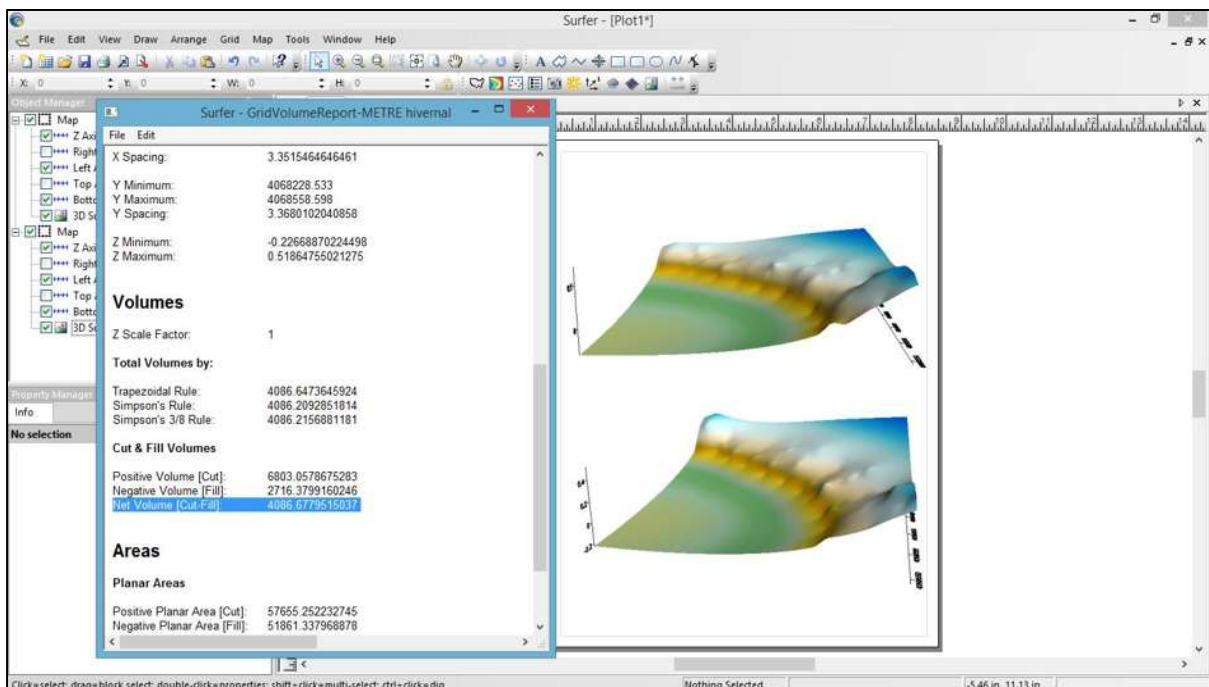


Figure 7 : les résultats du calcul de volume.

Annexe 05

Les étapes de réalisation des cartes bathymétriques via le logiciel Mike :

1. Préparation de la carte par l'application « Image Rectifier »

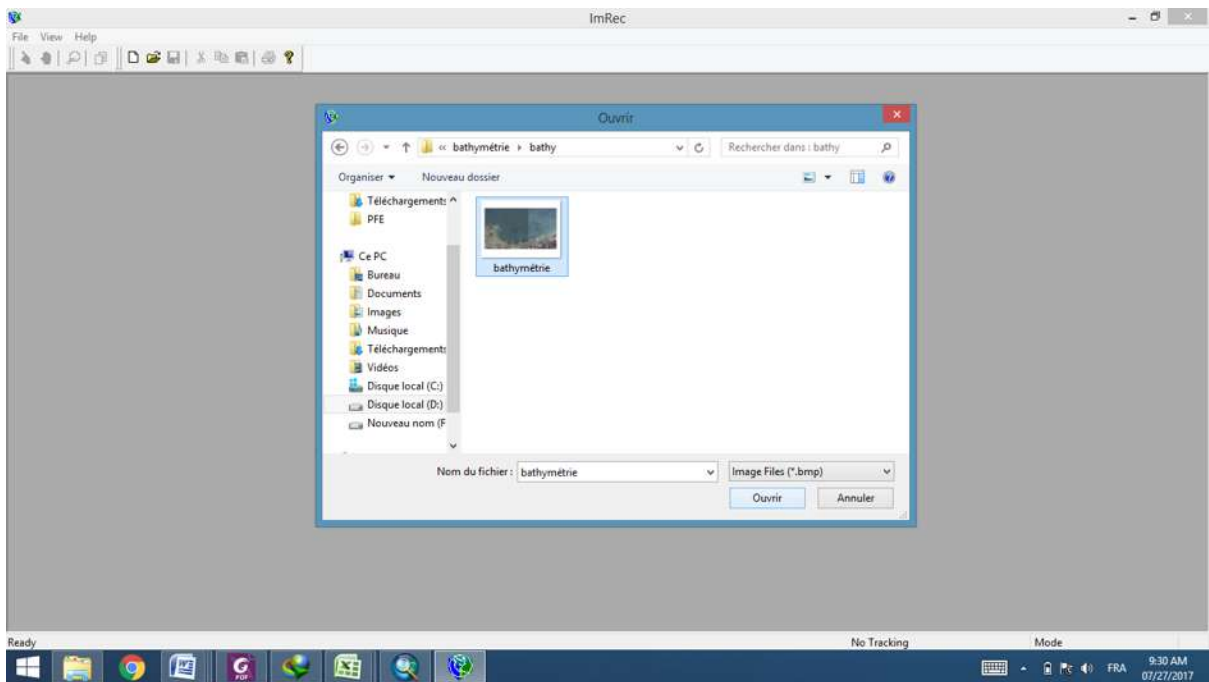


Figure 1 : Importation de l'image satellitaire sur l'application « Image Rectifier »

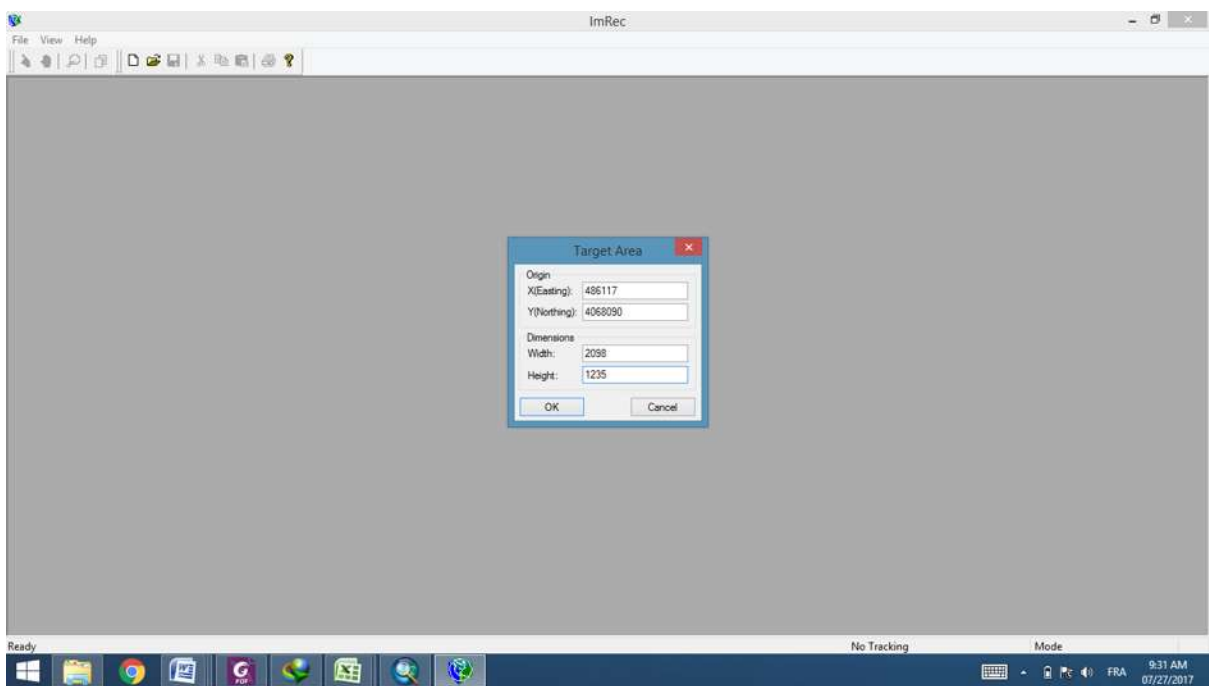


Figure 2 : Définir l'origine et les dimensions de la carte

Annexe 05

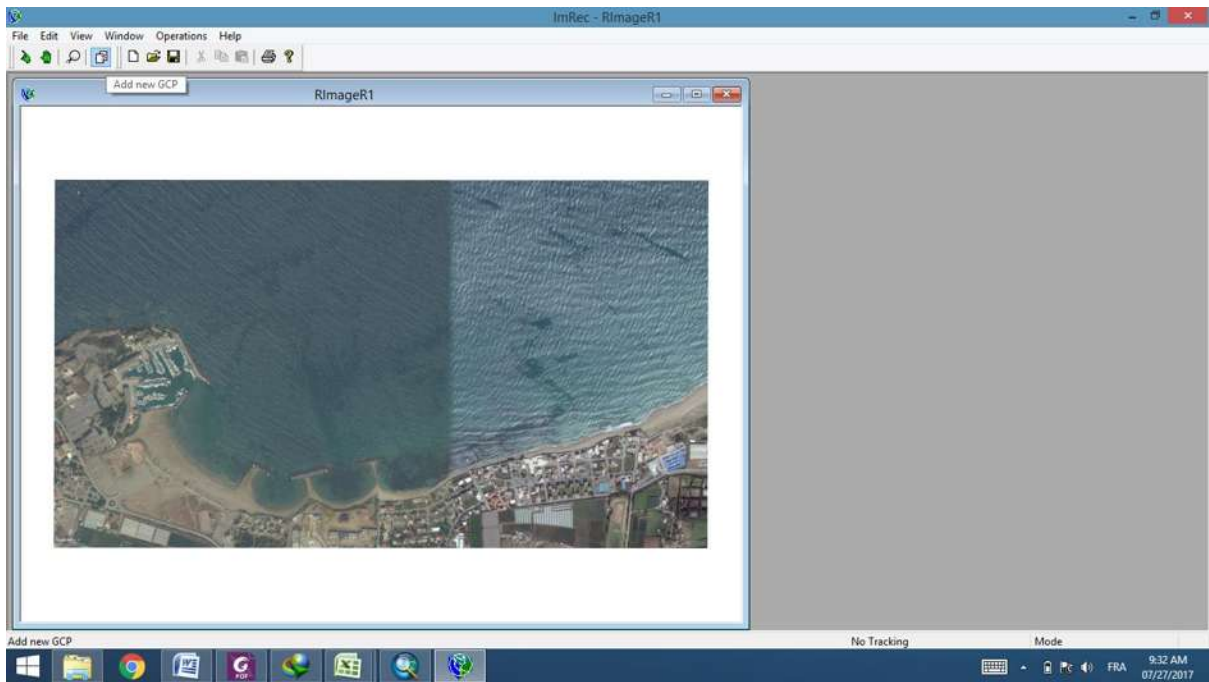


Figure 3 : Géoréférencer la carte

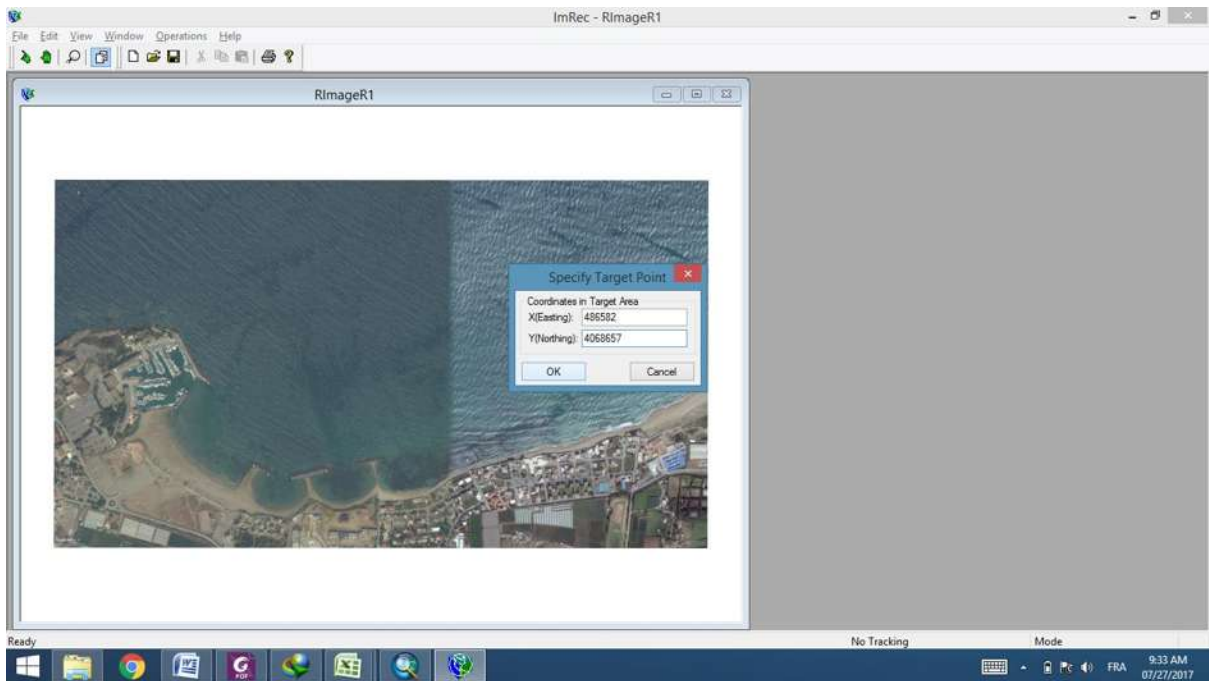


Figure 4 : Ajouter les coordonnées géographiques à la cartes

Annexe 05

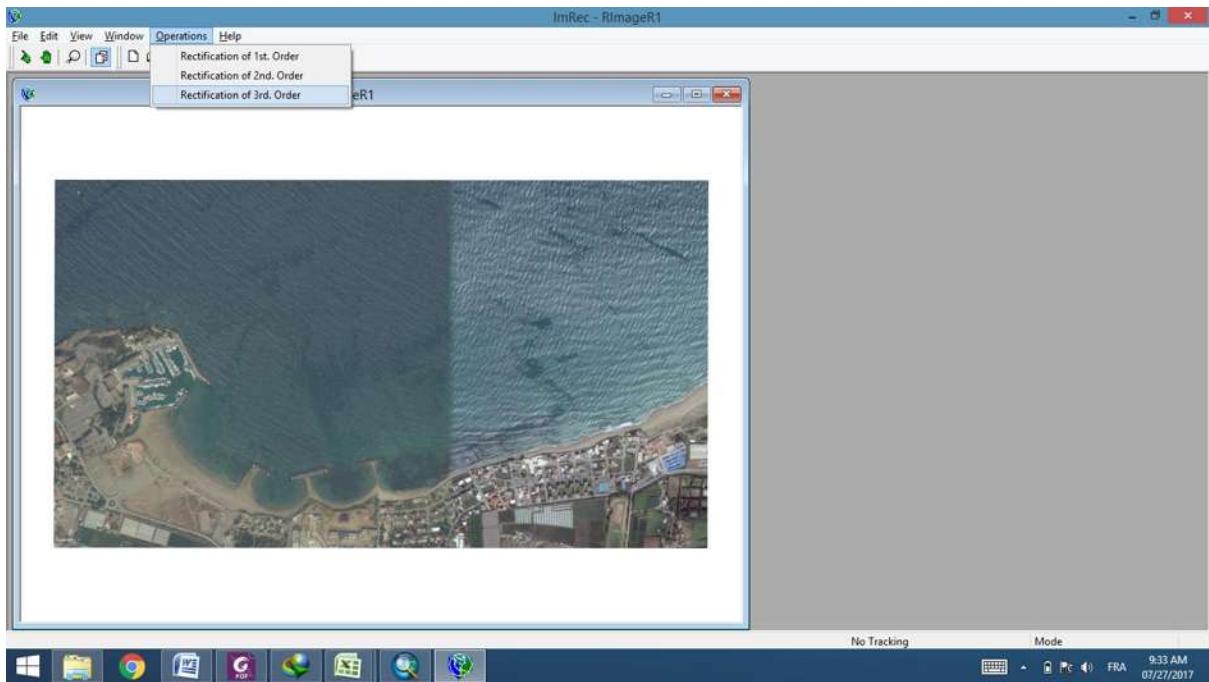


Figure 5 : Rectifier la carte géoréférencée

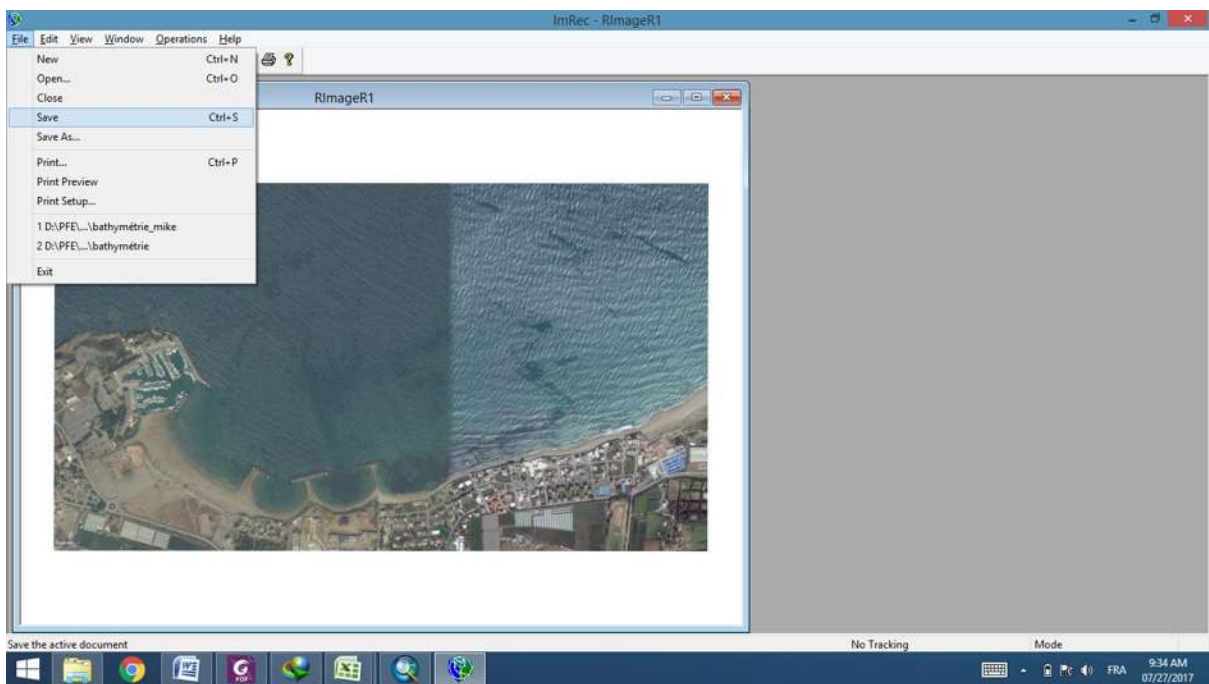


Figure 6 : Enregistrer la carte géoréférencée

Annexe 05

2. Modéliser la bathymétrie à l'aide de logiciel Mike Zero :

➤ Projet 1 : Bathymetries (.batsf)

Mike Zero/File/New/File/Bathymetries (.batsf)

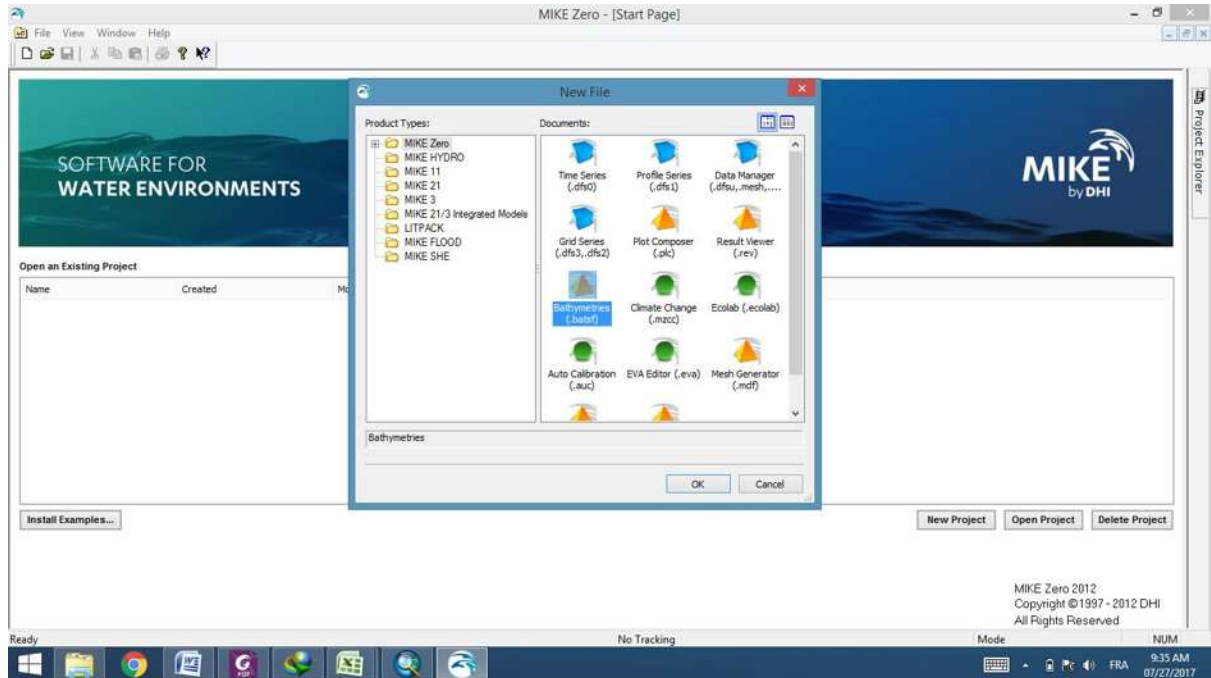


Figure7 : Création de projet de la bathymétrie sous le mike zero

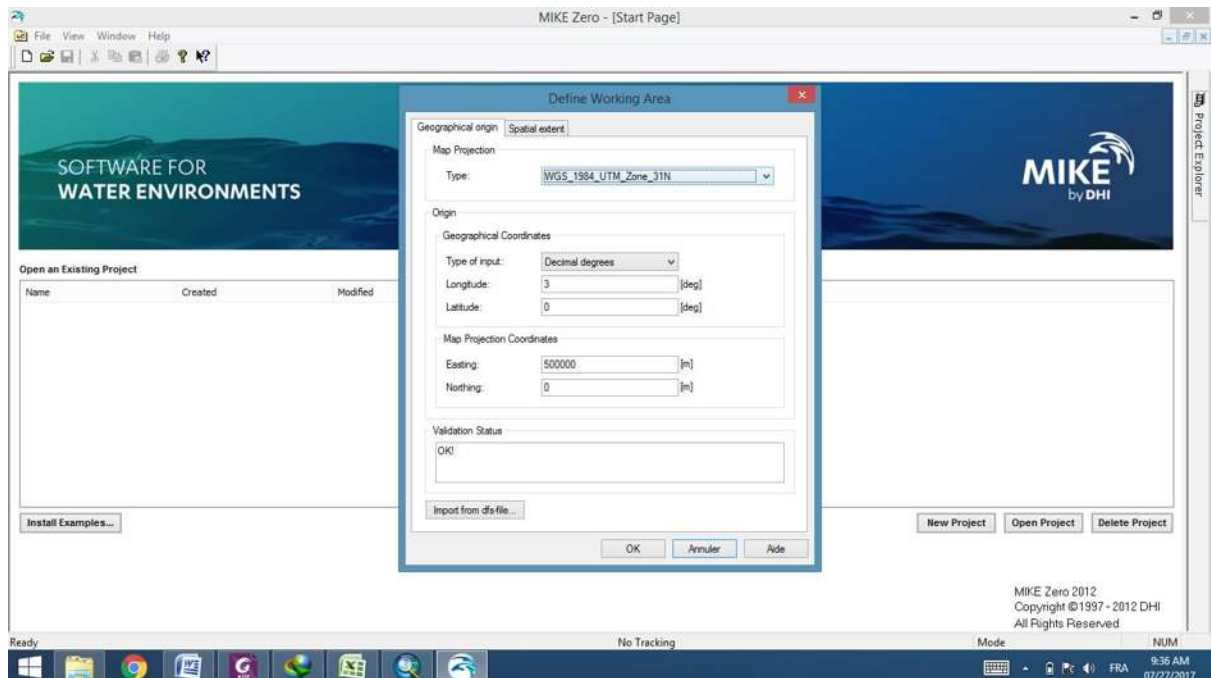


Figure8 : Définir le système de projection

Annexe 05

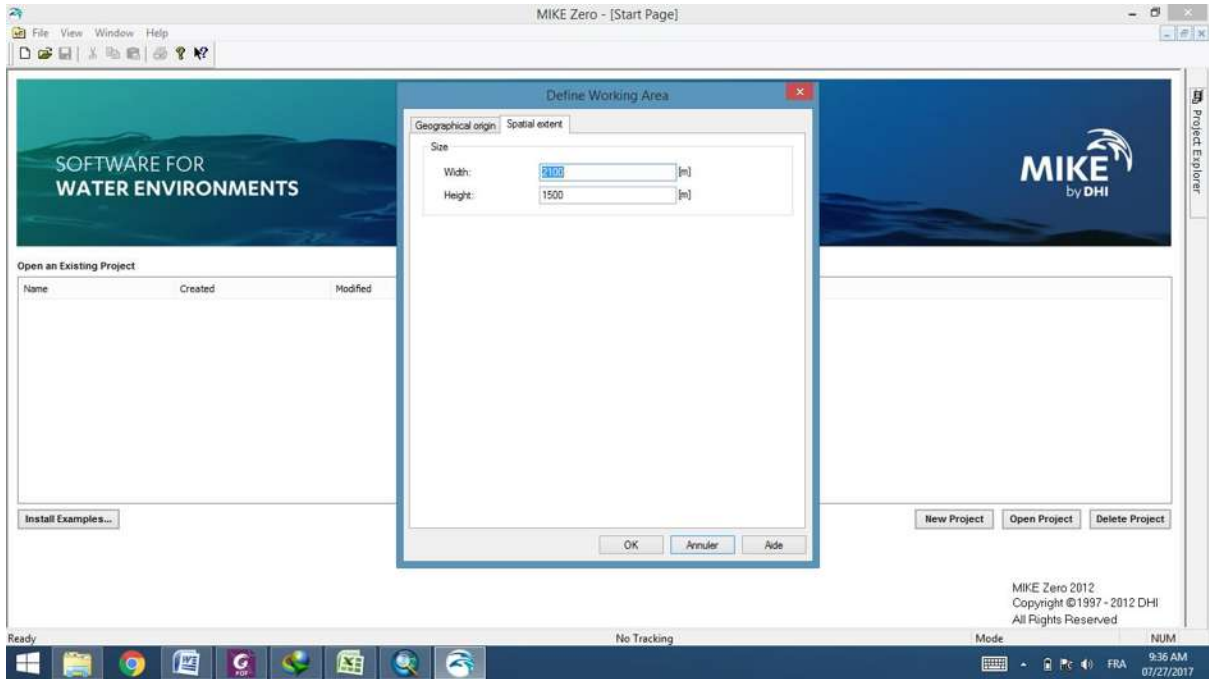


Figure 9 : Définir les dimensions de l'espace du travail

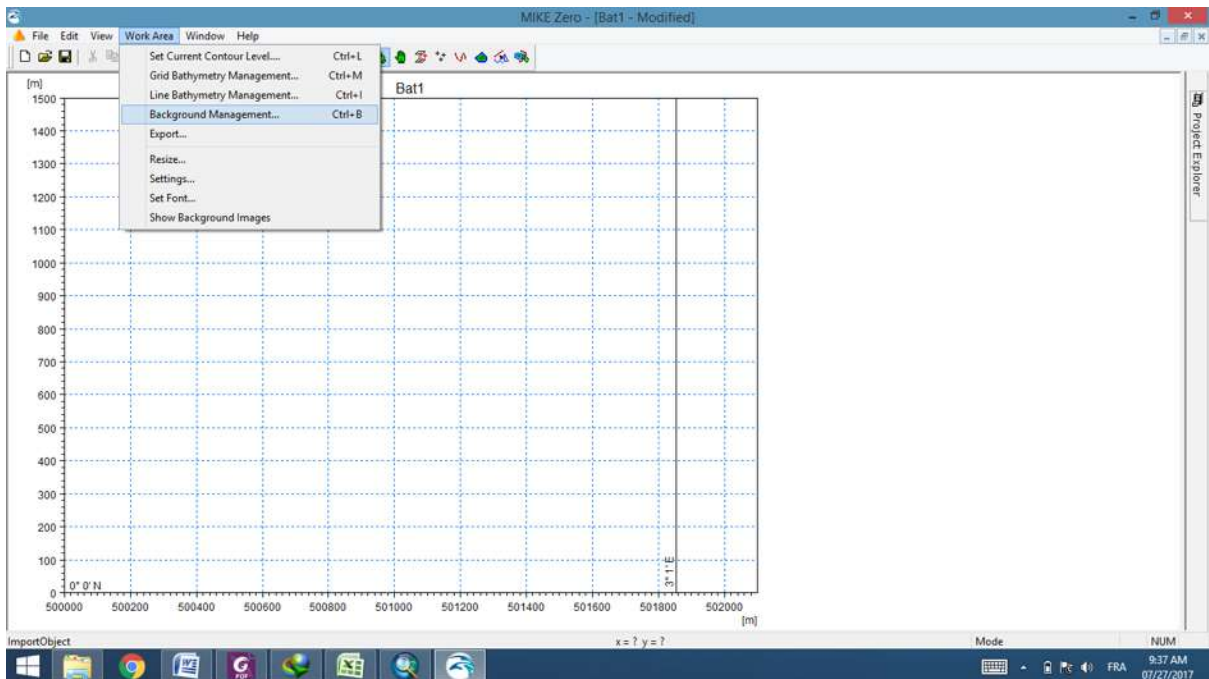


Figure 10 : Ajouter l'arrière plan (la carte)

Annexe 05

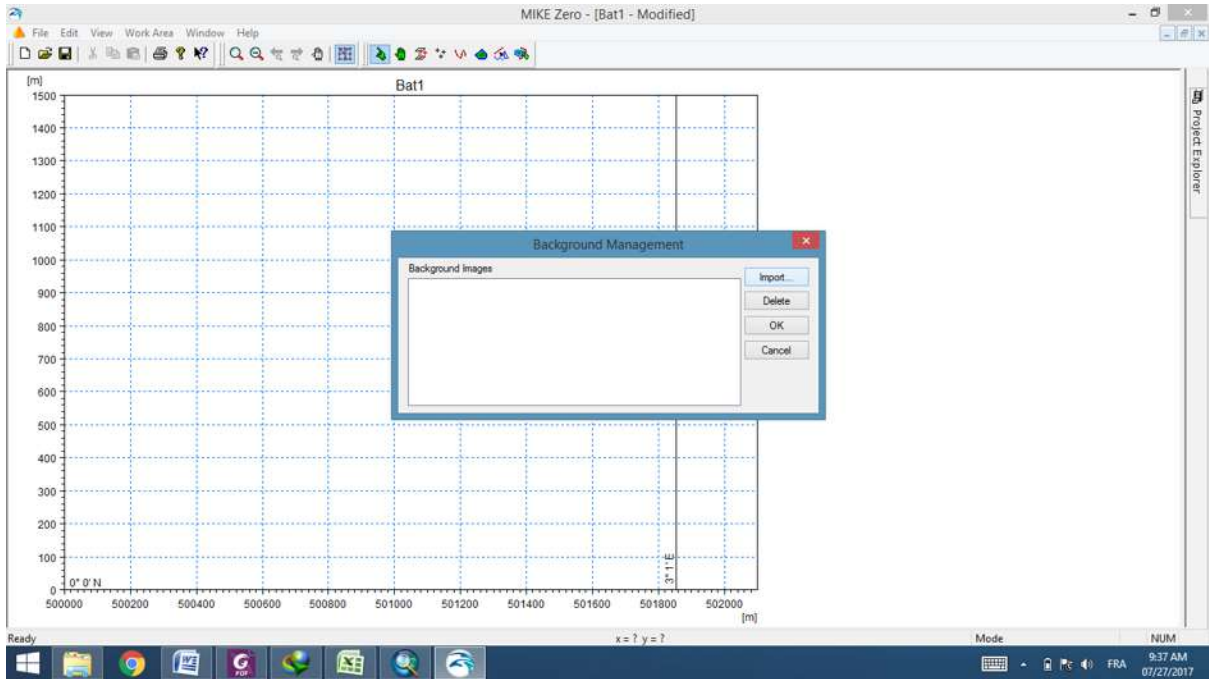


Figure 11 : Importer l'arrière plan

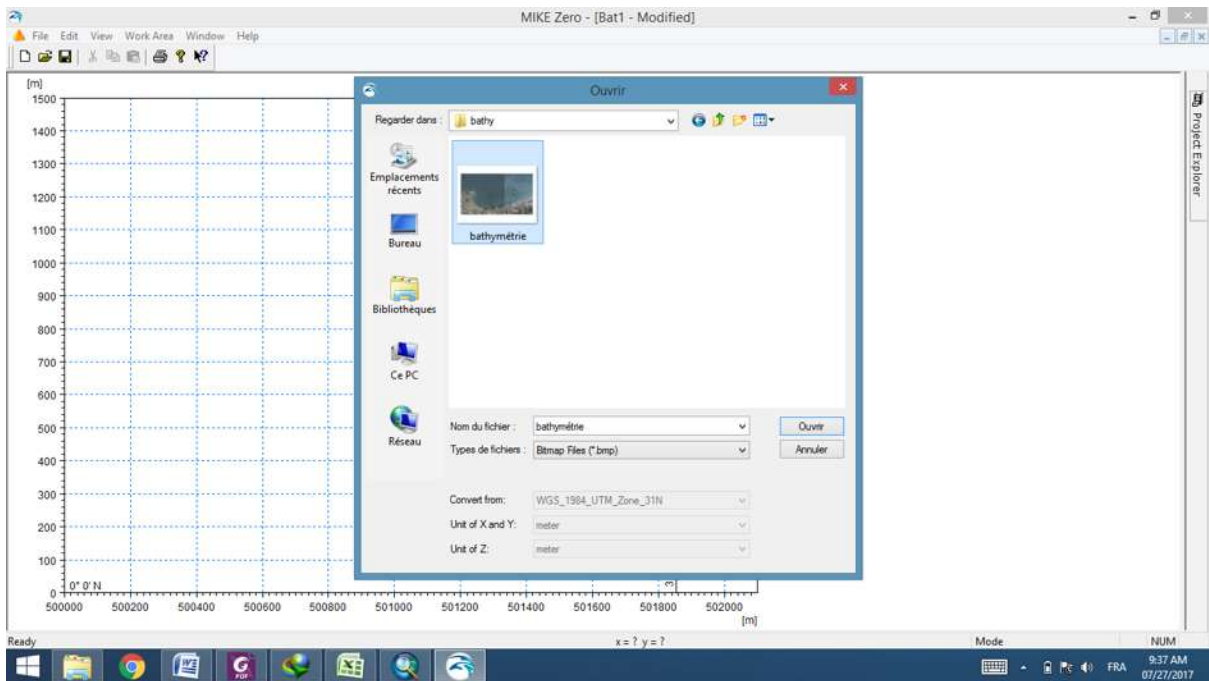


Figure 12 : Importer la carte géoréférencée

Annexe 05

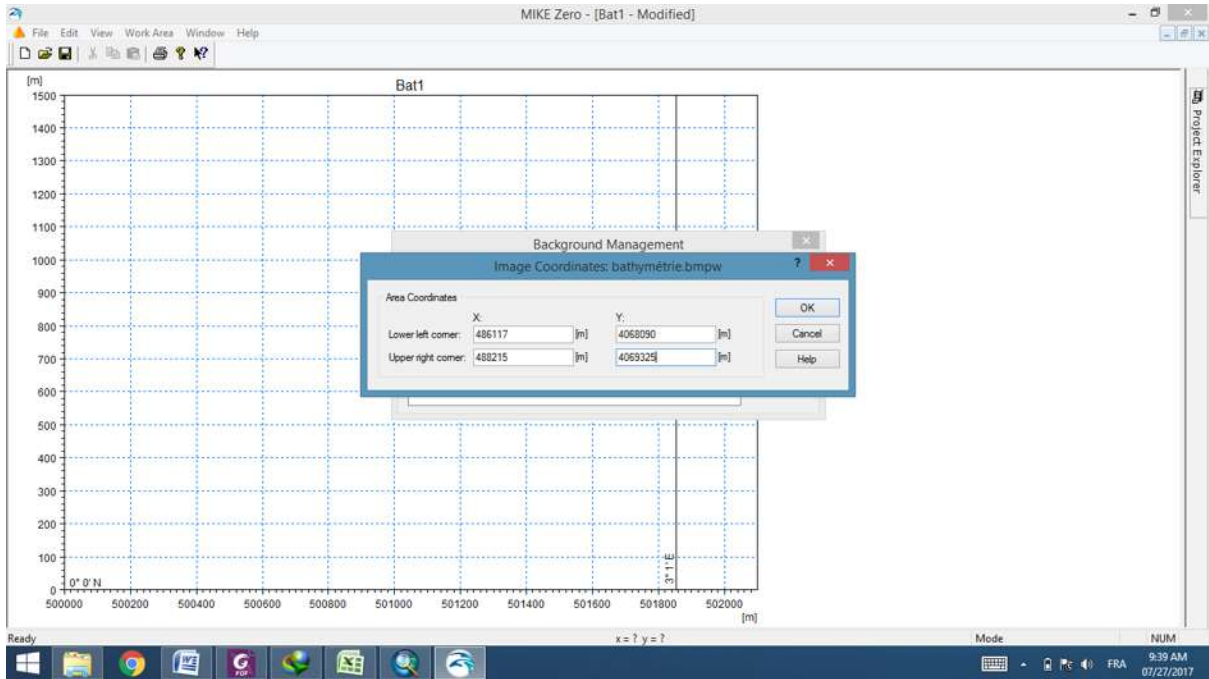


Figure 13 : Définir le corner inférieur gauche et le corner supérieur droite

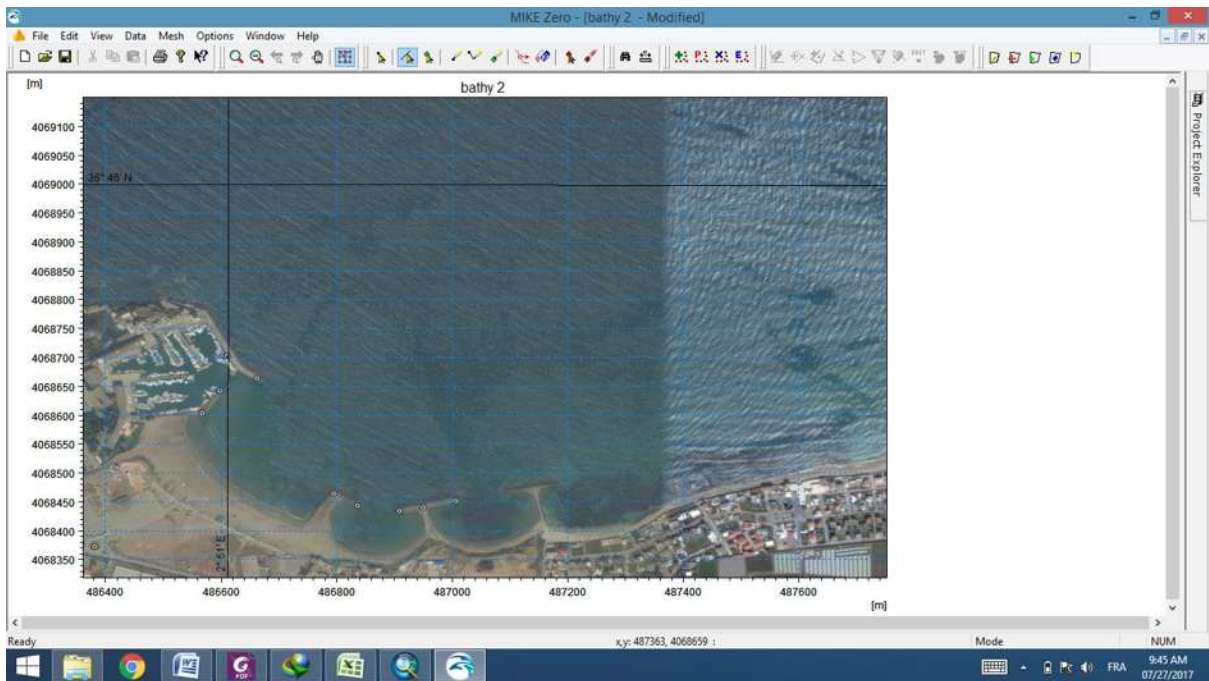


Figure 14 : La carte de la zone d'étude

Annexe 05

2.1 Création du trait de côte sous la forme XYZ :

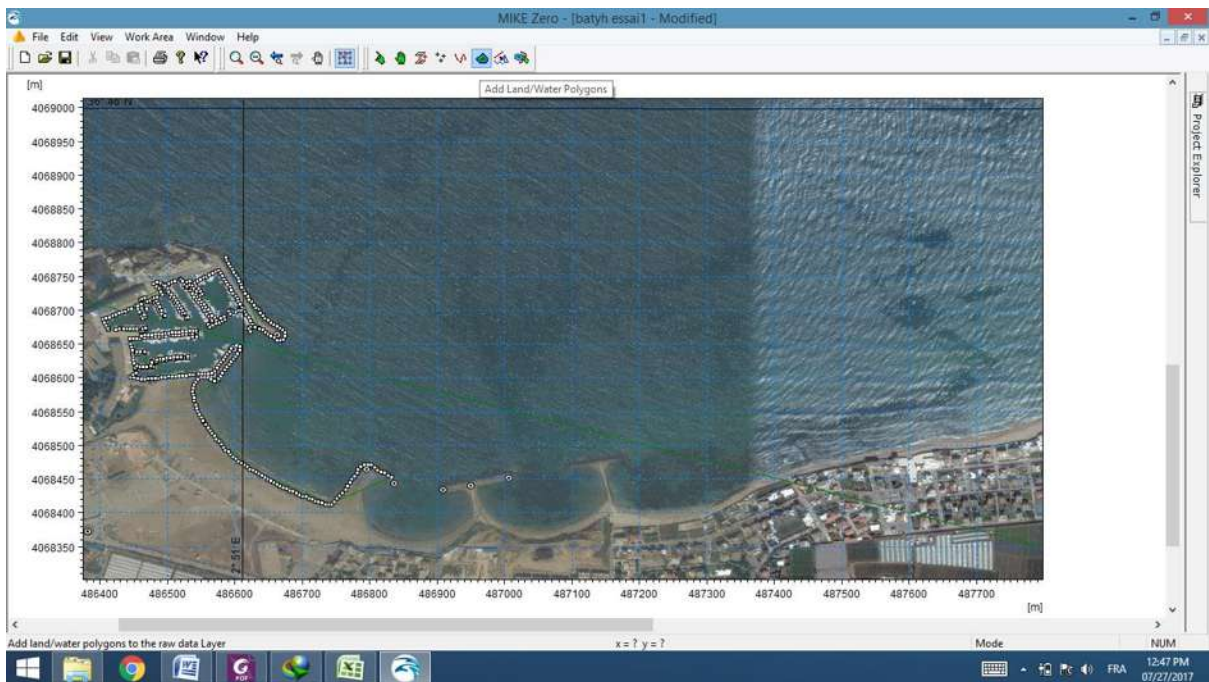


Figure 15 : Digitaliser le trait de cote de la zone d'étude

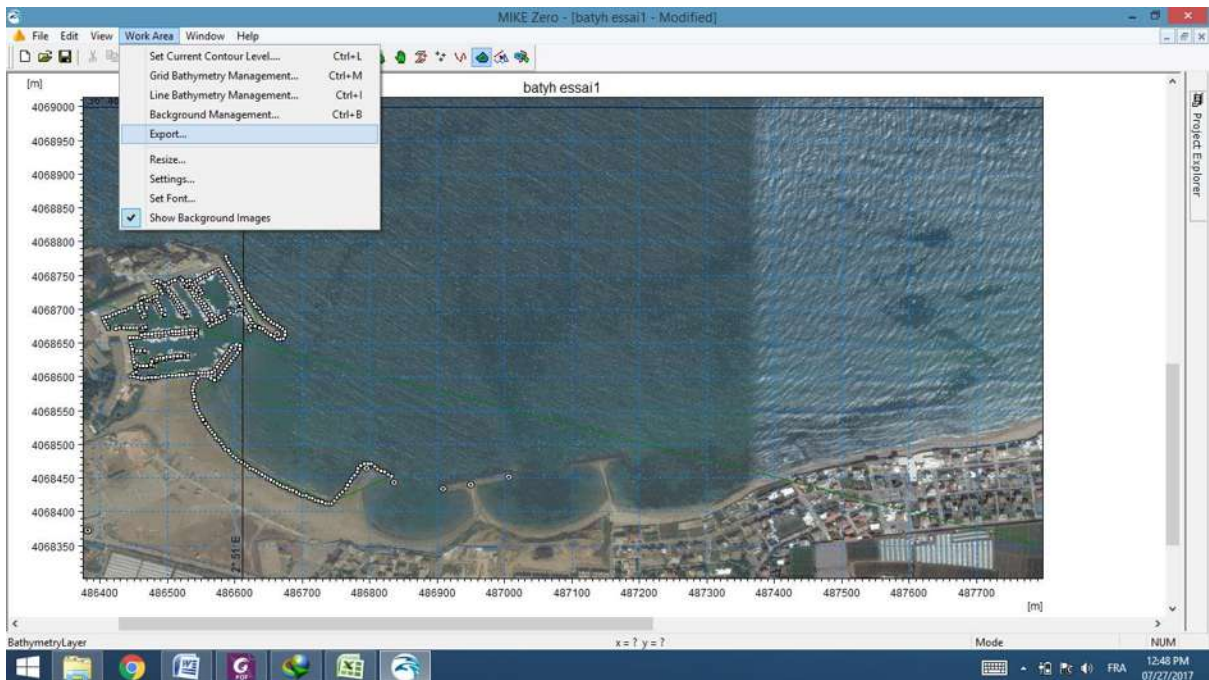


Figure 16 : Exporter le trait de cote digitalisé

Annexe 05

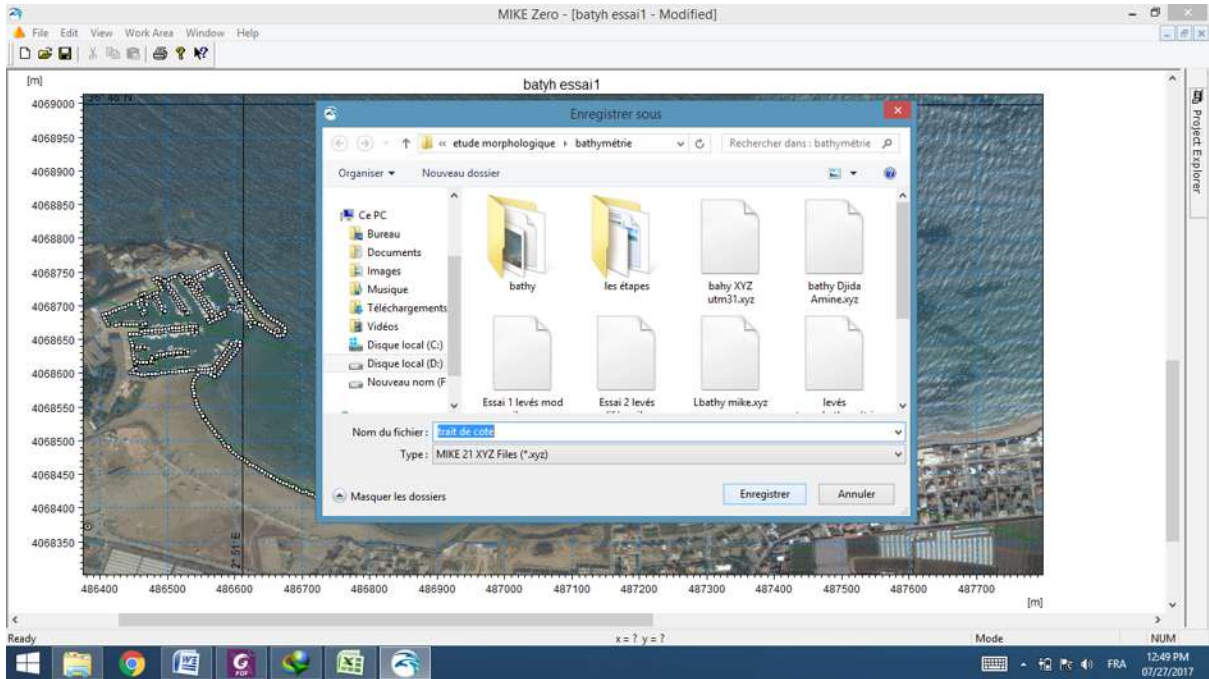


Figure 17 : Enregistrer le trait de cote digitaliser sous format (.XYZ)

➤ Projet 2 : Mesh Generator (.mdf)

Mike Zero/File/New/File/ Mesh Generator (.mdf)

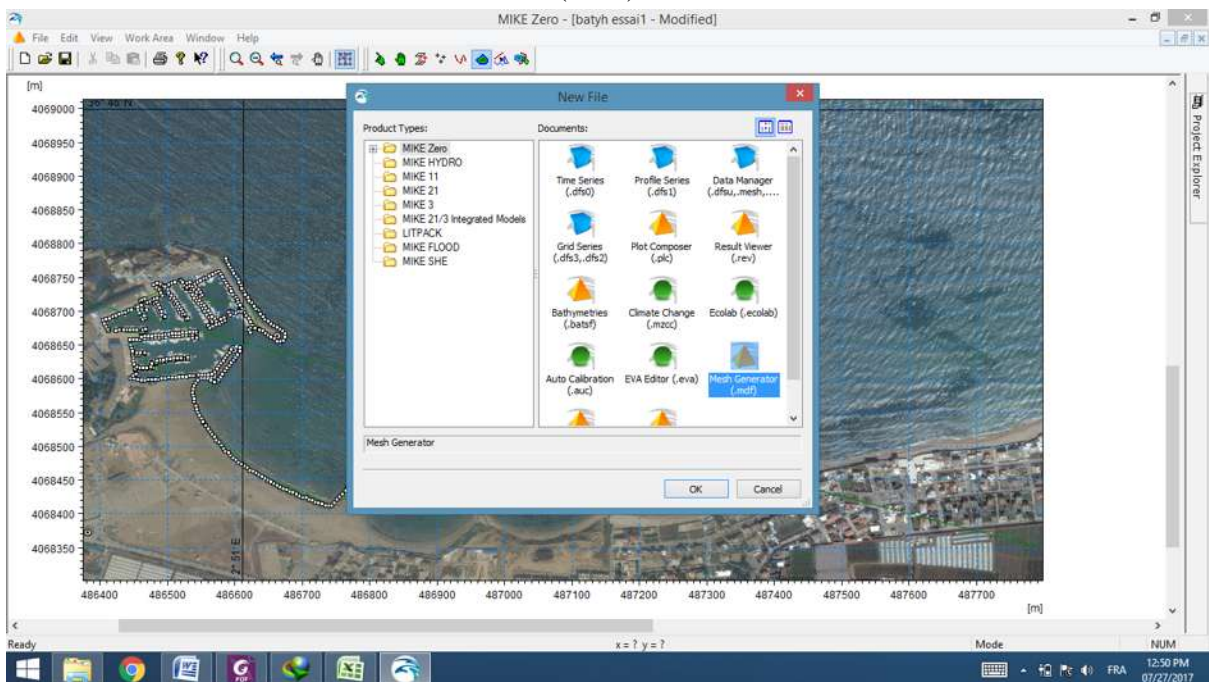


Figure 18: Création de projet du maillage sous le mike zero

Annexe 05

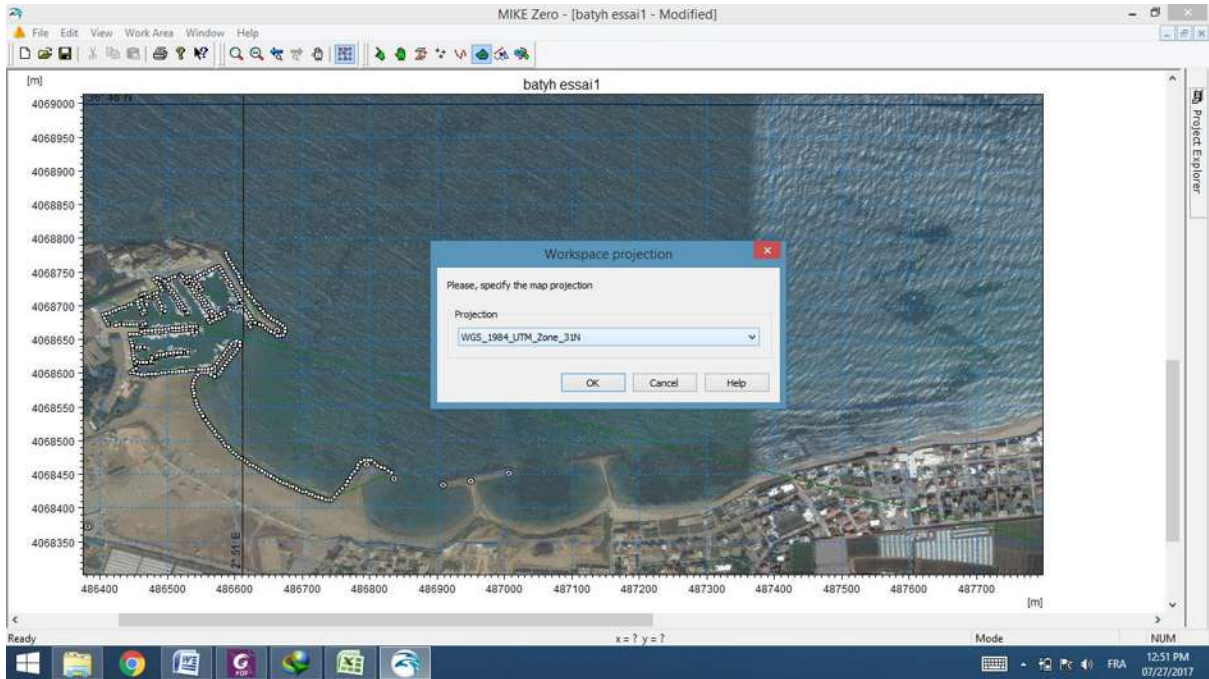


Figure 19 : Définir le système de projection

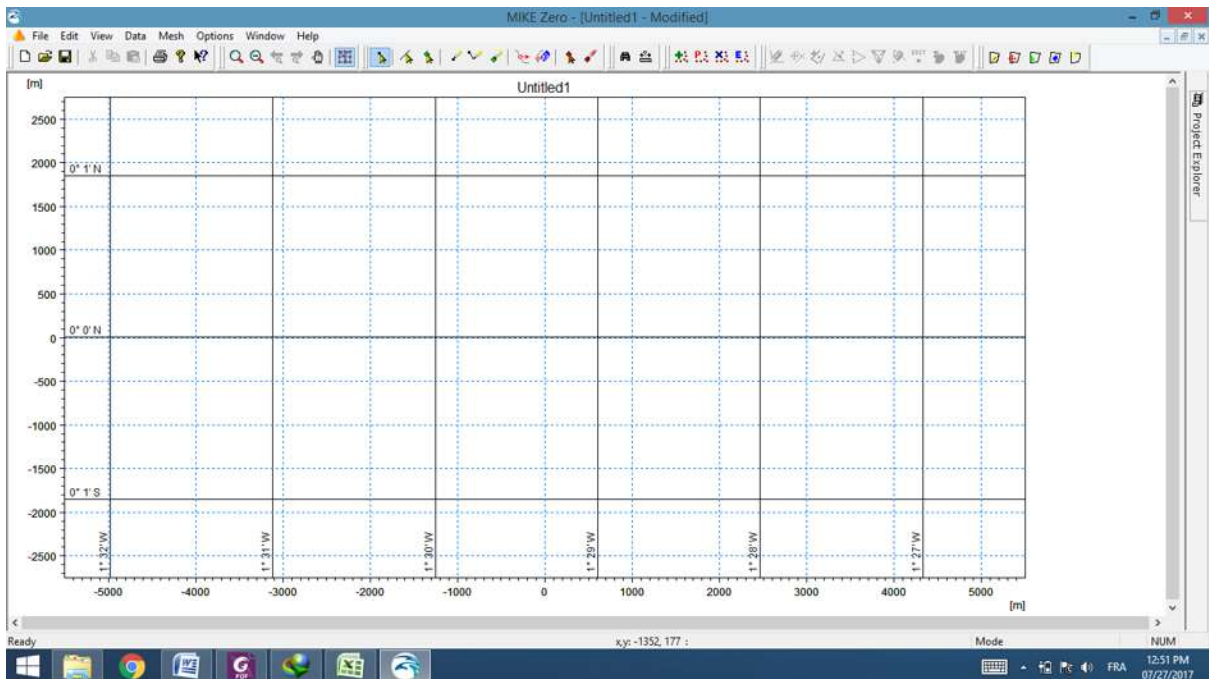


Figure 20 : La grille de l'espace de travail

Annexe 05

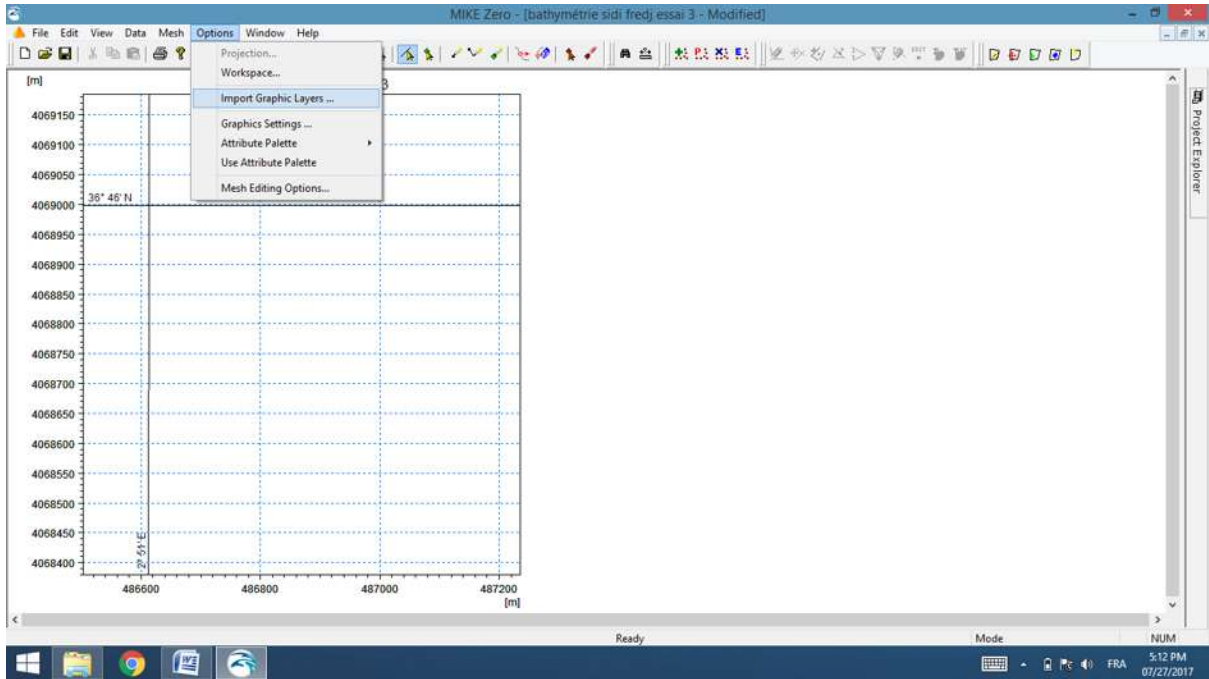


Figure 21 : Importer la couche de la carte

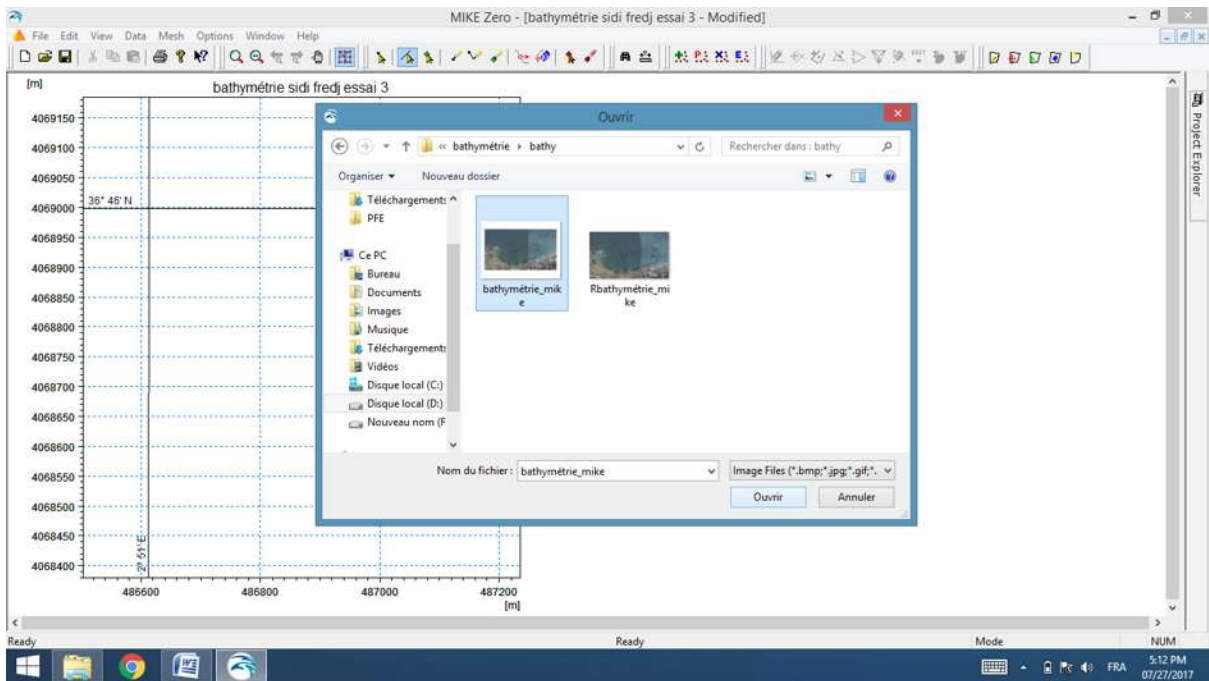


Figure 22 : Importer la carte géoréférencée

Annexe 05

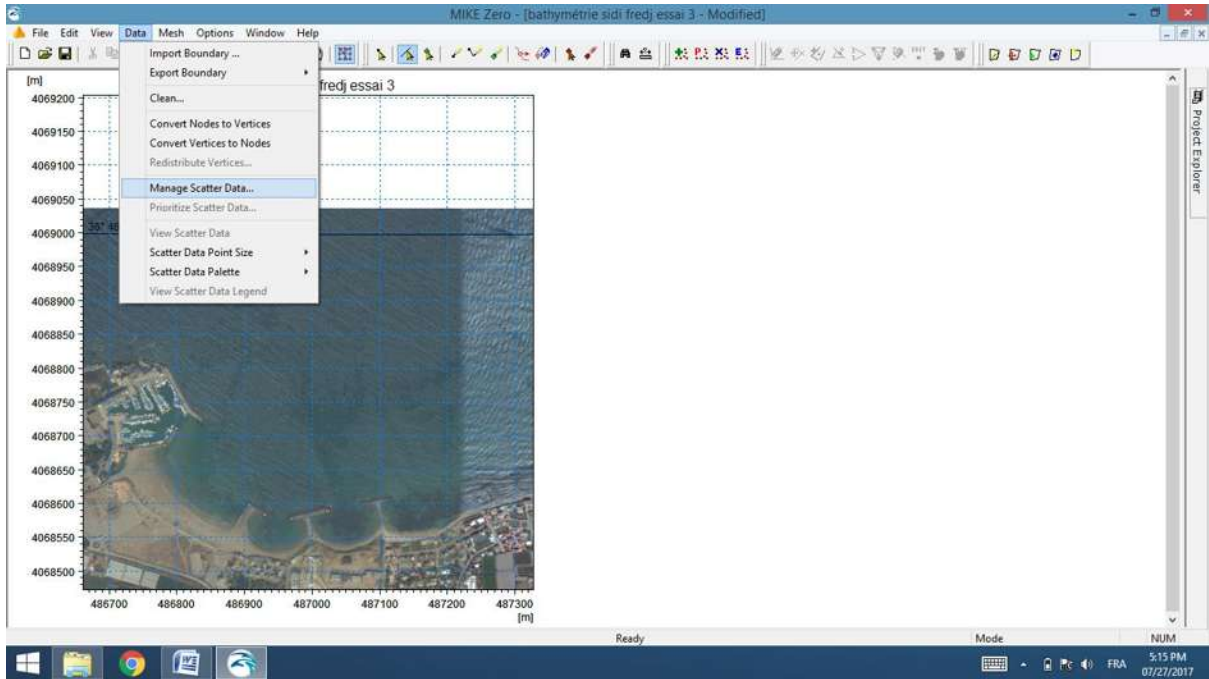


Figure 23 : Gestion des données

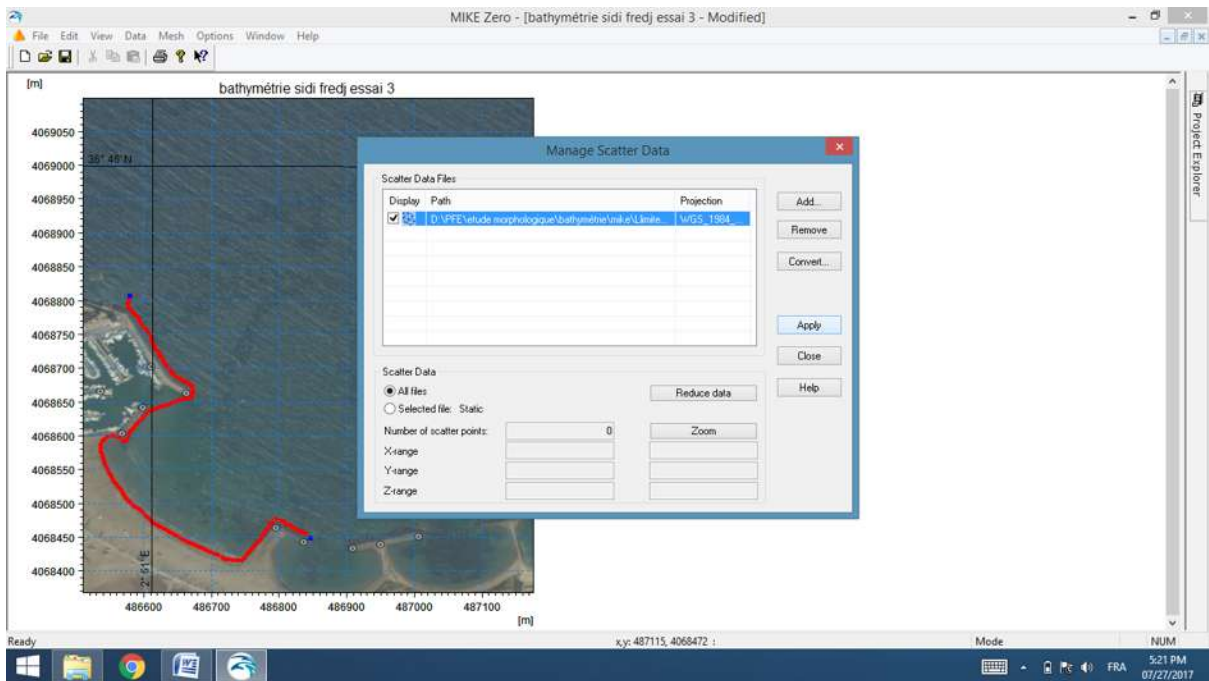


Figure 24 : Importer le trait de cote sous format (.XYZ)

Annexe 05

2.2 Délimitation de la zone :

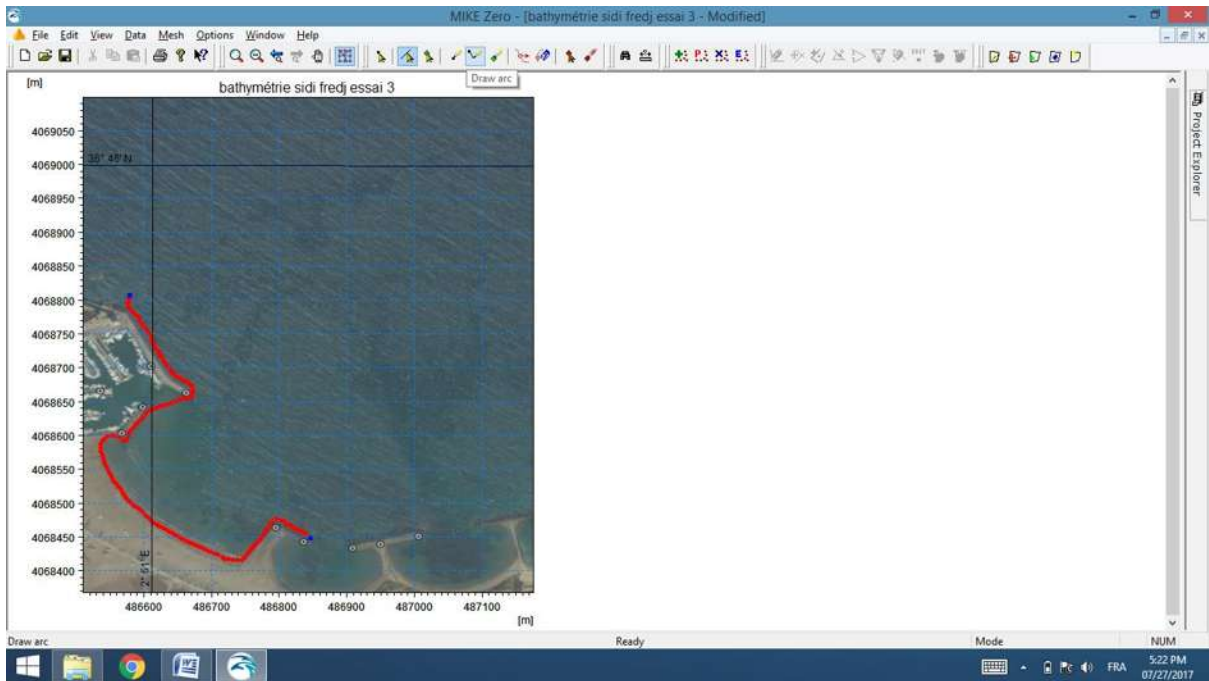


Figure 25 : Séparer la terre de la mer par le trait de cote

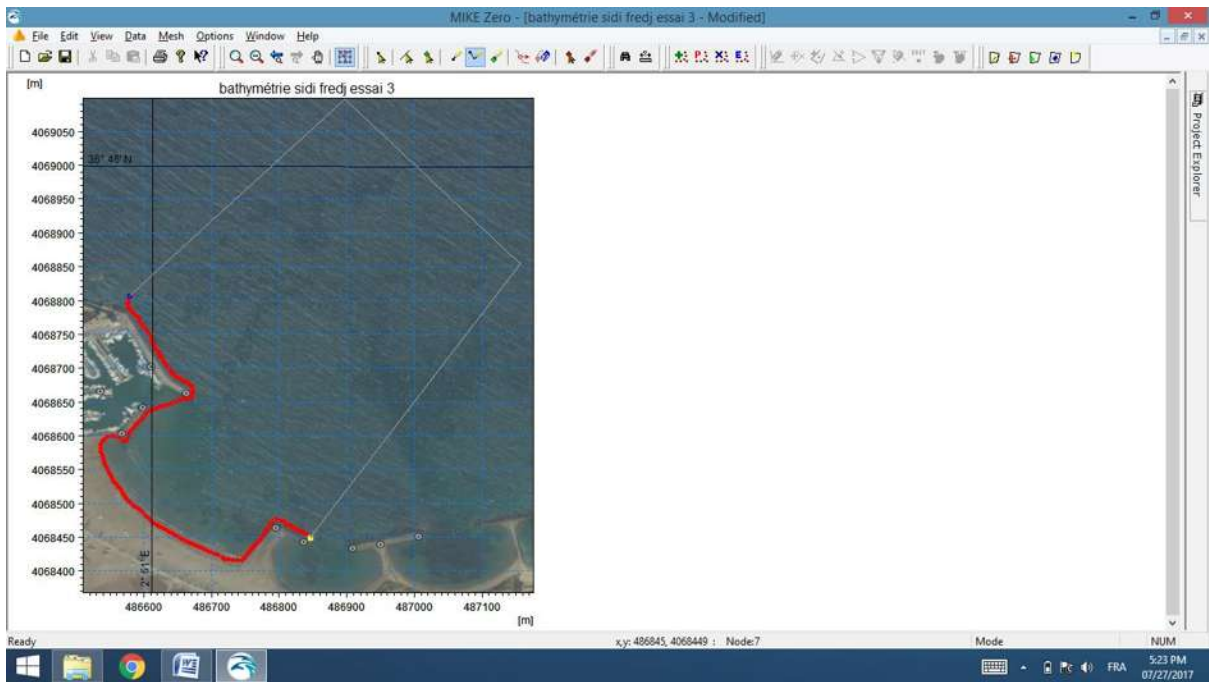


Figure 26 : Dessiner des arcs en délimitant la zone de travail

Annexe 05

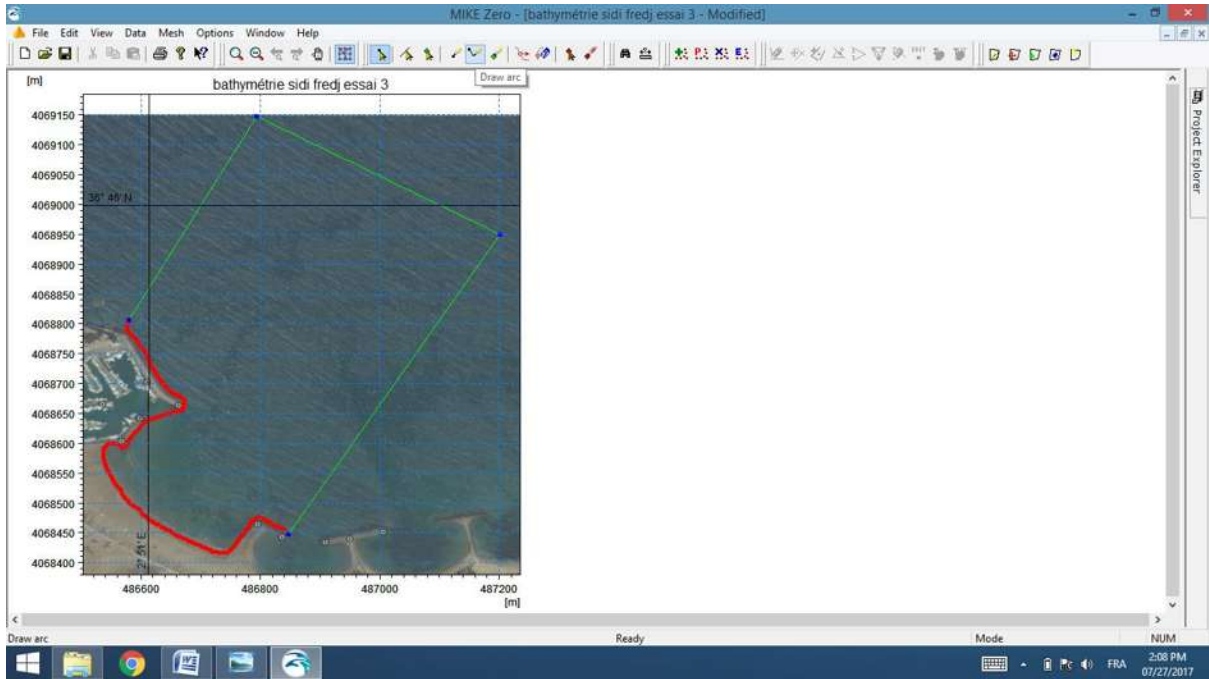


Figure 27 : La délimitation de la zone

2.3 Création des bathymétries sous la forme XYZ

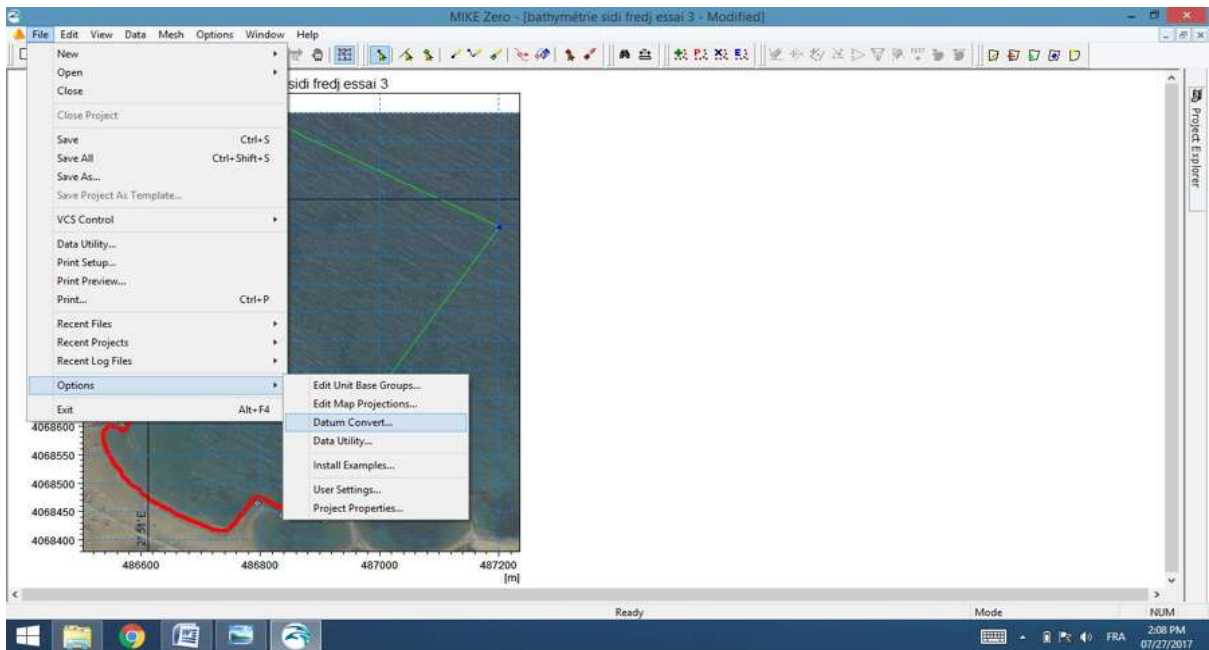


Figure 28 : Ouvrir l'outil de conversion

Annexe 05

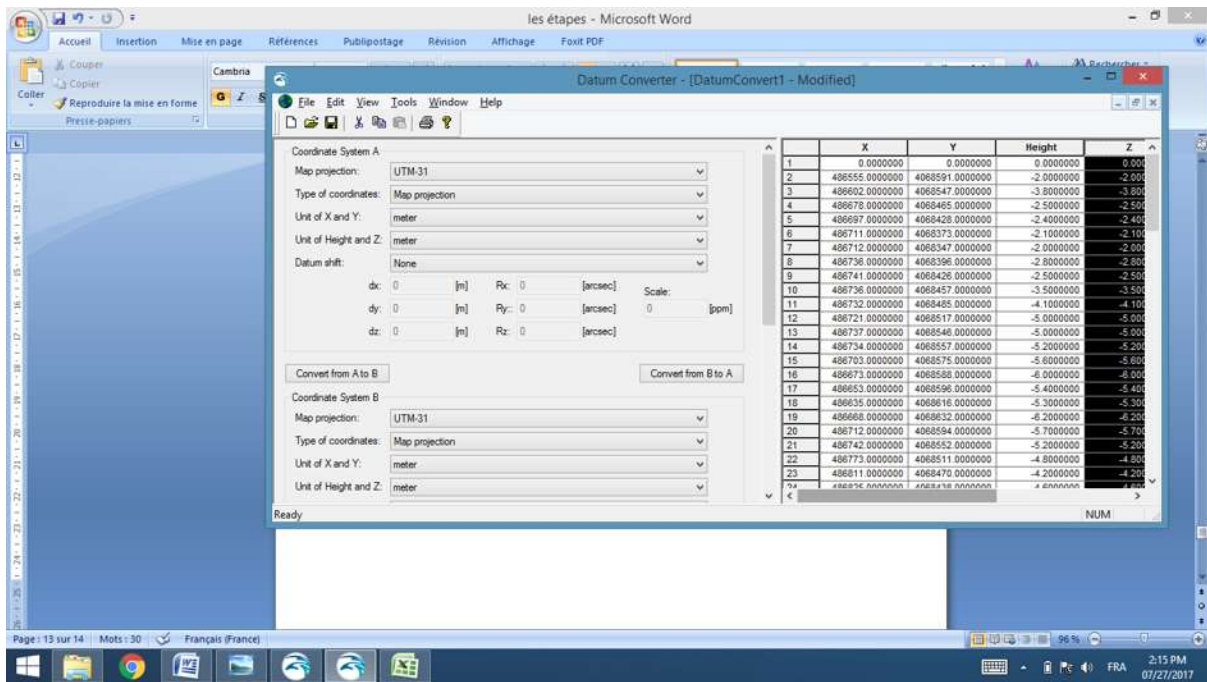


Figure 29 : La conversion des données bathymétriques du format (lat/long/profondeur) en format (.XYZ)

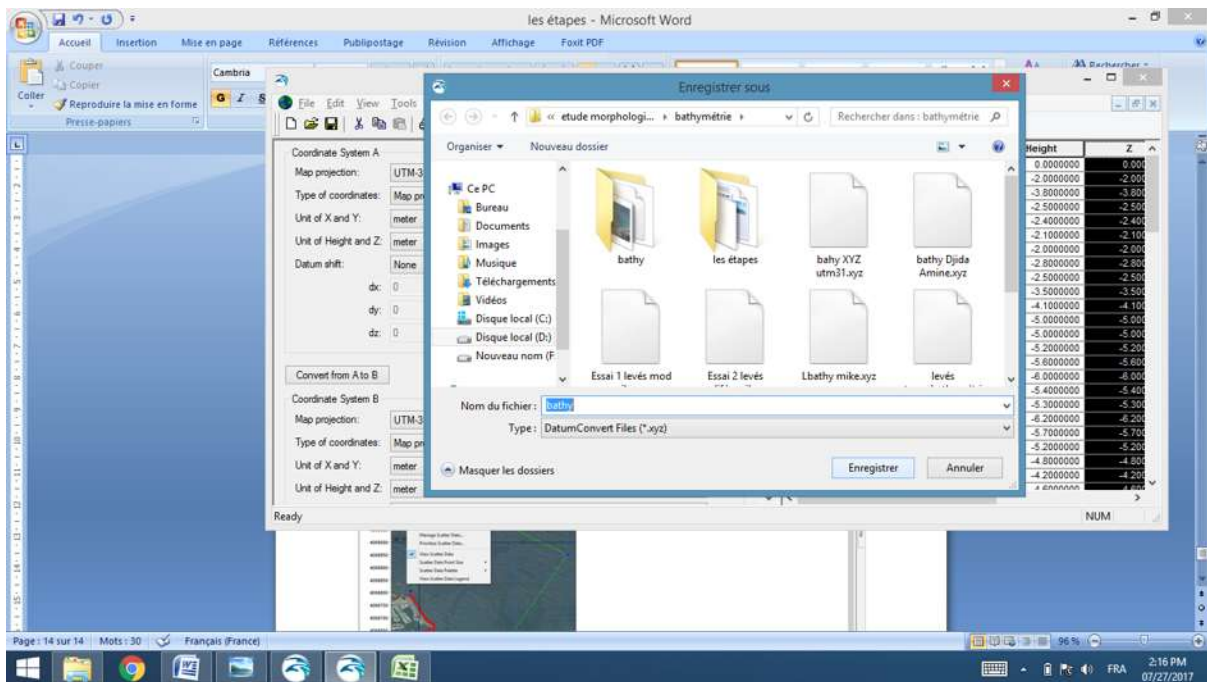


Figure 30 : Enregistrer les données bathymétriques sous format (.XYZ)

Annexe 05

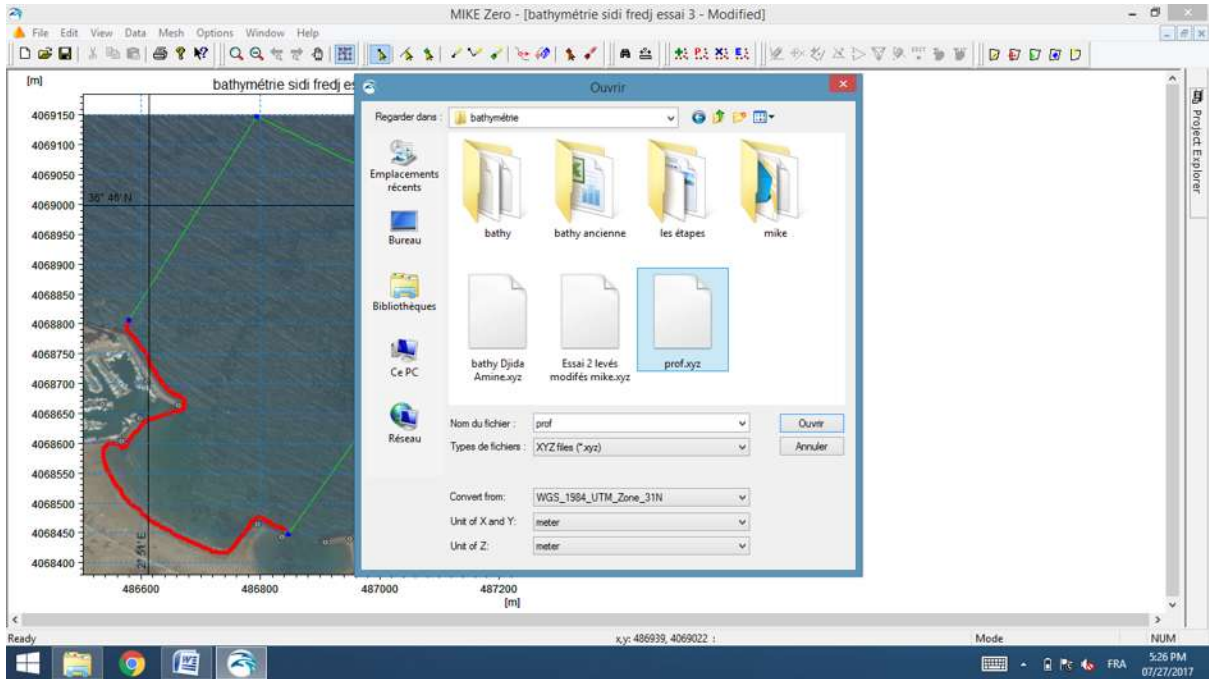


Figure 31 : Importer les données bathymétriques sous format (.XYZ)

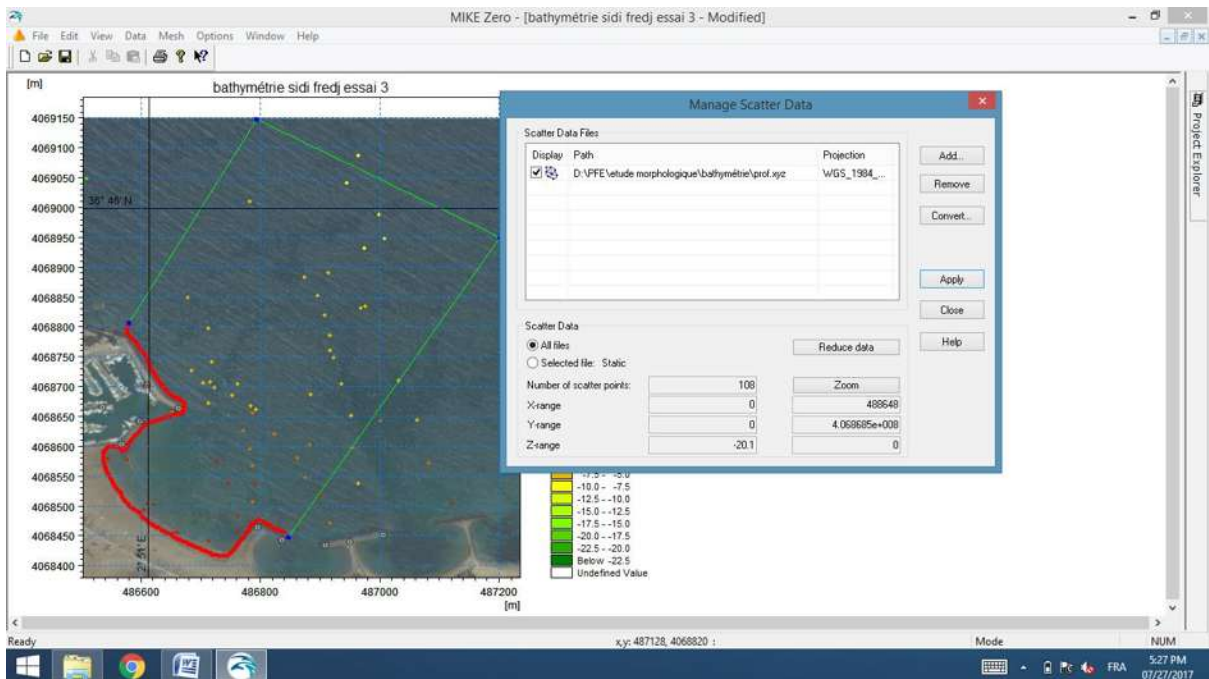


Figure 32 : Ajouter les points de levés bathymétriques à la carte

Annexe 05

3. Création 2D Bathymétries sous le maillage :

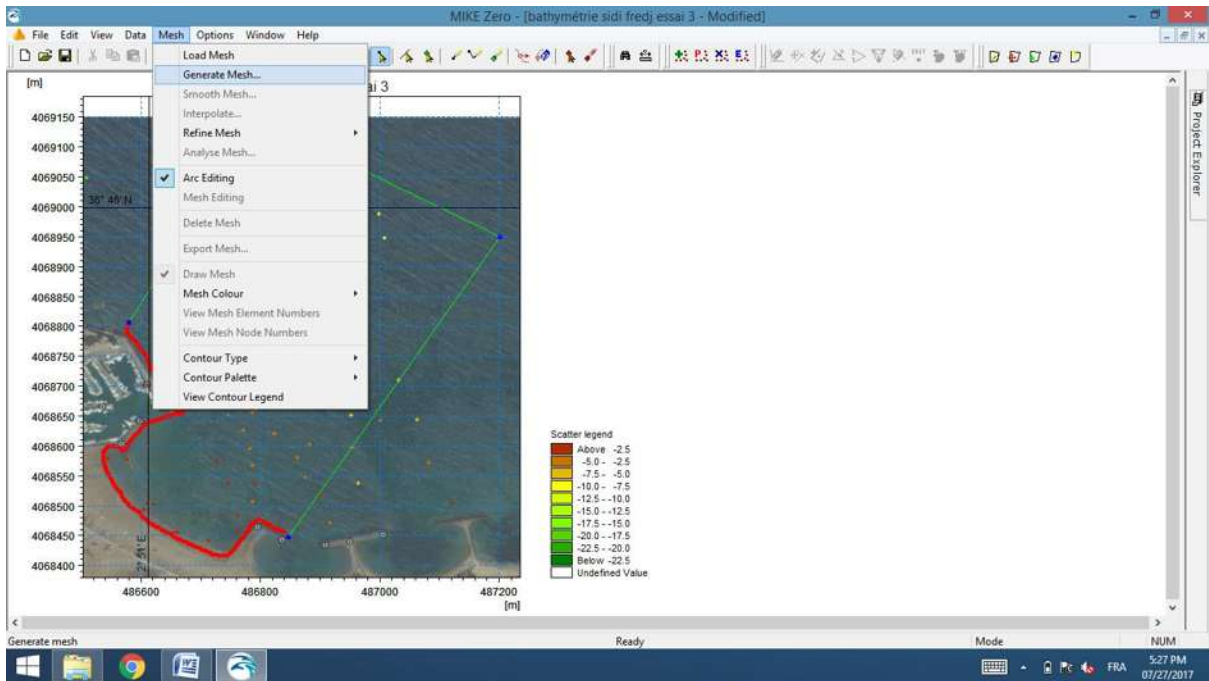


Figure 33 : Génération du maillage

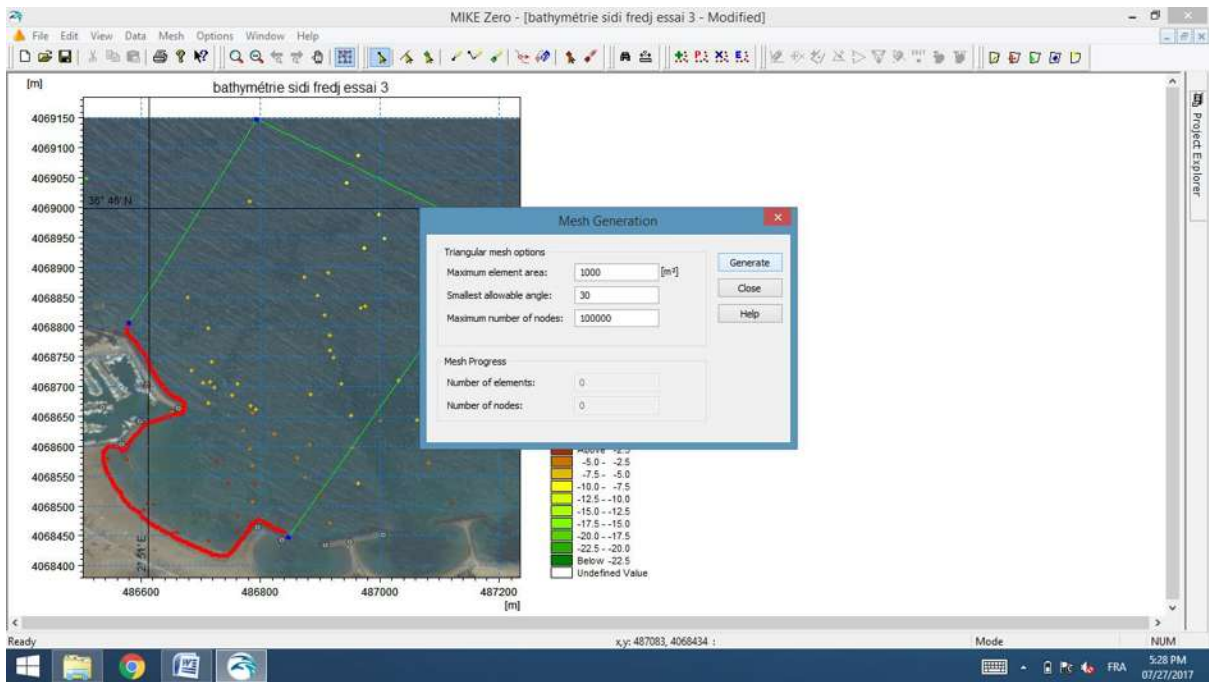


Figure 34 : Définir les caractéristiques du maillage

Annexe 05

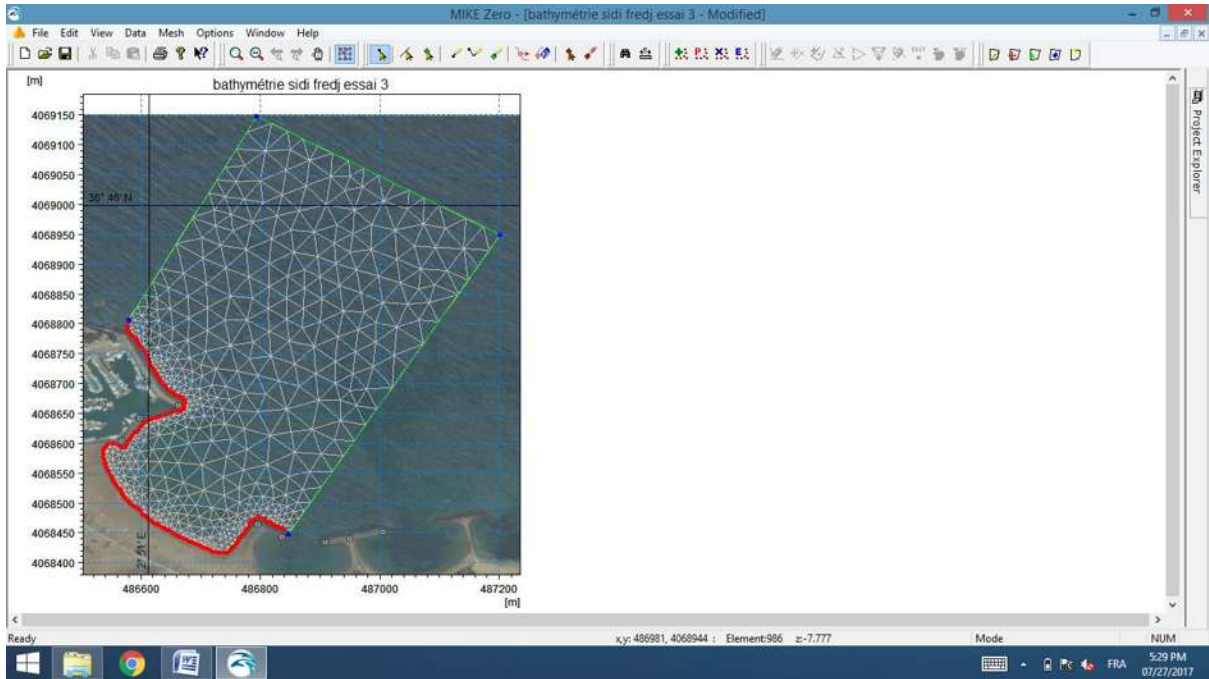


Figure 35 : Le maillage généré

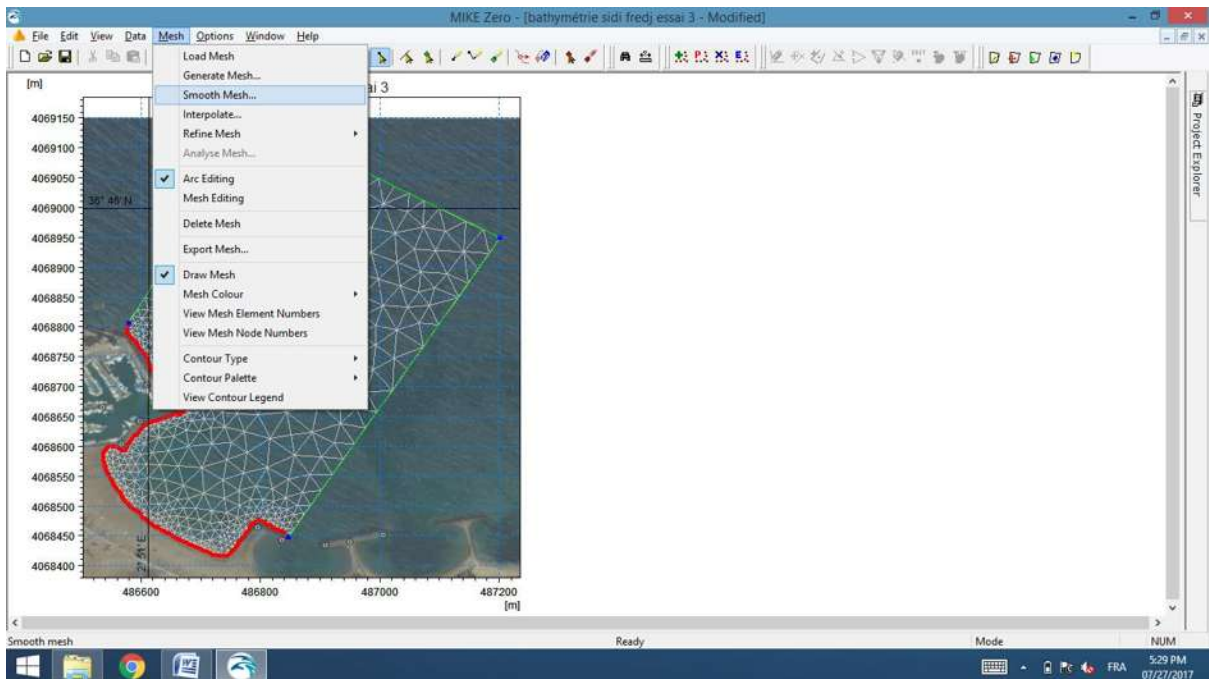


Figure 36 : Étirer le maillage

Annexe 05

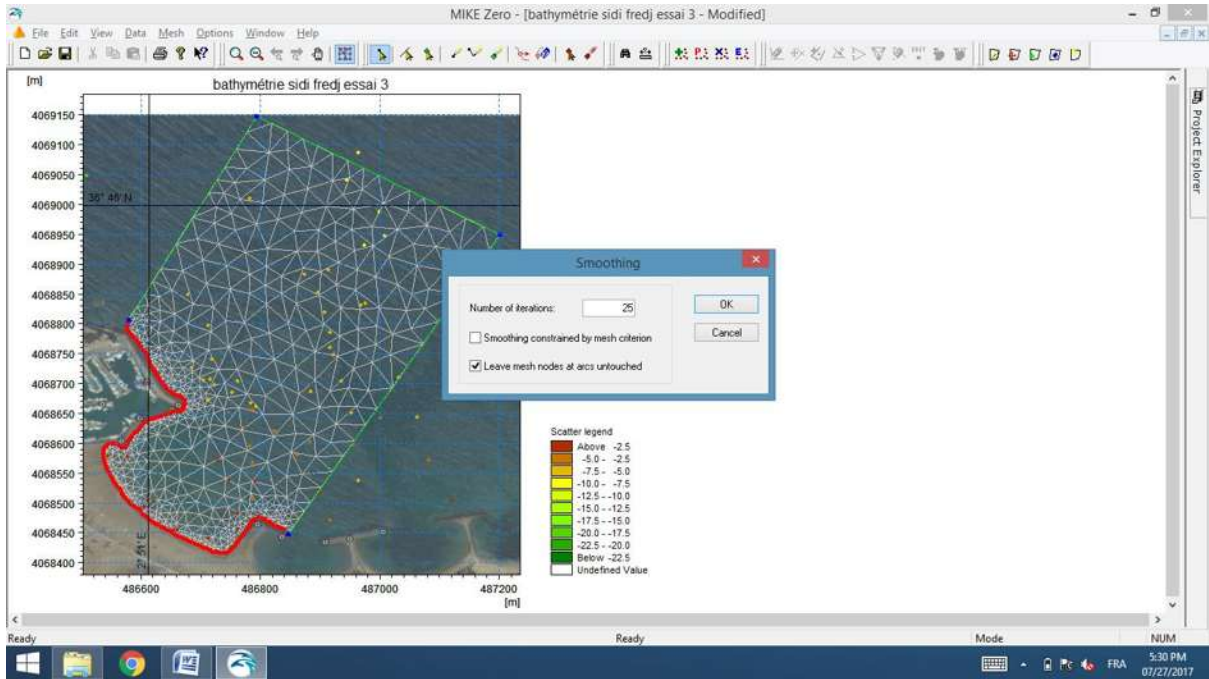


Figure 37 : Définir les caractéristiques d'étrage du maillage

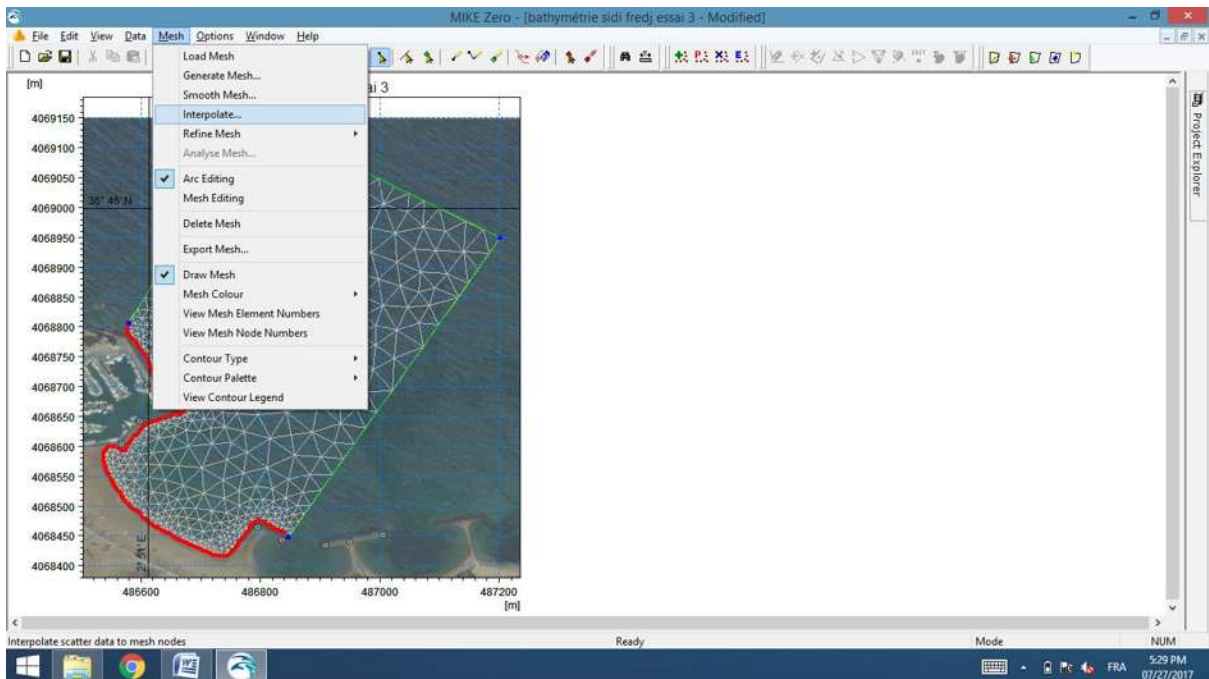


Figure 38 : Interpolation de valeurs bathymétriques introduites

Annexe 05

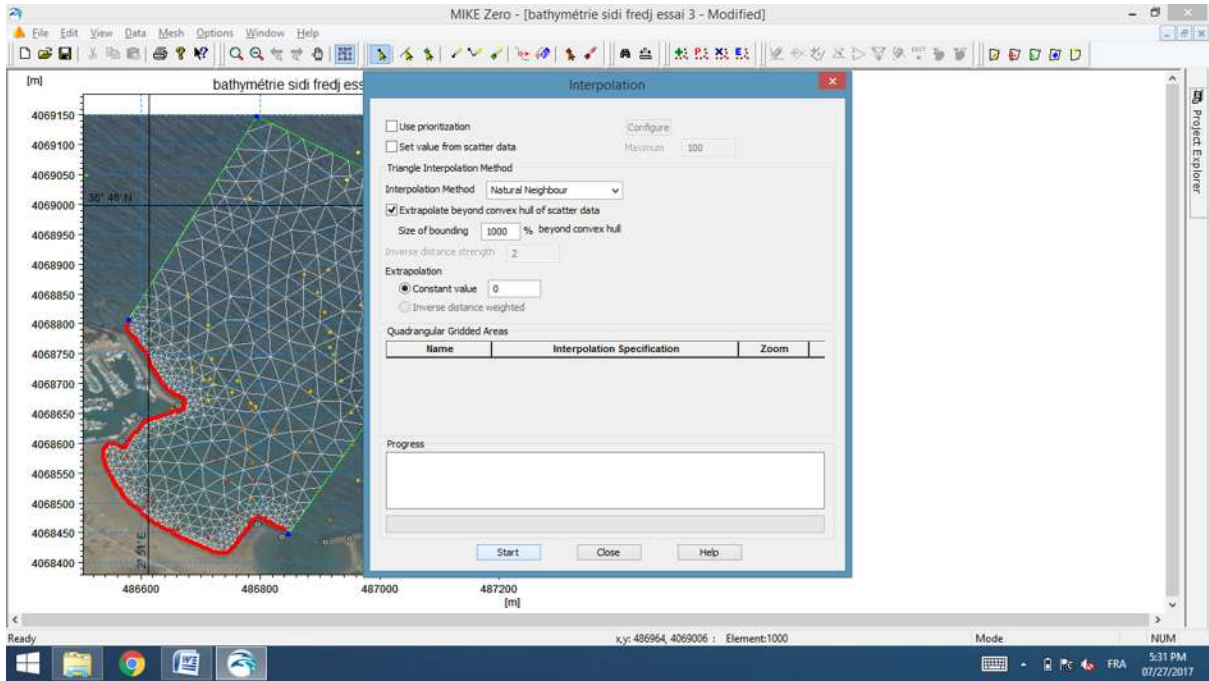


Figure 39 : Générer l'interpolation

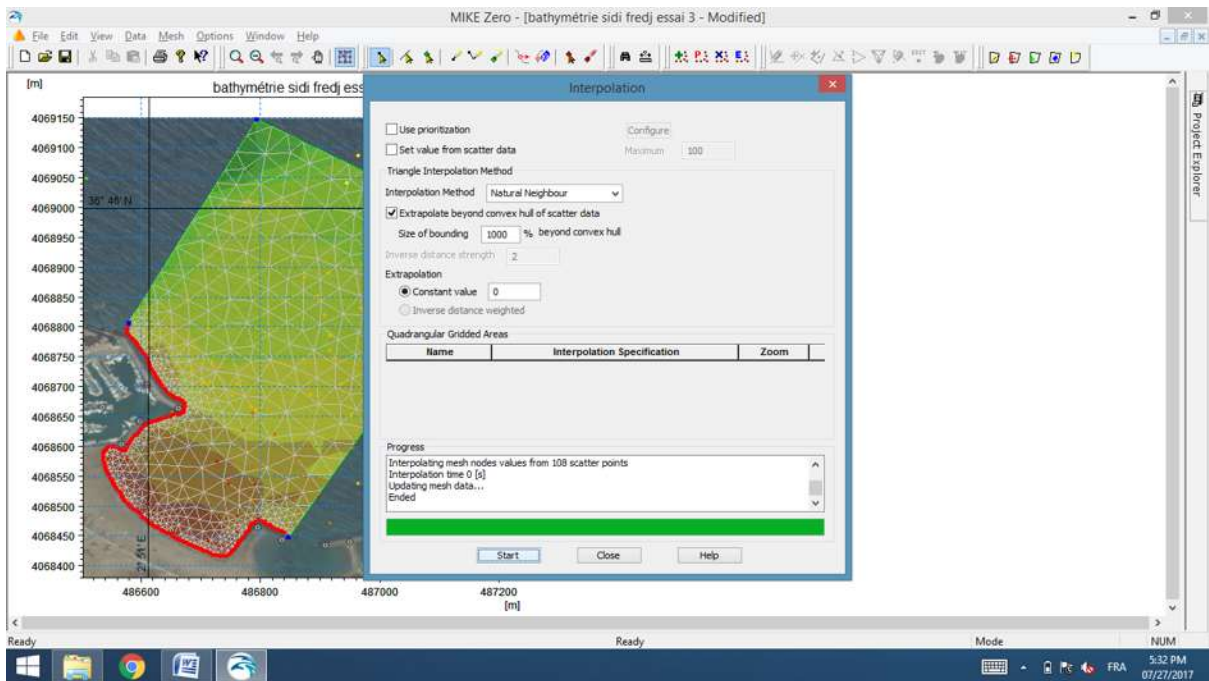


Figure 40 : Fin d'interpolation

Annexe 05

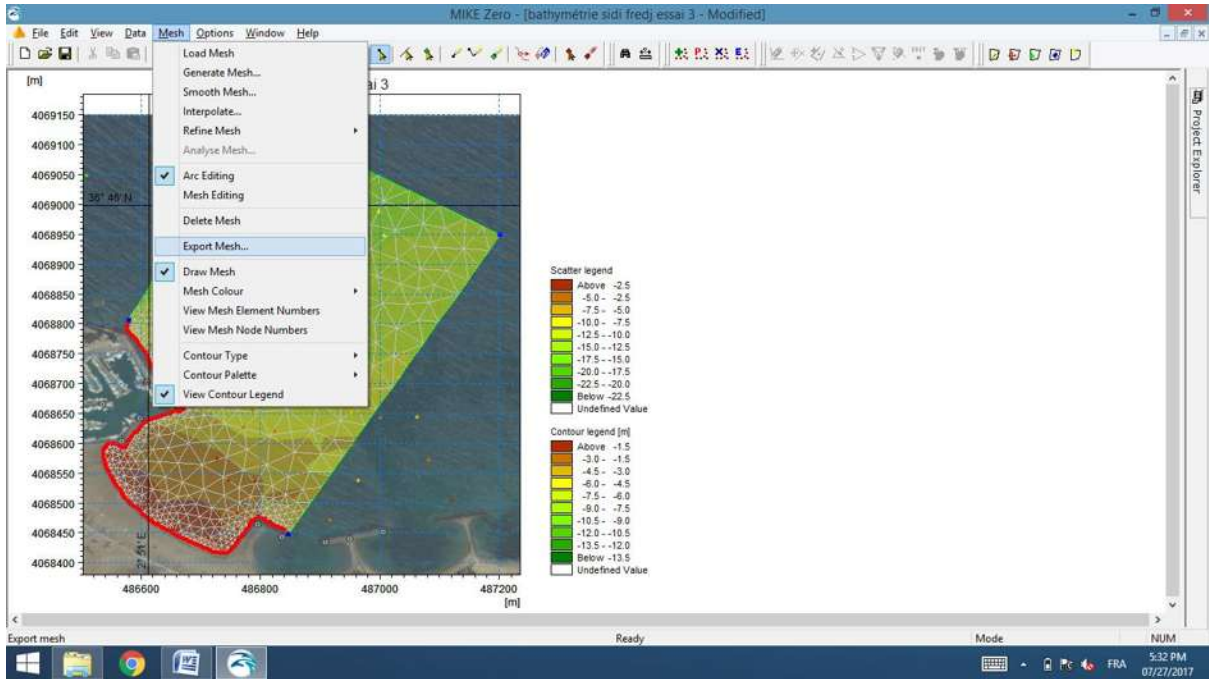


Figure 41 : Exporter le maillage

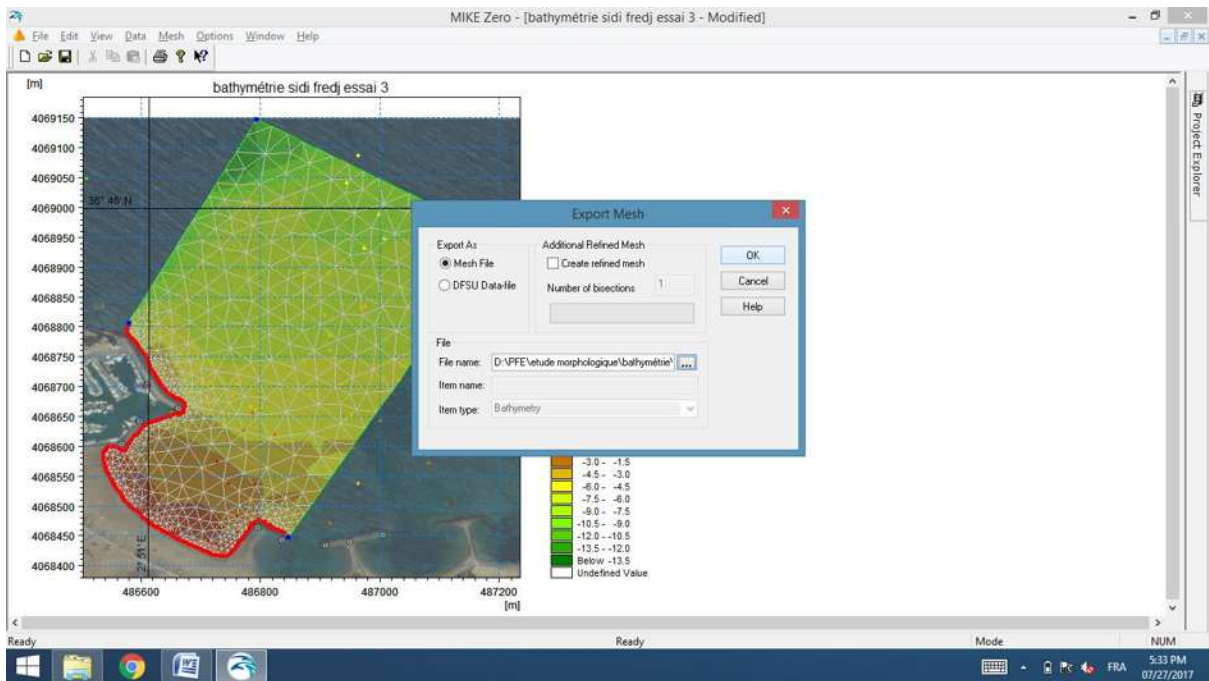


Figure 42 : Enregistrer le maillage

Annexe 05

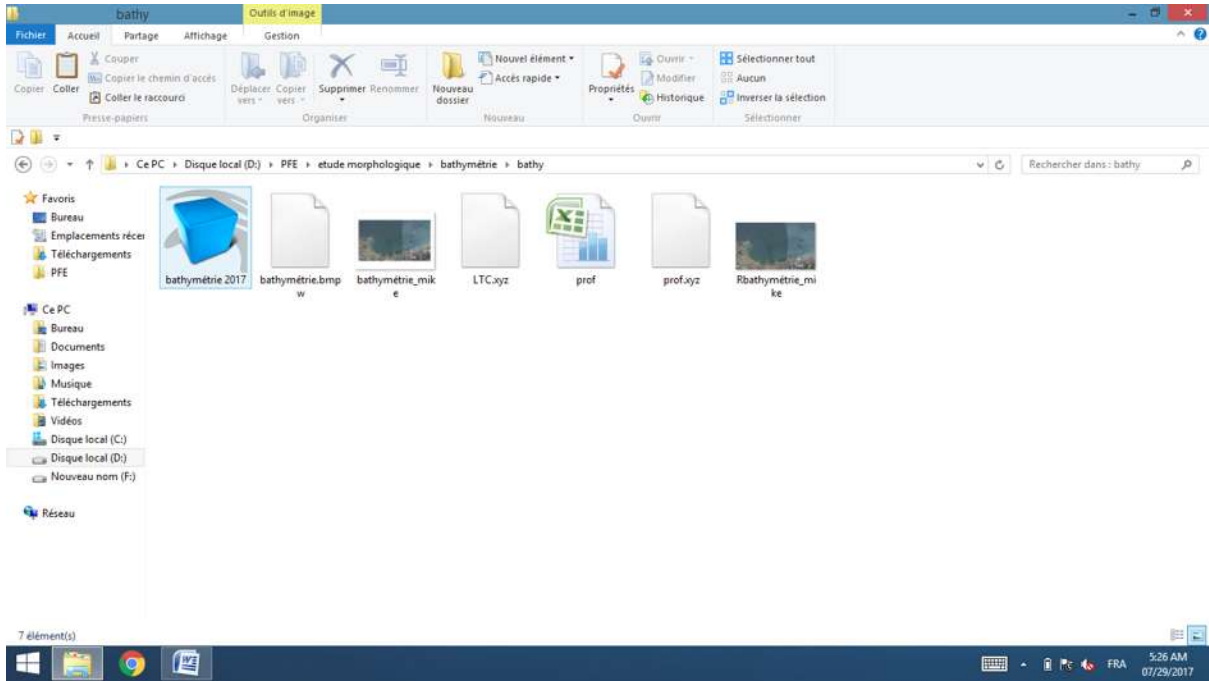


Figure 43 : Ouvrir le maillage enregistré

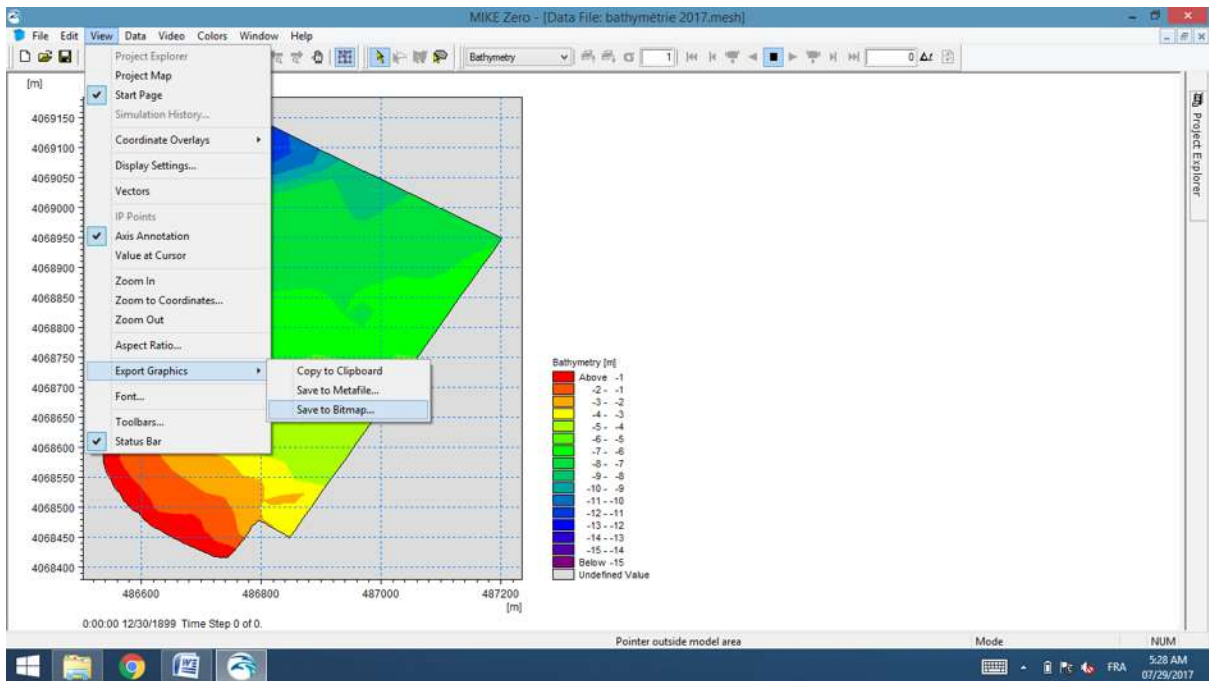


Figure 44 : Exporter la carte bathymétrique réalisée

Annexe 06 : Morphodynamique

Les étapes de la simulation morphodynamique sous logiciel MIKE 21

1- Le choix du modèle couplée pour modéliser la propagation de houle / la courantologie / le transport sédimentaire : MIKE 21/3 Integrated Models/Coupled Model FM (.mfm)

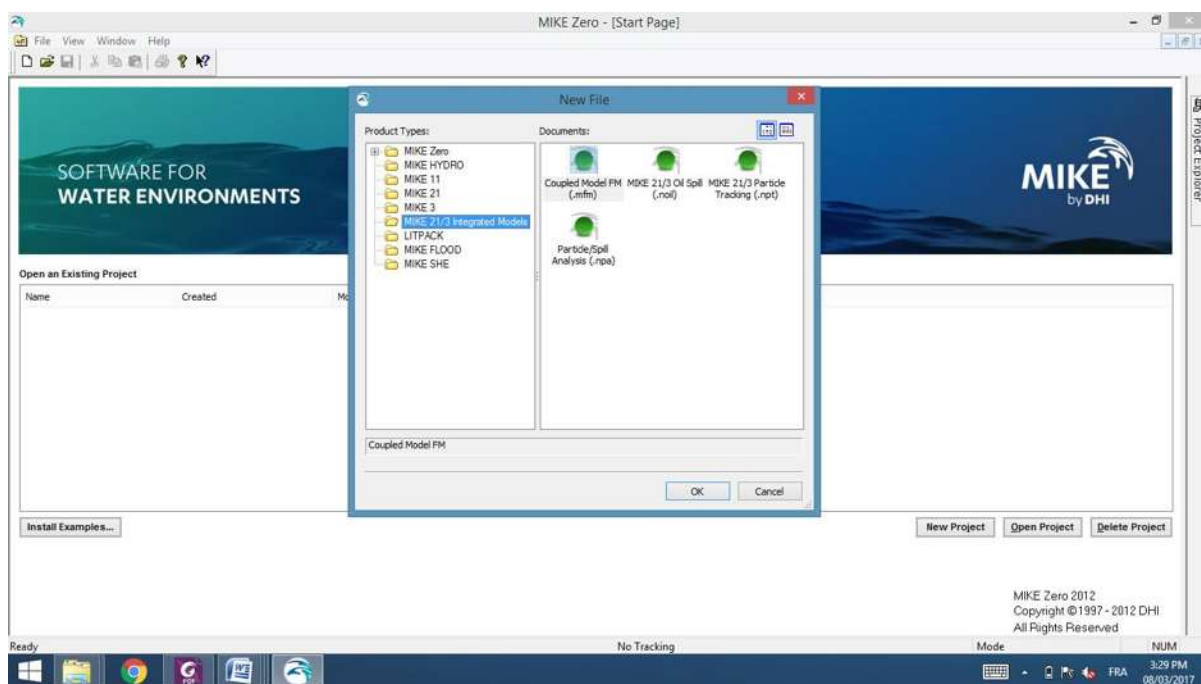


Figure 1 : le modèle hydrodynamique couplé

2- définir le domaine de la simulation

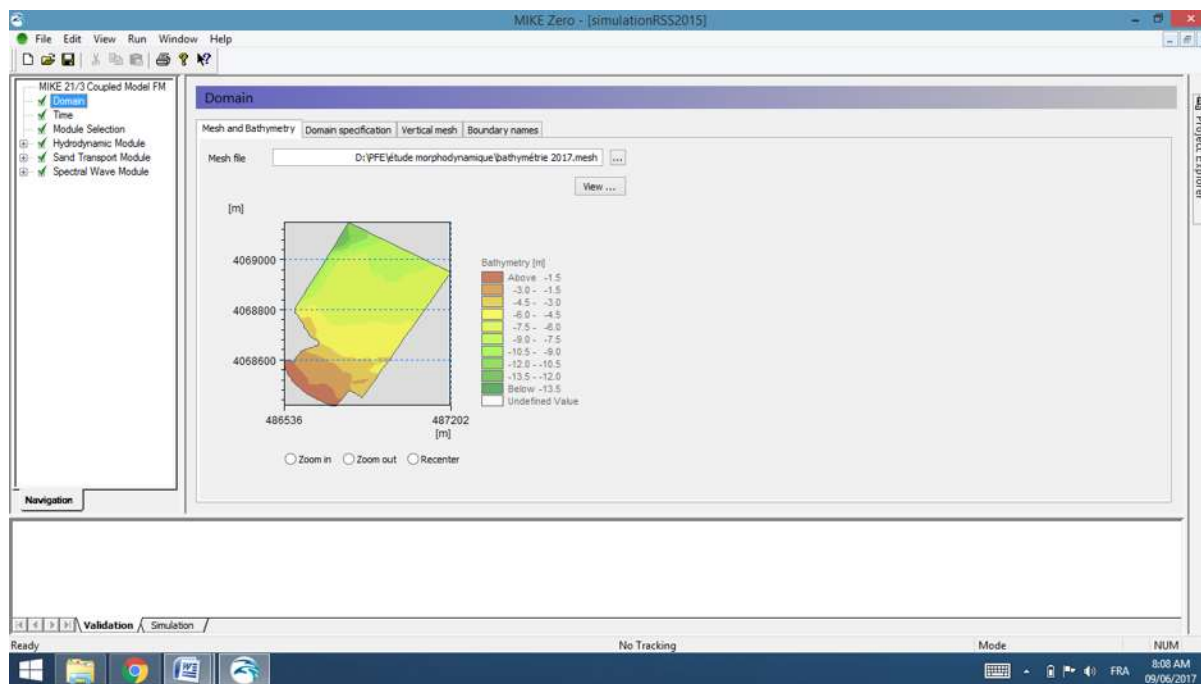


Figure 2 : l'importation du domaine de la simulation

3- Définir le temps de la simulation :

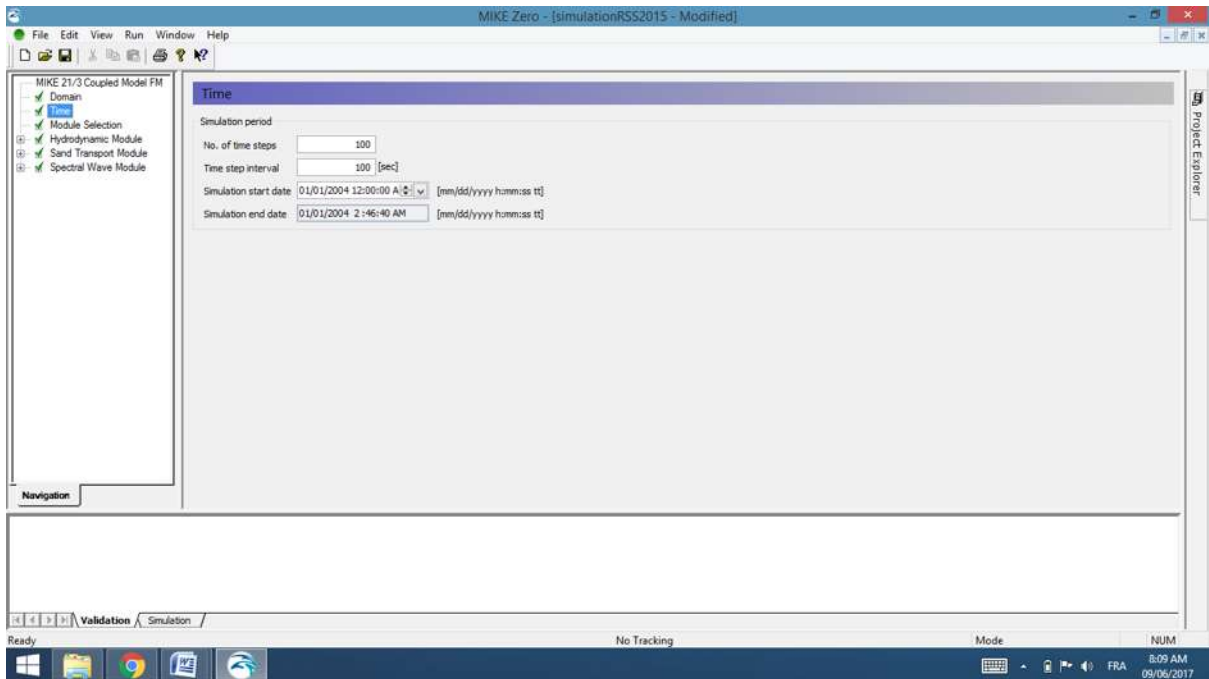


Figure 3 : définir le temps de la simulation

4- Le choix des modèles de la réfraction de la houle, la vitesse des courants et le transport sédimentaire.

5- Module hydrodynamique

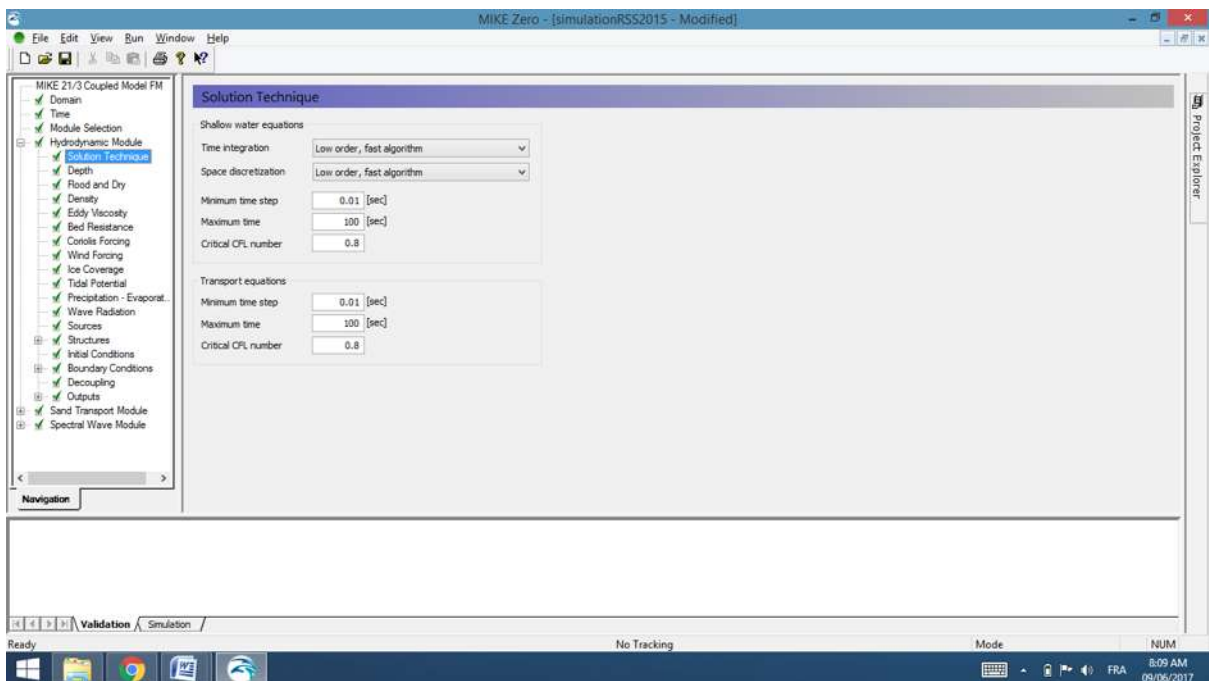


Figure 4 : Solutions techniques « Solution Technique »

Annexe 06 : Morphodynamique

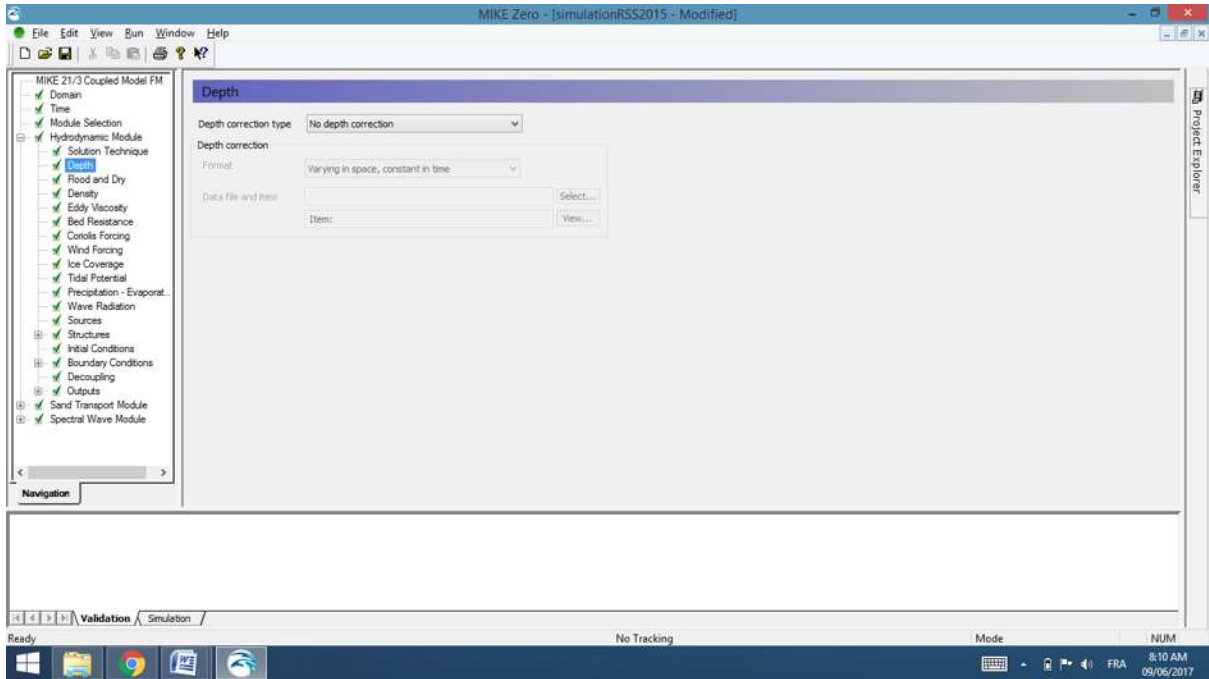


Figure 5 : la profondeur « Depth »

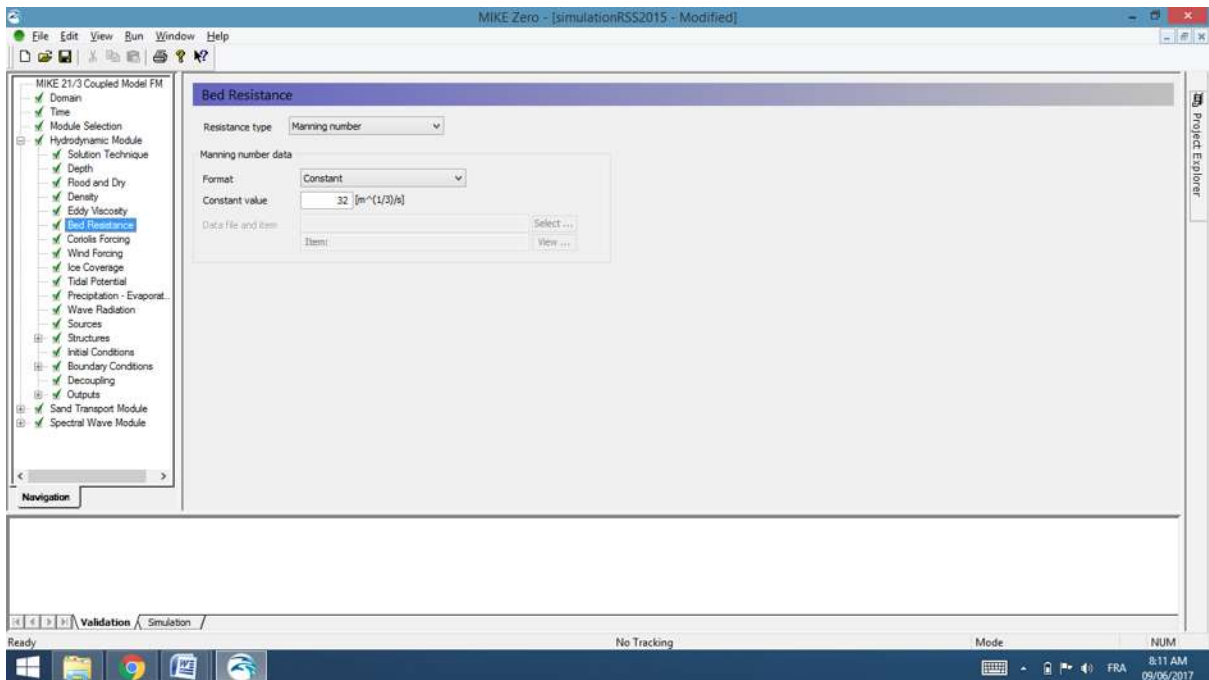


Figure 6 : la résistance du lit « bed resistance »

Annexe 06 : Morphodynamique

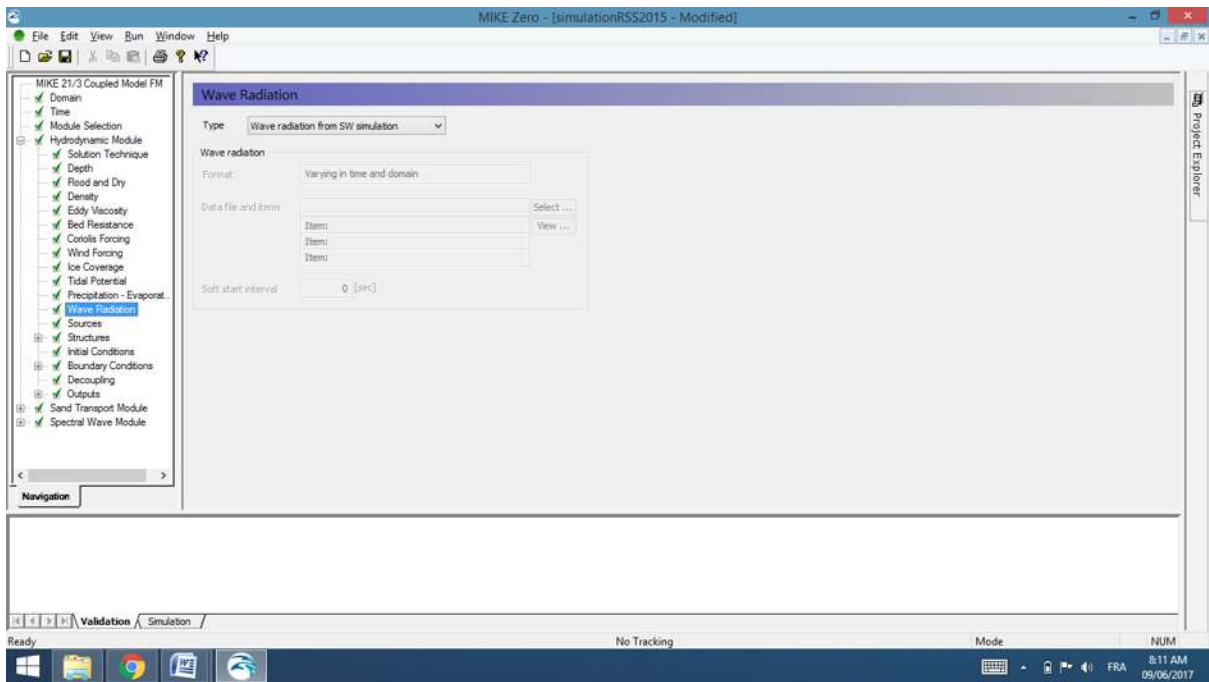


Figure 7 : les vagues « wave radiation » sélectionner « wave radiation from SW simulation »

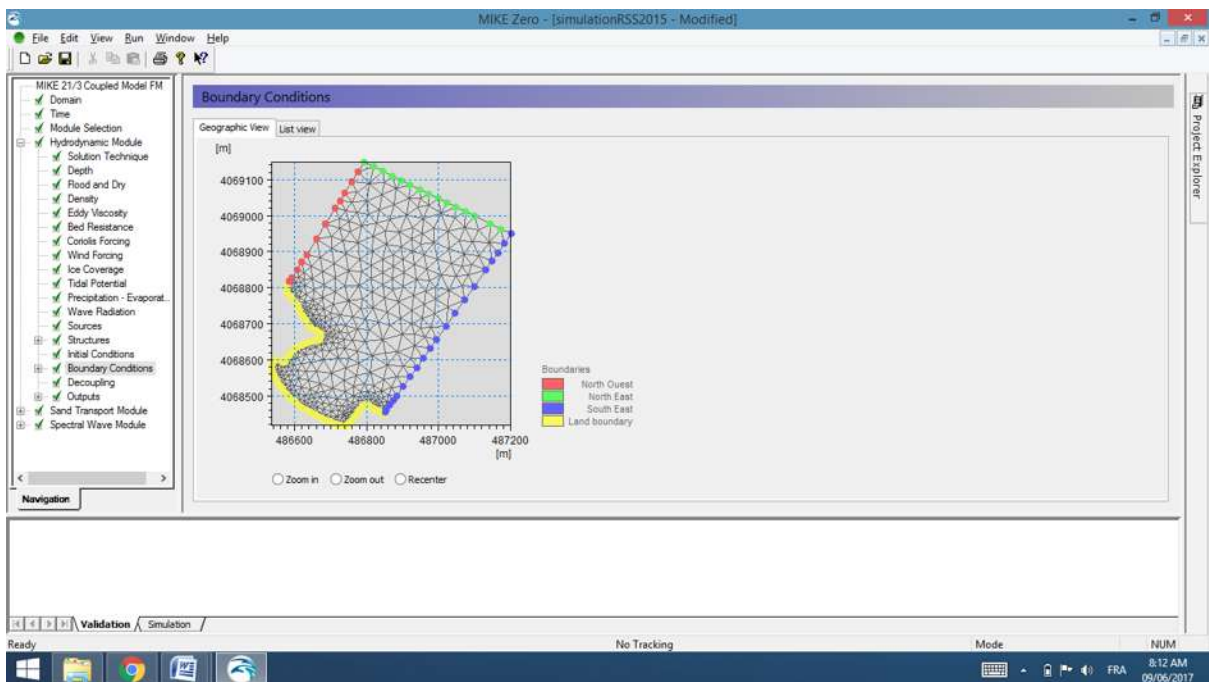


Figure 9 : les conditions aux limites « boundary conditions »

Annexe 06 : Morphodynamique

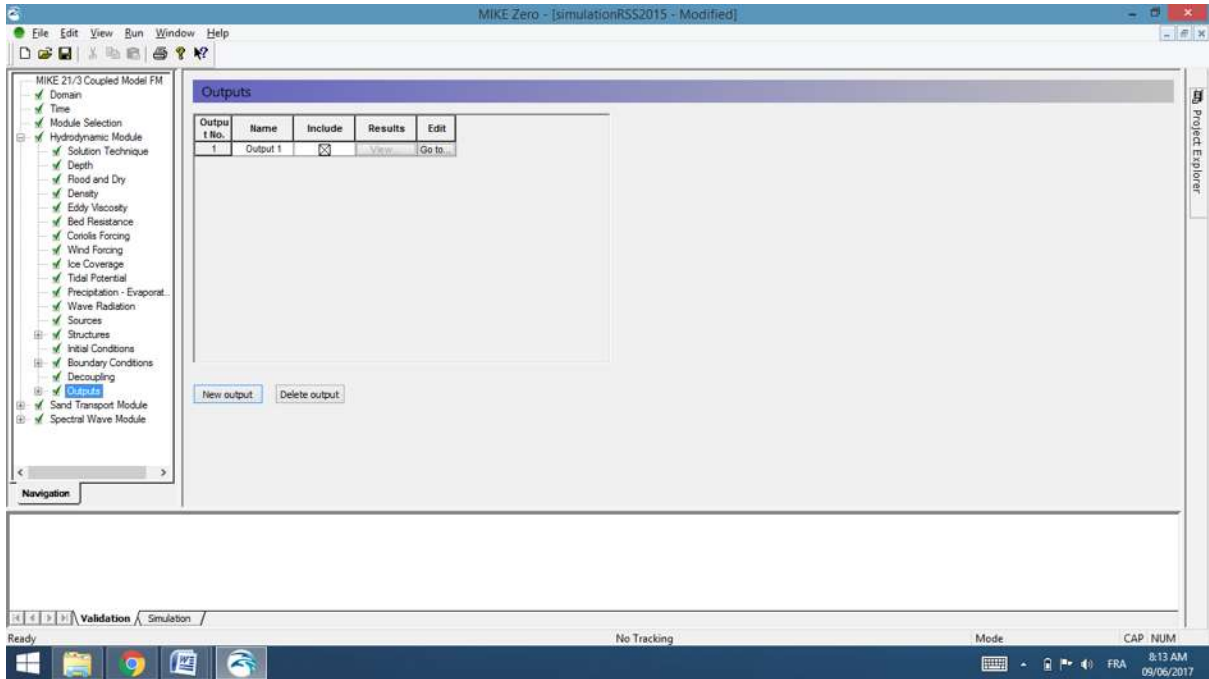


Figure 10 : le fichier output du modèle HD

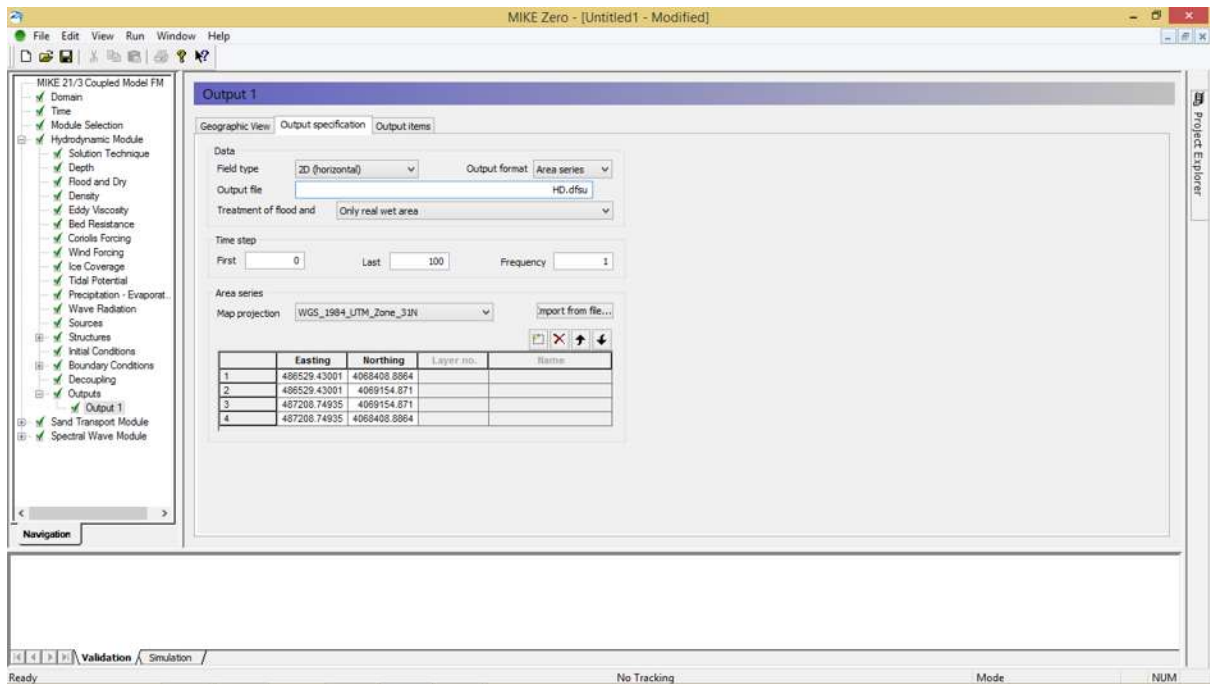


Figure 11 : le type et le format du fichier output du modèle HD

Annexe 06 : Morphodynamique

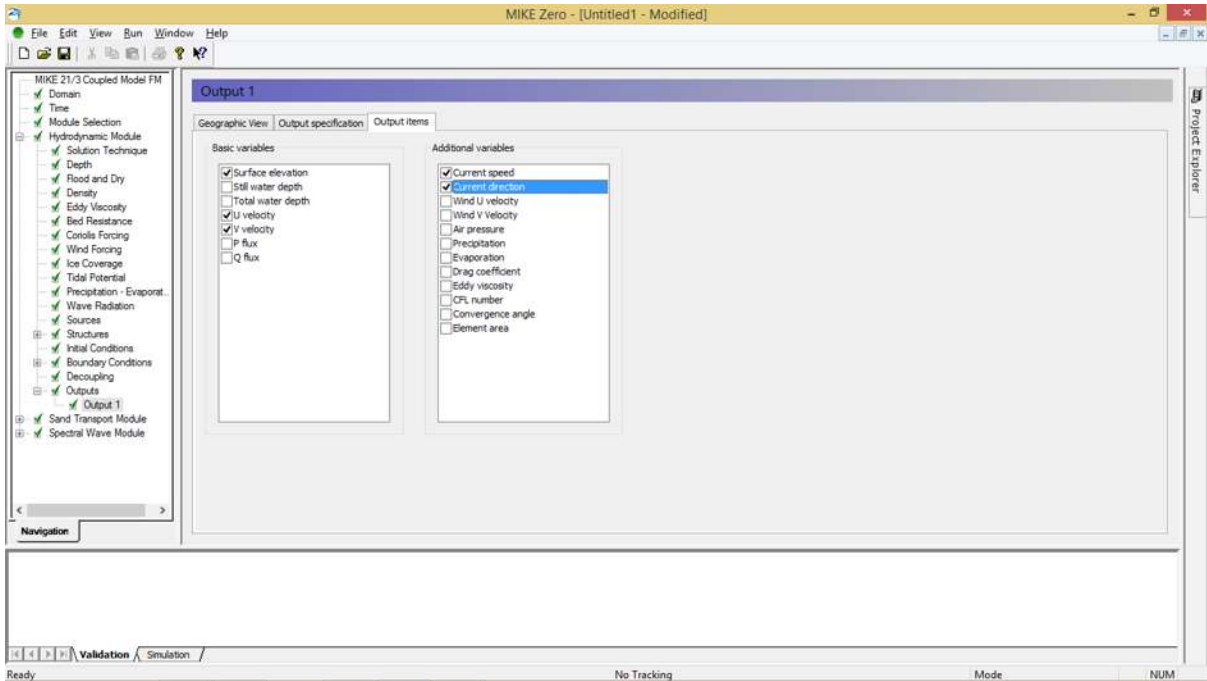


Figure 12 : les éléments de sortie du modèle HD « output items »

6- Modèle du transport sédimentaire « Sand Transport module »

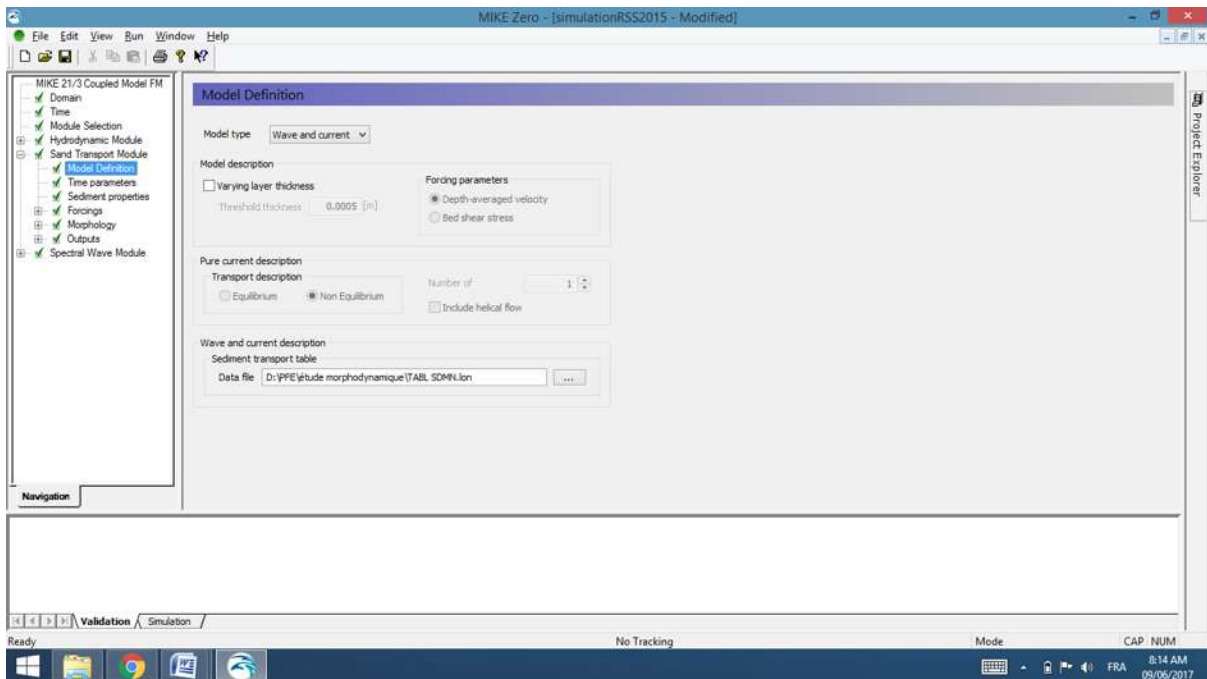


Figure13 : la définition du modèle

Annexe 06 : Morphodynamique

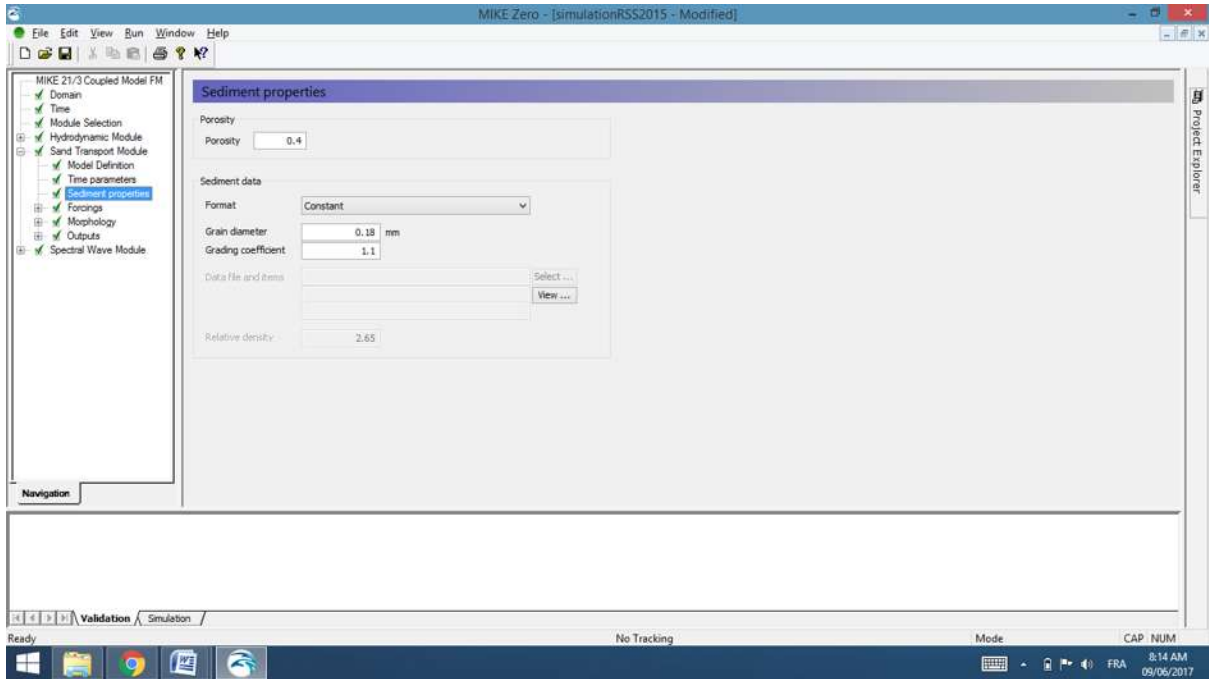


Figure 14 : Propriétés des sédiments « Sediment properties »

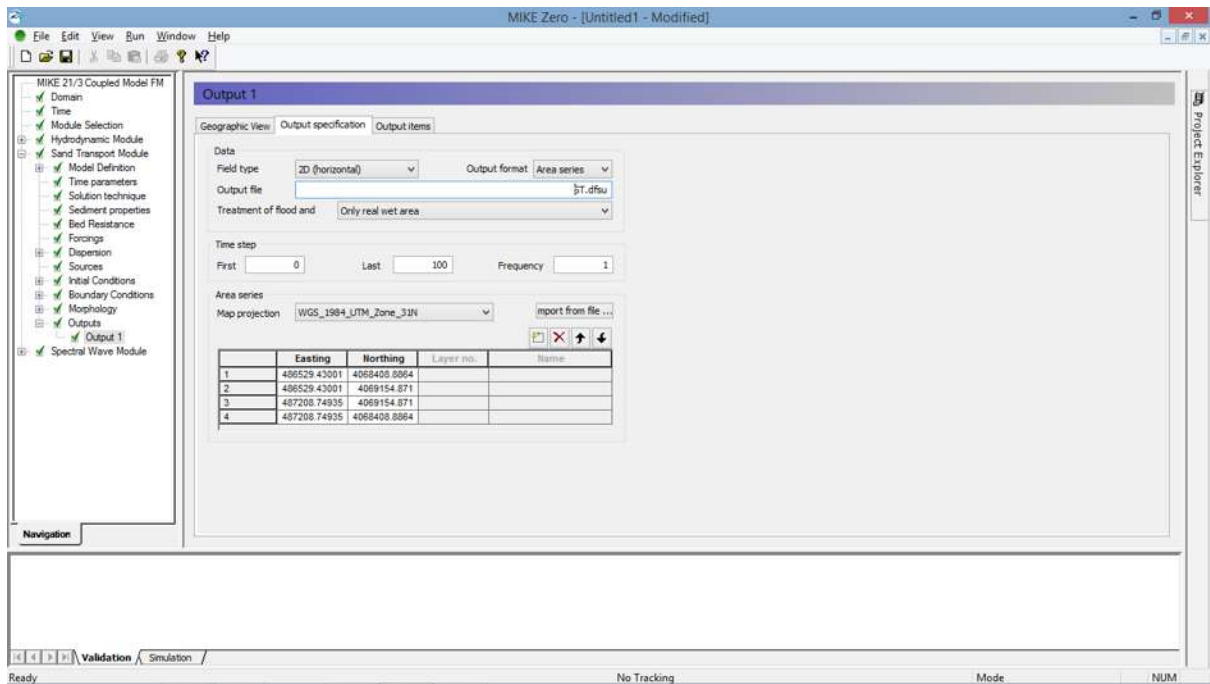


Figure 15 : le type et le format du fichier output du modèle ST

Annexe 06 : Morphodynamique

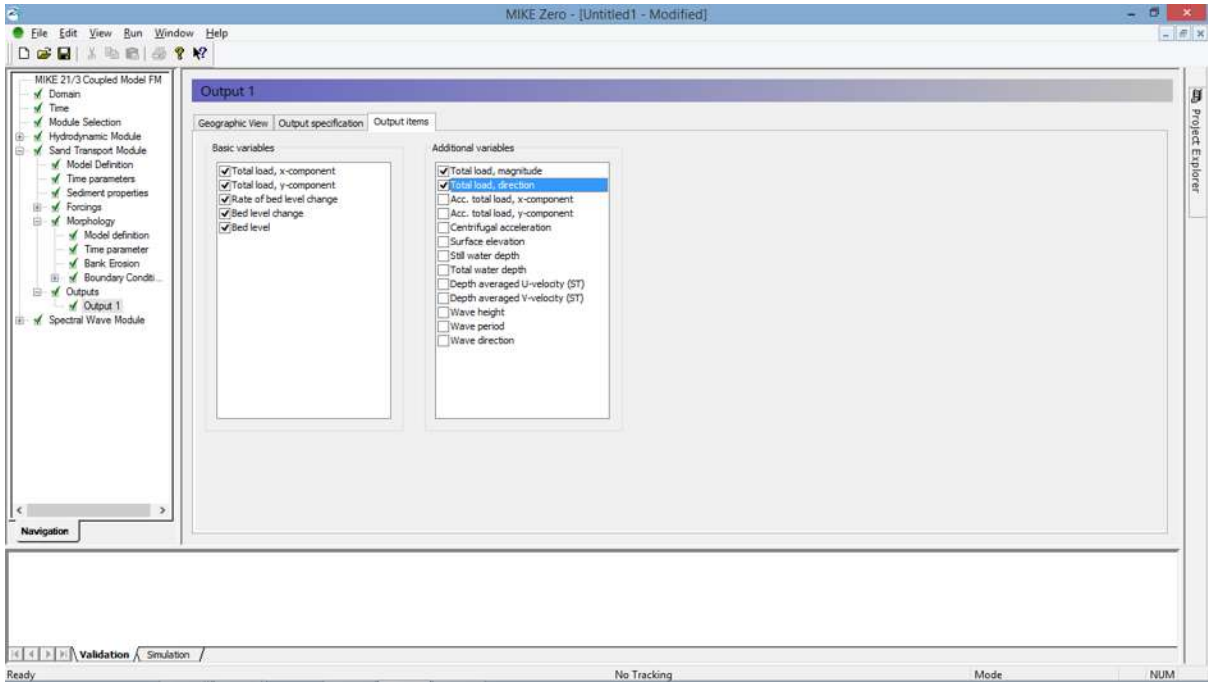


Figure 16 : les éléments de sortie du modèle ST « output items »

7- Modèle de la réfraction de la houle

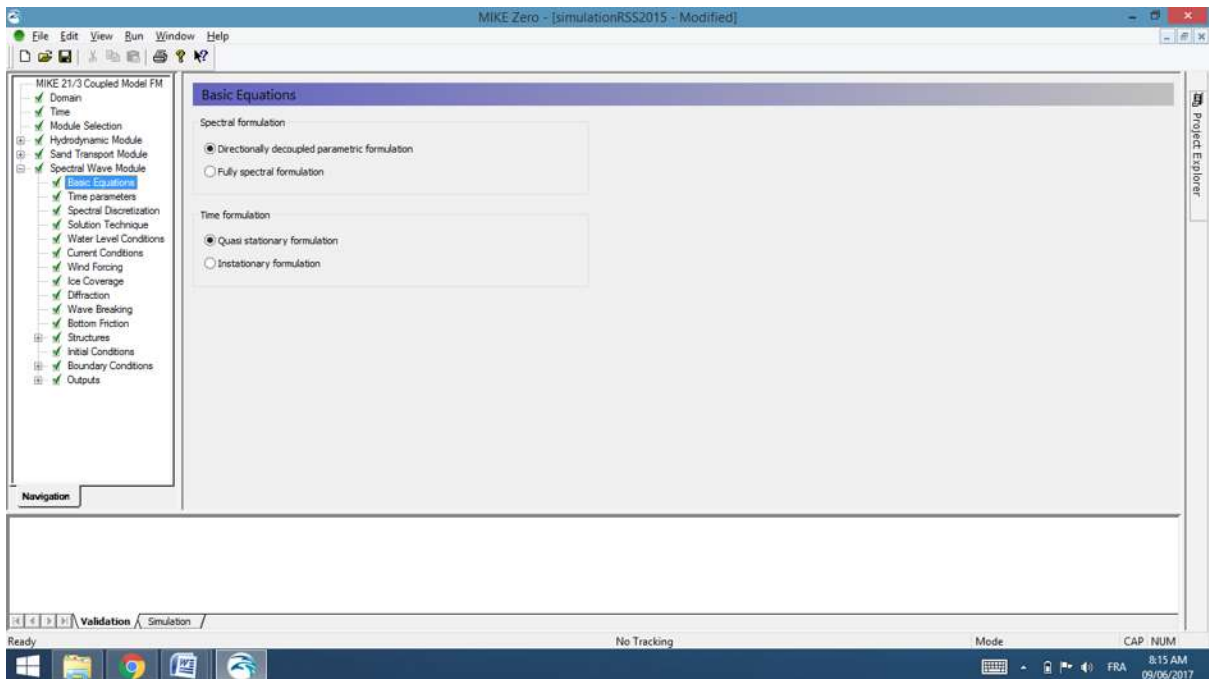


Figure 17 : les équations de base du modèle SW

Annexe 06 : Morphodynamique

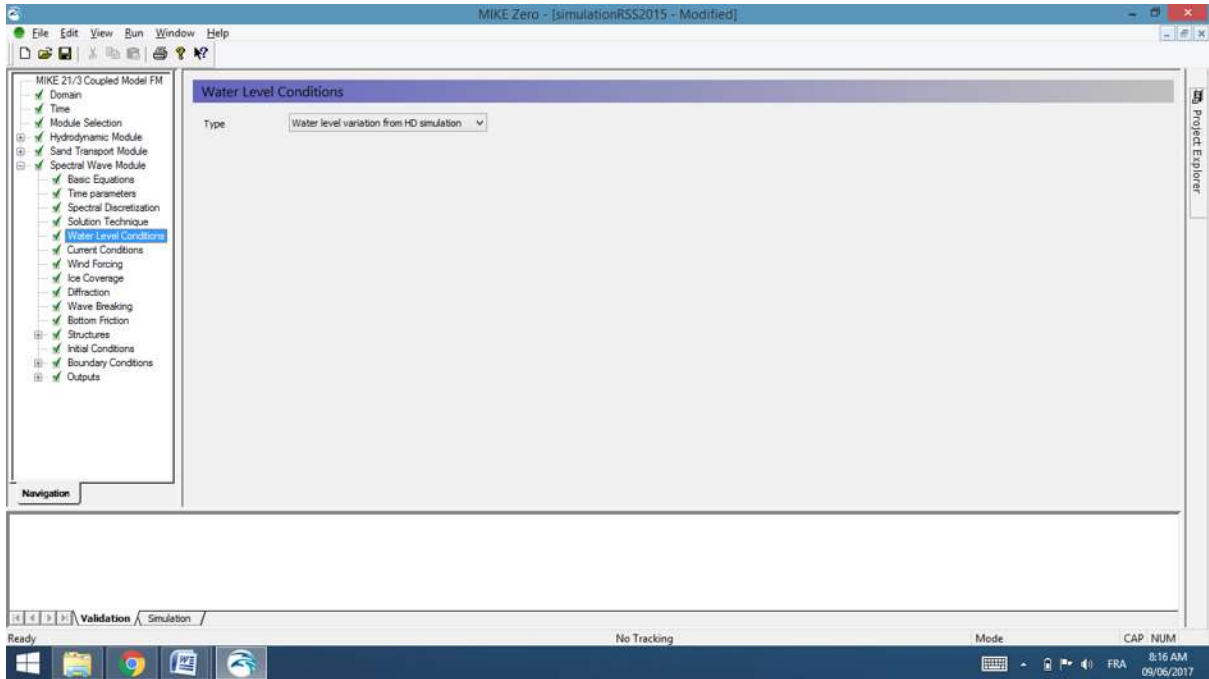


Figure 18 : le niveau de l'eau « Water Level »

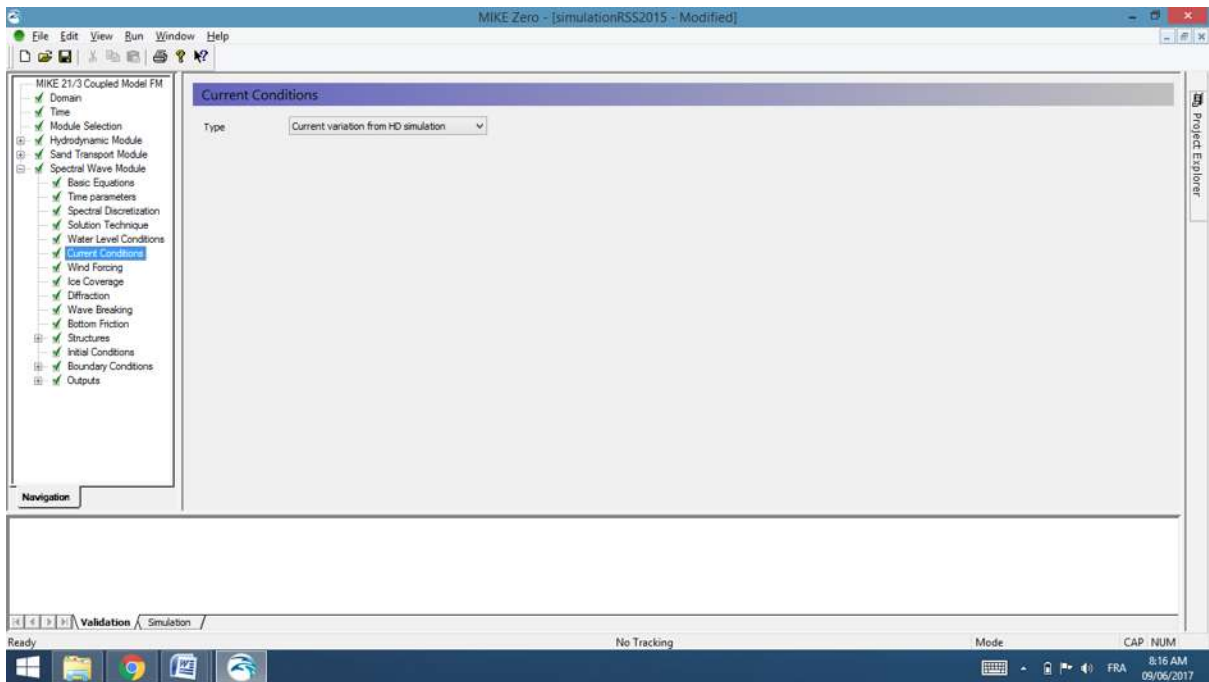


Figure 19 : les courants « current conditions »

Annexe 06 : Morphodynamique

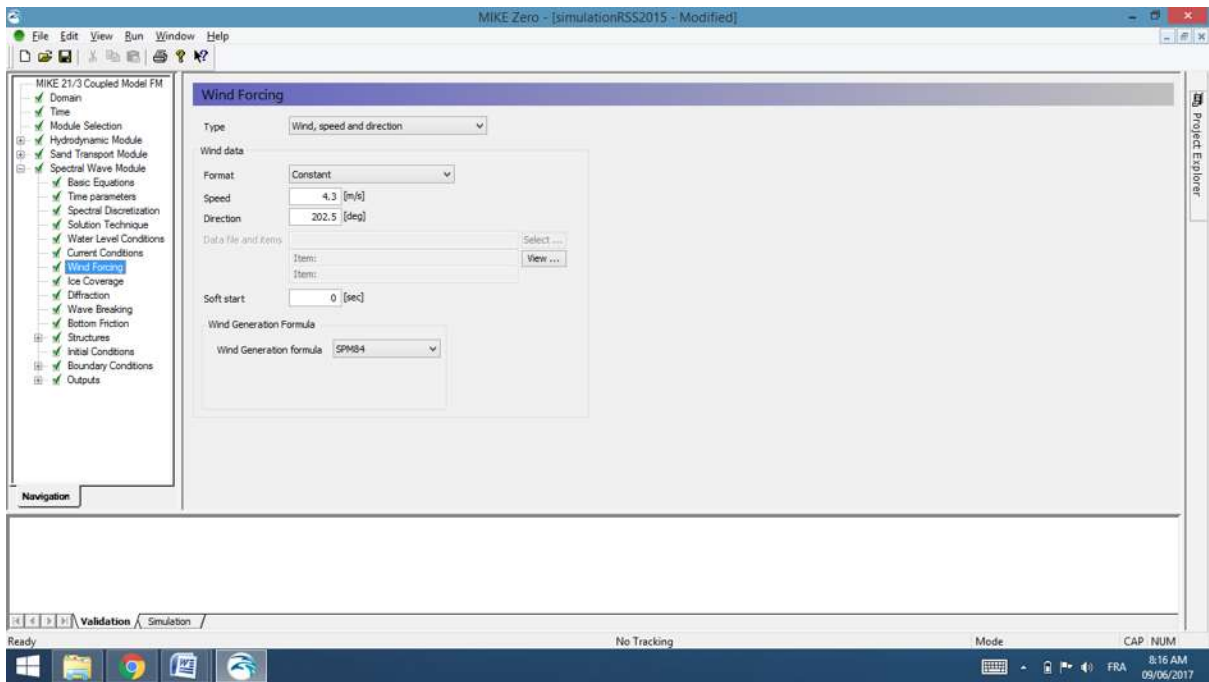


Figure 20 : la force du vent « Wind Forcing »

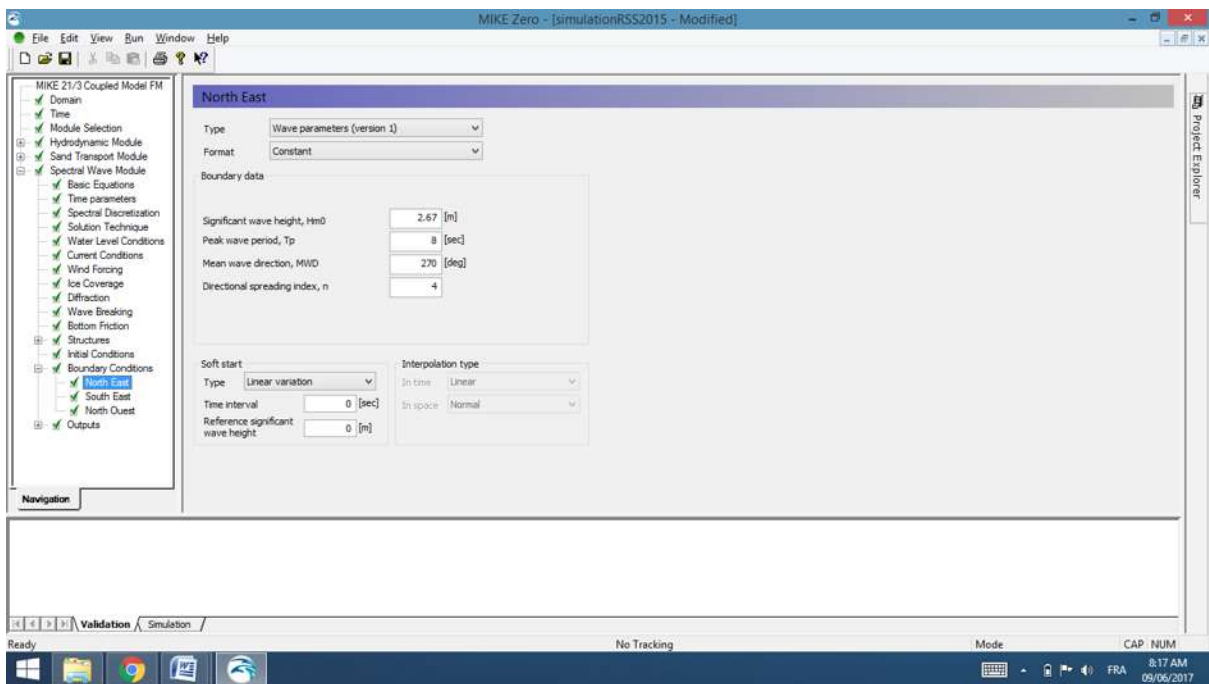


Figure 21 : les conditions aux limites « Boundary conditions » (Tp, Hs et la direction de la houle)

Annexe 06 : Morphodynamique

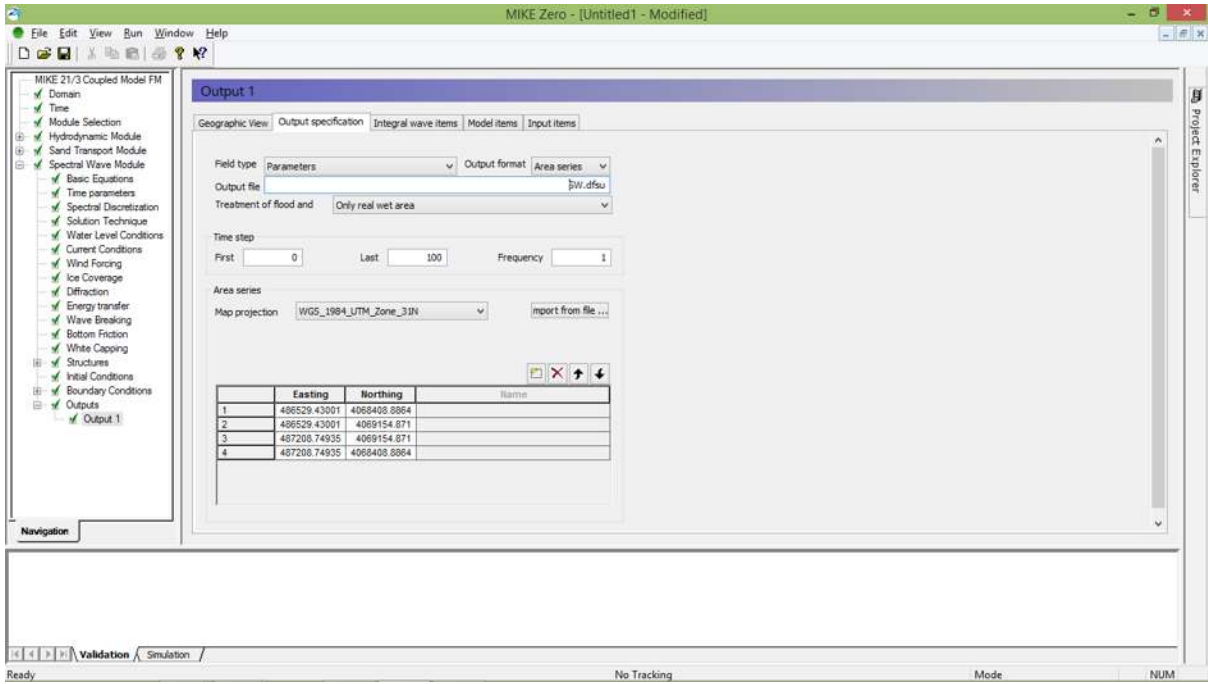


Figure 22 : le type et le format du fichier output du modèle SW

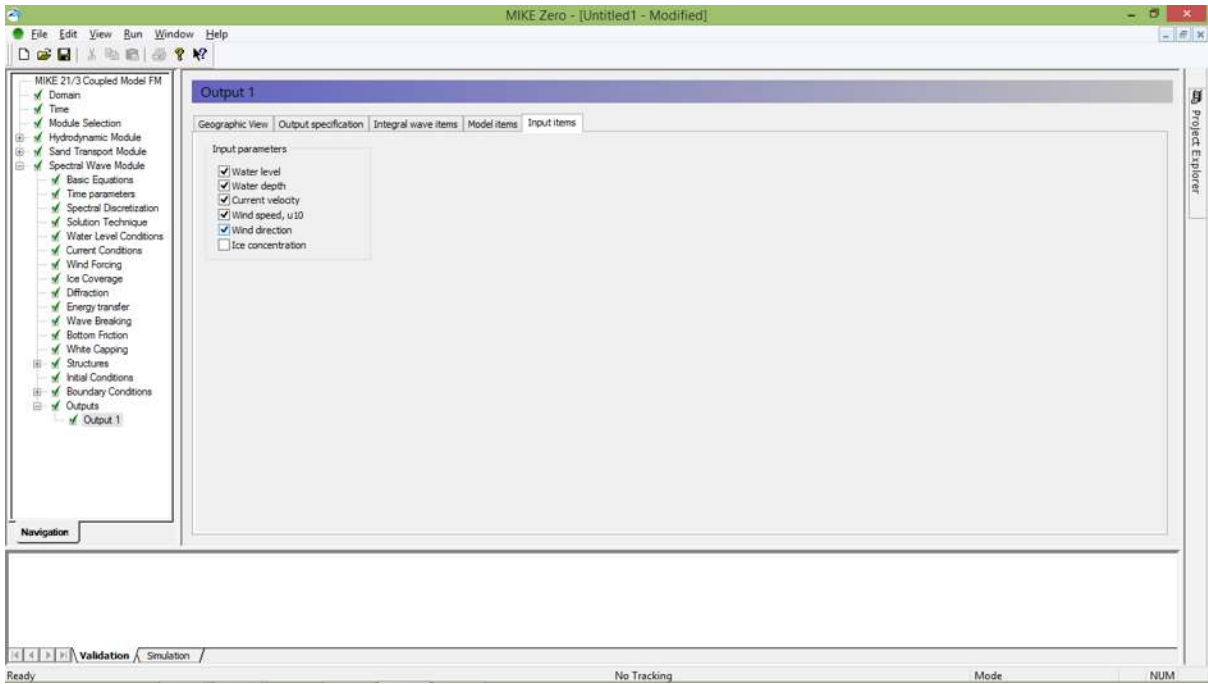


Figure 23 : les éléments de sortie du modèle SW « output items »

Les résultats de la simulation

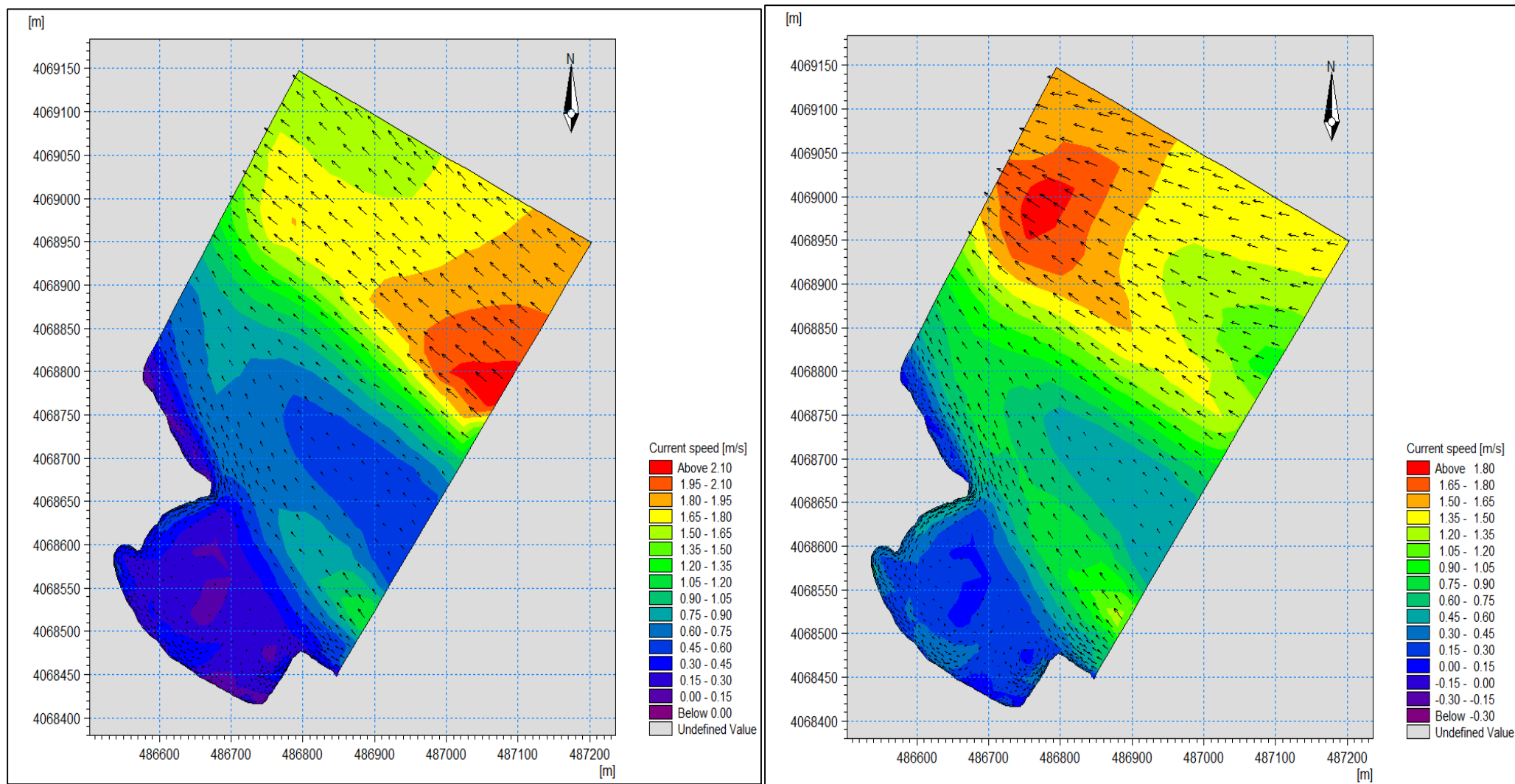
1-1- Le modèle HD « Hydrodynamic Module » Une Houle de ($T_p=8s$, $Dir=45^\circ$, $H_s=2.56m$)

Figure 1 : Simulation de la propagation des houles à la cote ($T_p=8s$, $Dir=45^\circ$, $H_s=2.56m$) (à gauche de l'année 2015 et à droite de l'année 2017)

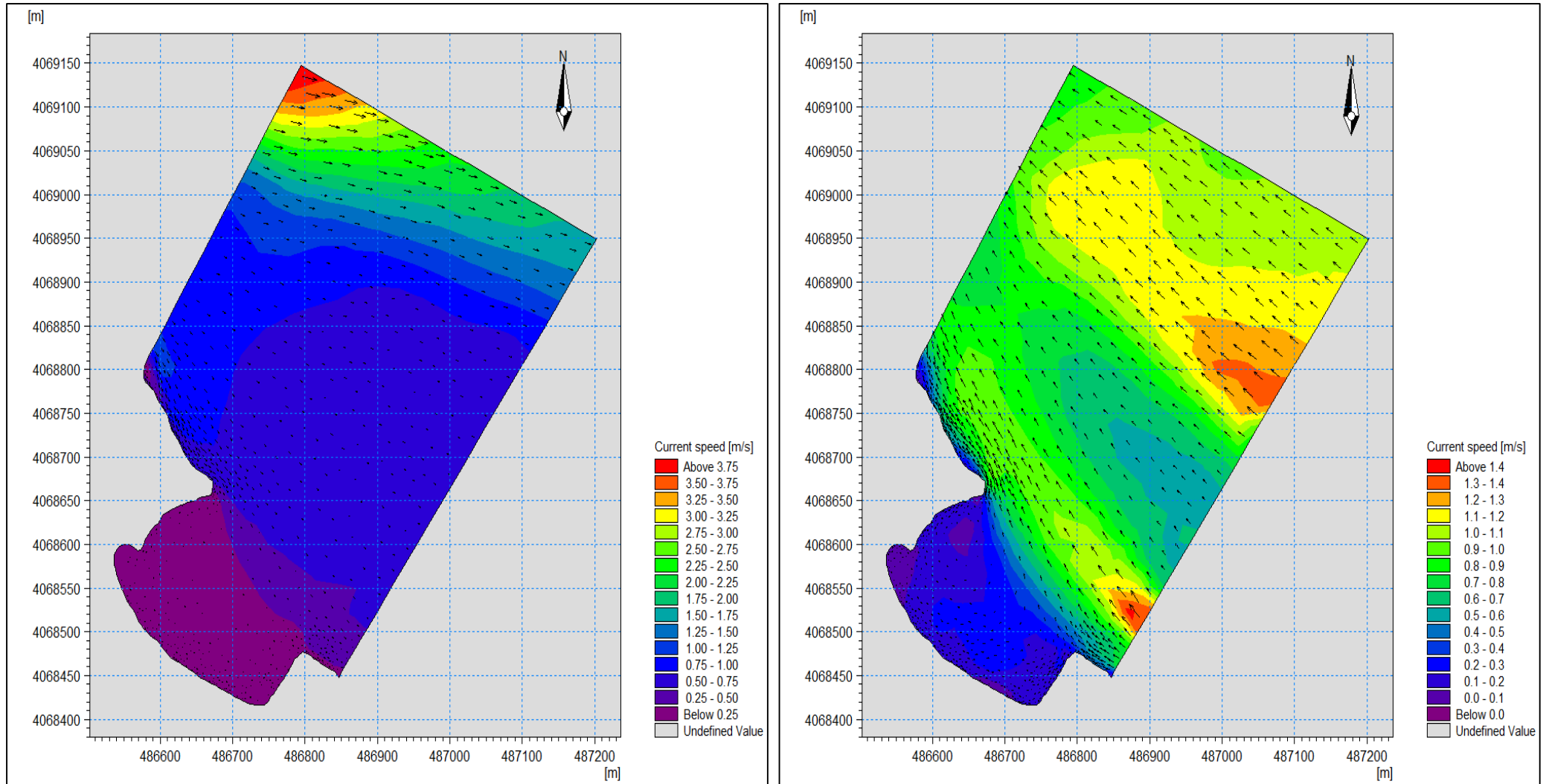
1-2- Une Houle de ($T_p=8s$, $Dir=270^\circ$, $H_s=2.56m$)

Figure 2 : Simulation de la propagation des houles à la cote ($T_p=8s$, $Dir=270^\circ$, $H_s=2.56m$) (à gauche de l'année 2015 et à droite de l'année 2017)

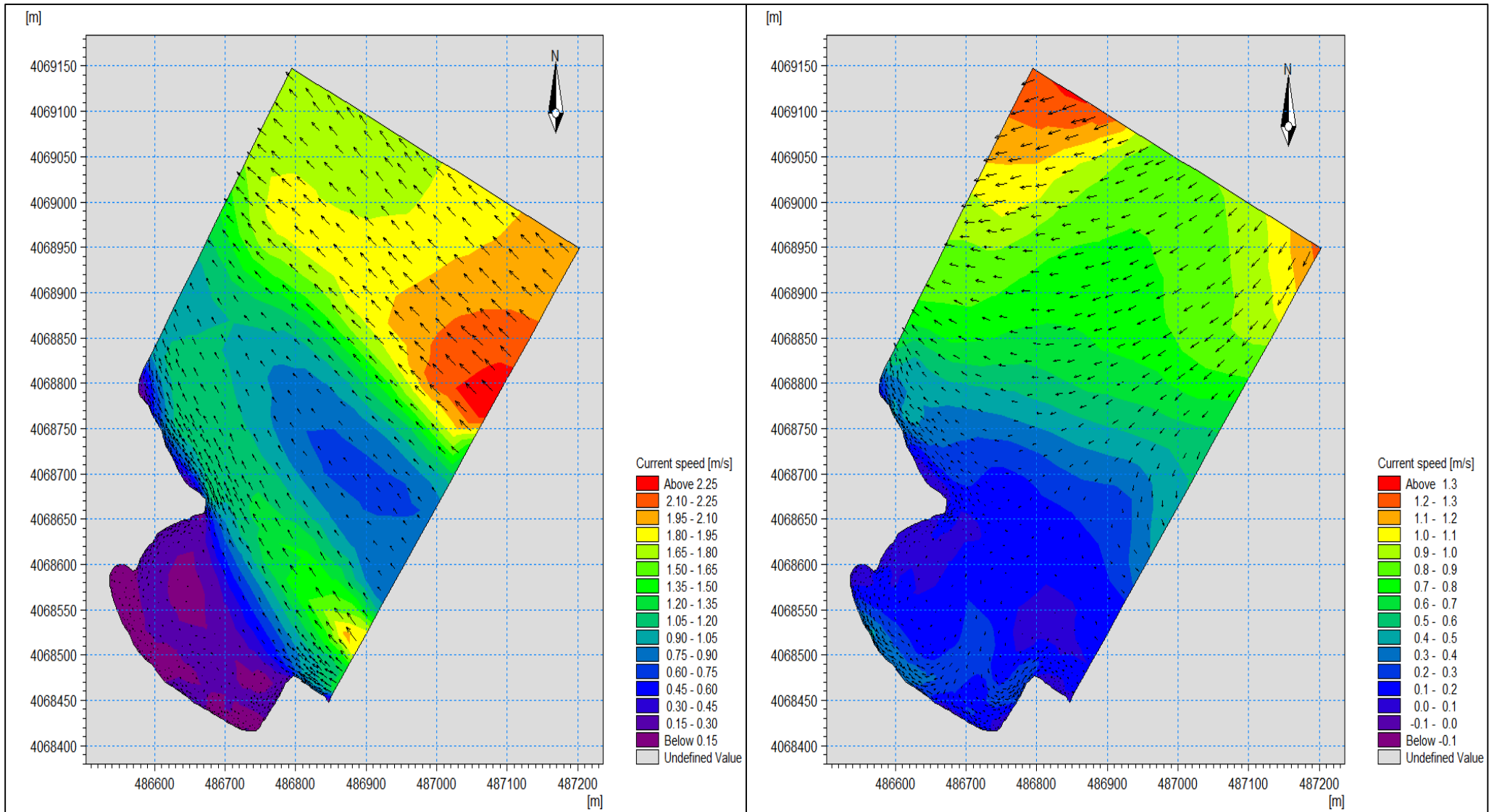
1-3- Une Houle de ($T_p=8s$, $Dir=315^\circ$, $H_s=2.56m$)

Figure 3 : Simulation de la propagation des houles à la cote ($T_p=8s$, $Dir=315^\circ$, $H_s=2.56m$) (à gauche de l'année 2015 et à droite de l'année 2017)

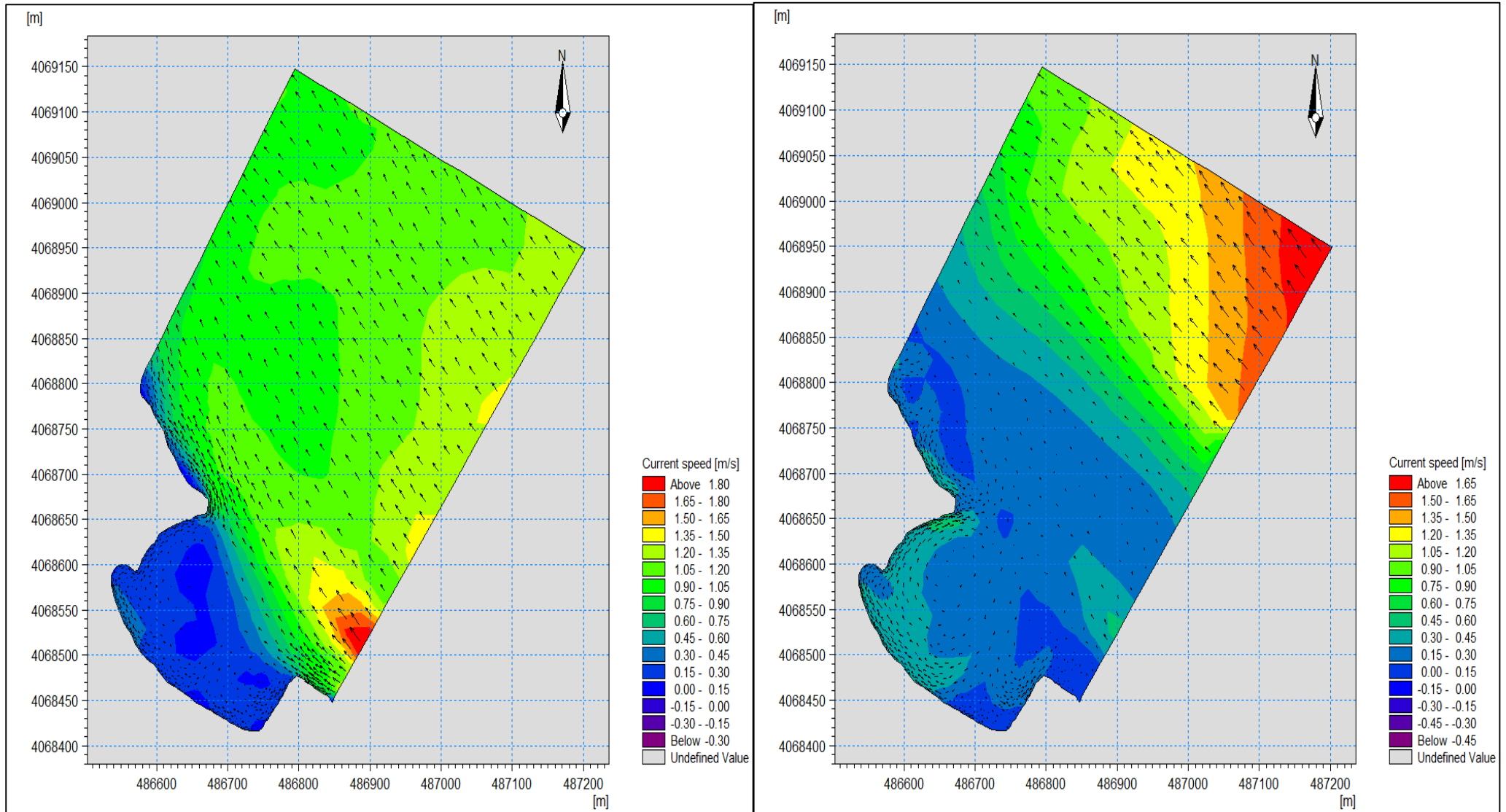
1-4- Une Houle de ($T_p=8s$, $Dir=360^\circ$, $H_s=2.56m$)

Figure 4 : Simulation de la propagation des houles à la cote ($T_p=8s$, $Dir=360^\circ$, $H_s=2.56m$) (à gauche de l'année 2015 et à droite de l'année 2017)

2- Le modèle ST « Send Transport Module »

2-1- Une Houle de ($T_p=8s$, $Dir=45^\circ$, $H_s=2.56m$)

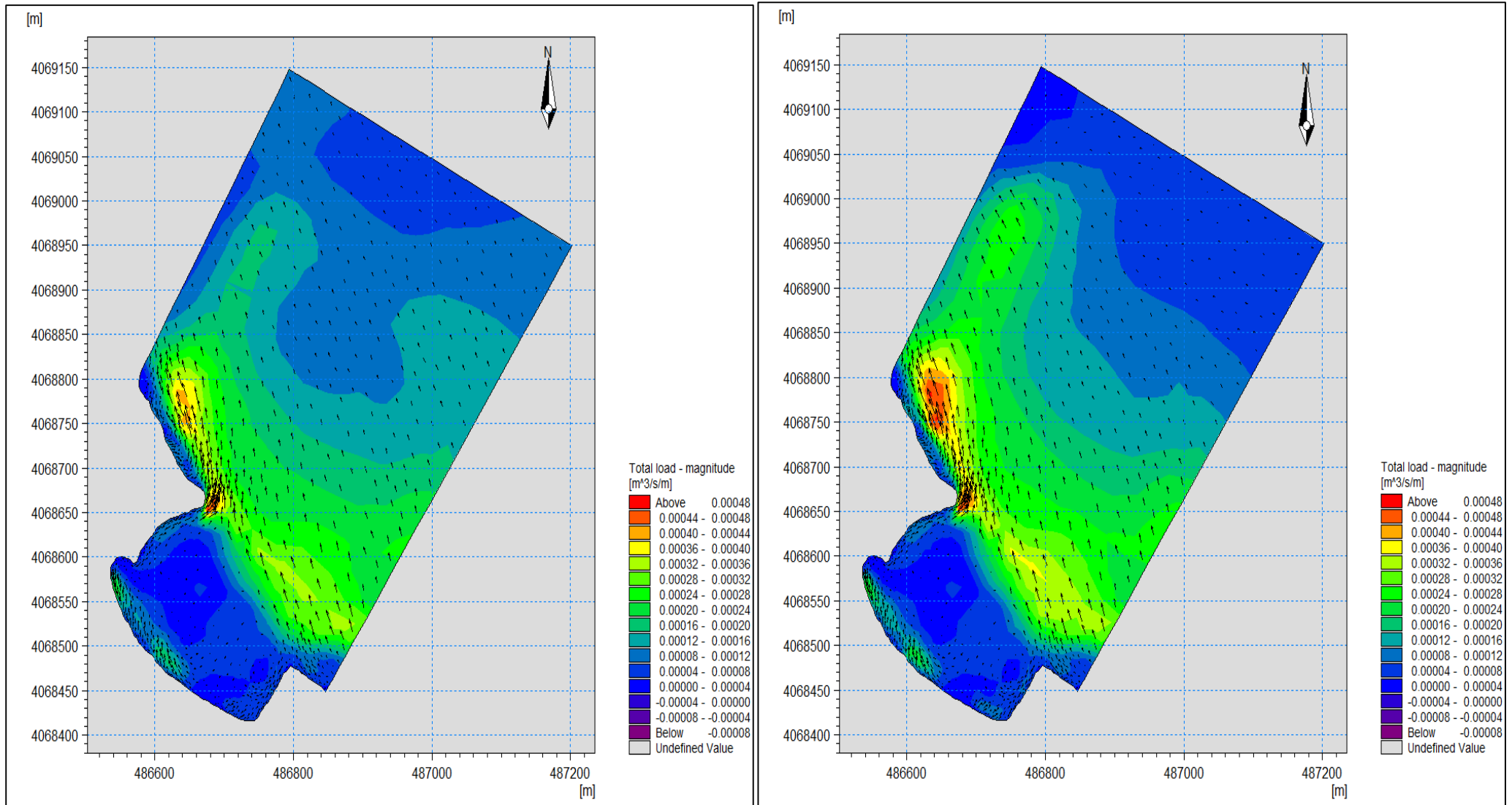


Figure 5 : Simulation du Transport sédimentaire ($T_p=8s$, $Dir=45^\circ$, $H_s=2.56m$) (à gauche de l'année 2015 et à droite de l'année 2017)

2-2- Une Houle de ($T_p=8s$, $Dir=270^\circ$, $H_s=2.56m$)

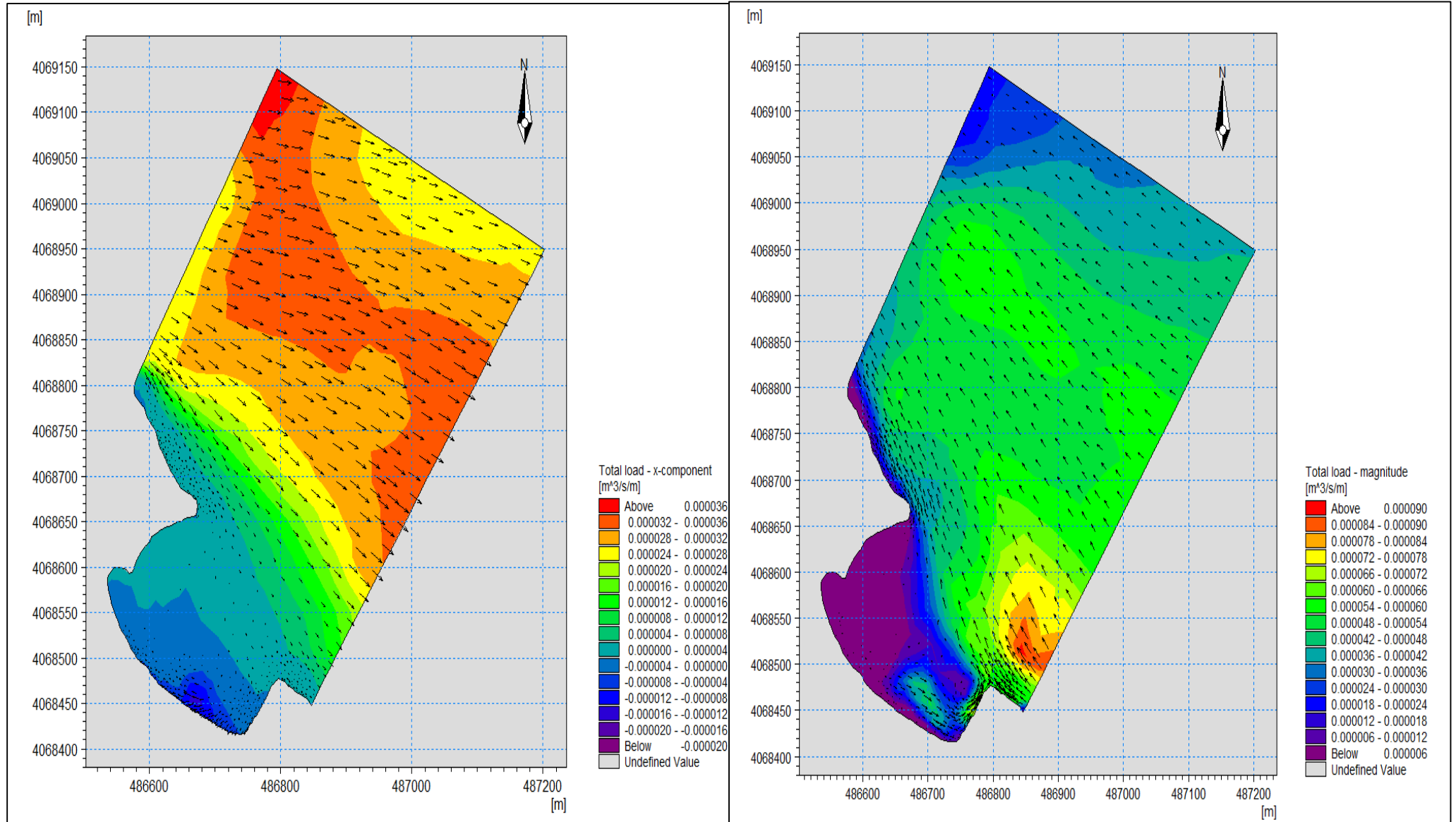


Figure 6 : Simulation du Transport sédimentaire ($T_p=8s$, $Dir=270^\circ$, $H_s=2.56m$) (à gauche de l'année 2015 et à droite de l'année 2017)

2-3- Une Houle de ($T_p=8s$, $Dir=315^\circ$, $H_s=2.56m$)

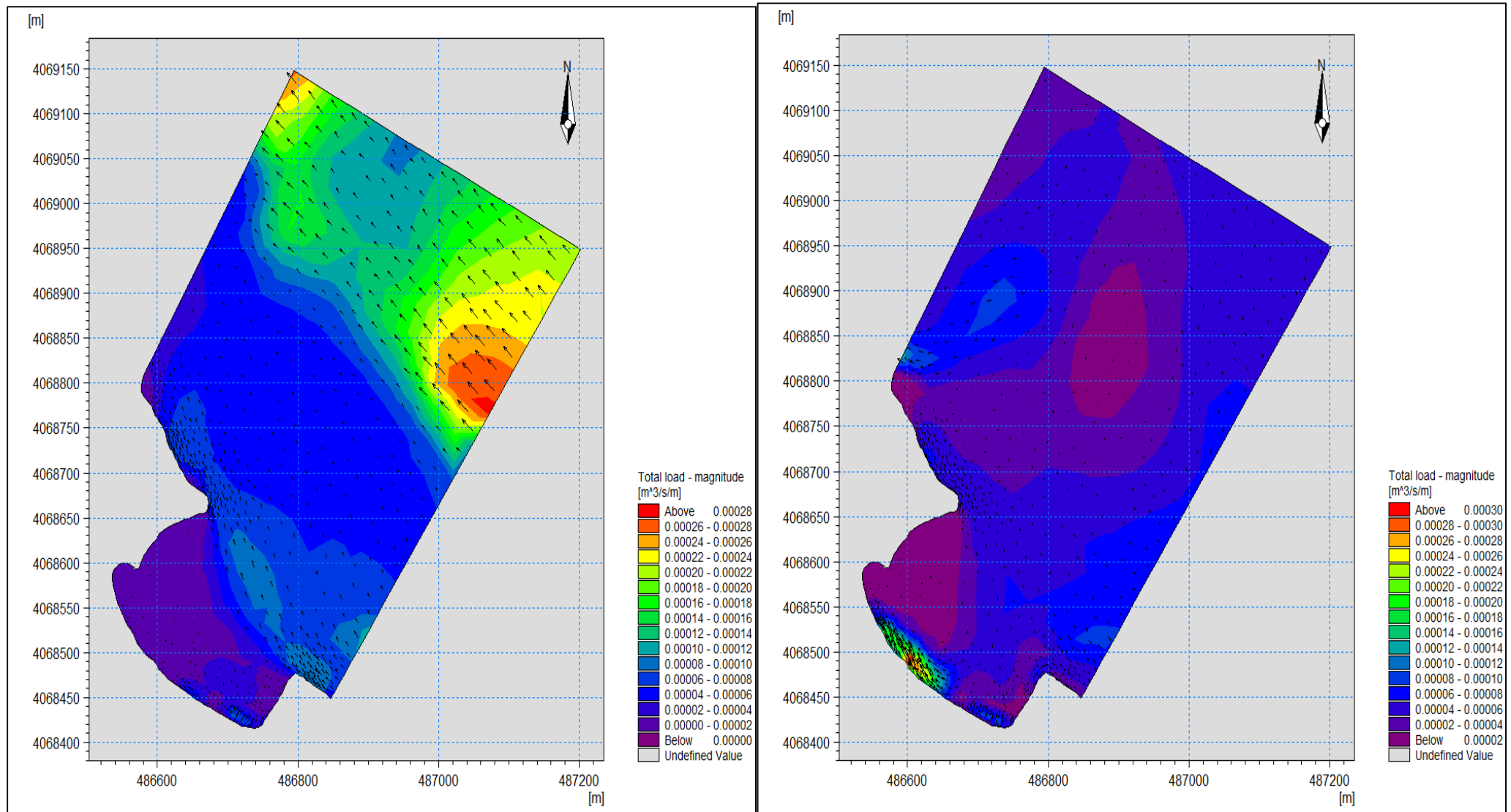


Figure 7 : Simulation du Transport sédimentaire ($T_p=8s$, $Dir=315^\circ$, $H_s=2.56m$) (à gauche de l'année 2015 et à droite de l'année 2017)

2-4- Une Houle de ($T_p=8s$, $Dir=360^\circ$, $H_s=2.56m$)

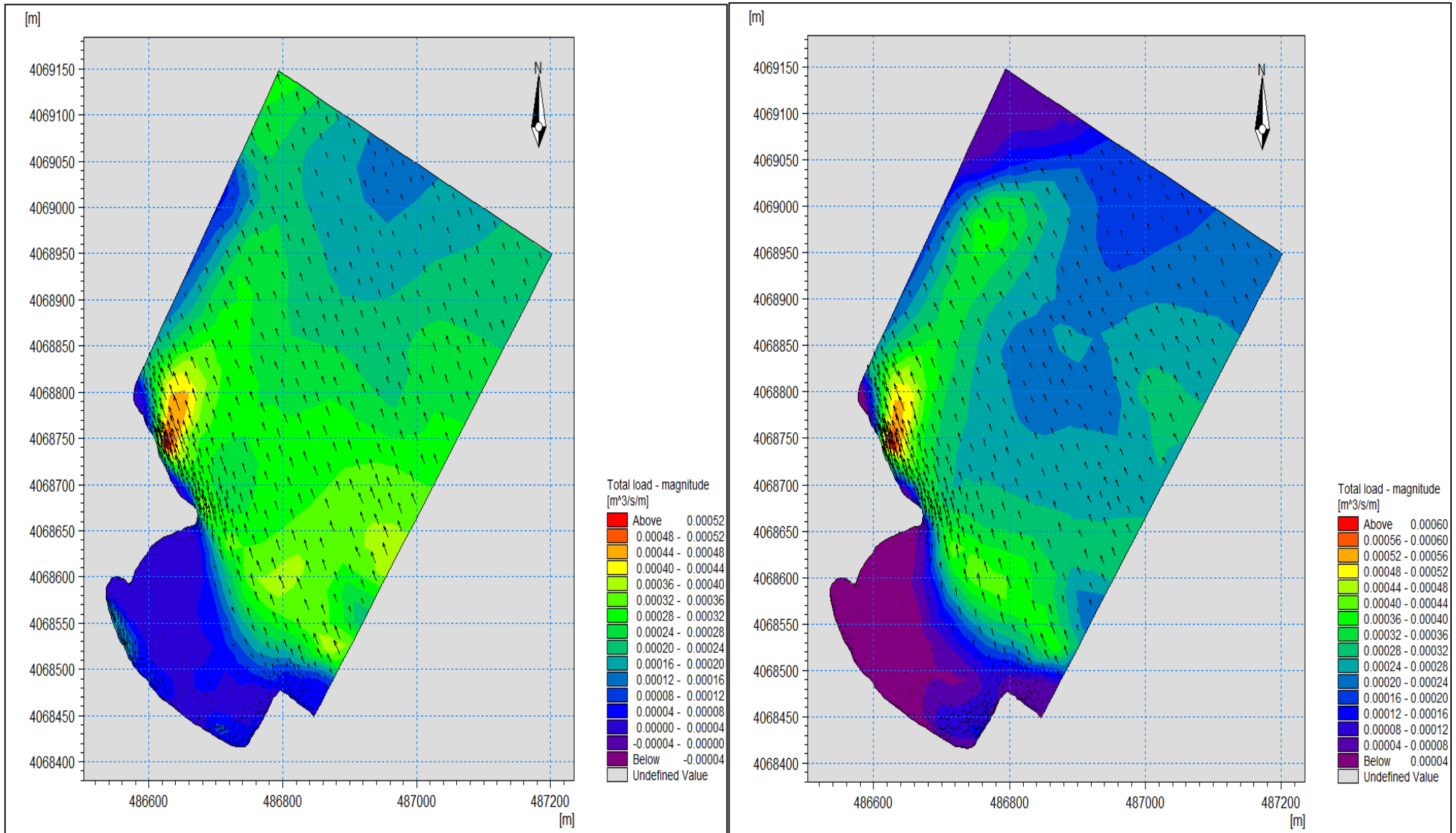


Figure 8 : Simulation du Transport sédimentaire ($T_p=8s$, $Dir=360^\circ$, $H_s=2.56m$) (à gauche de l'année 2015 et à droite de l'année 2017)

3- Le modèle SW « Spectral Wave Module »

3-1- Une Houle de ($T_p=8s$, $Dir=45^\circ$, $H_s=2.56m$)

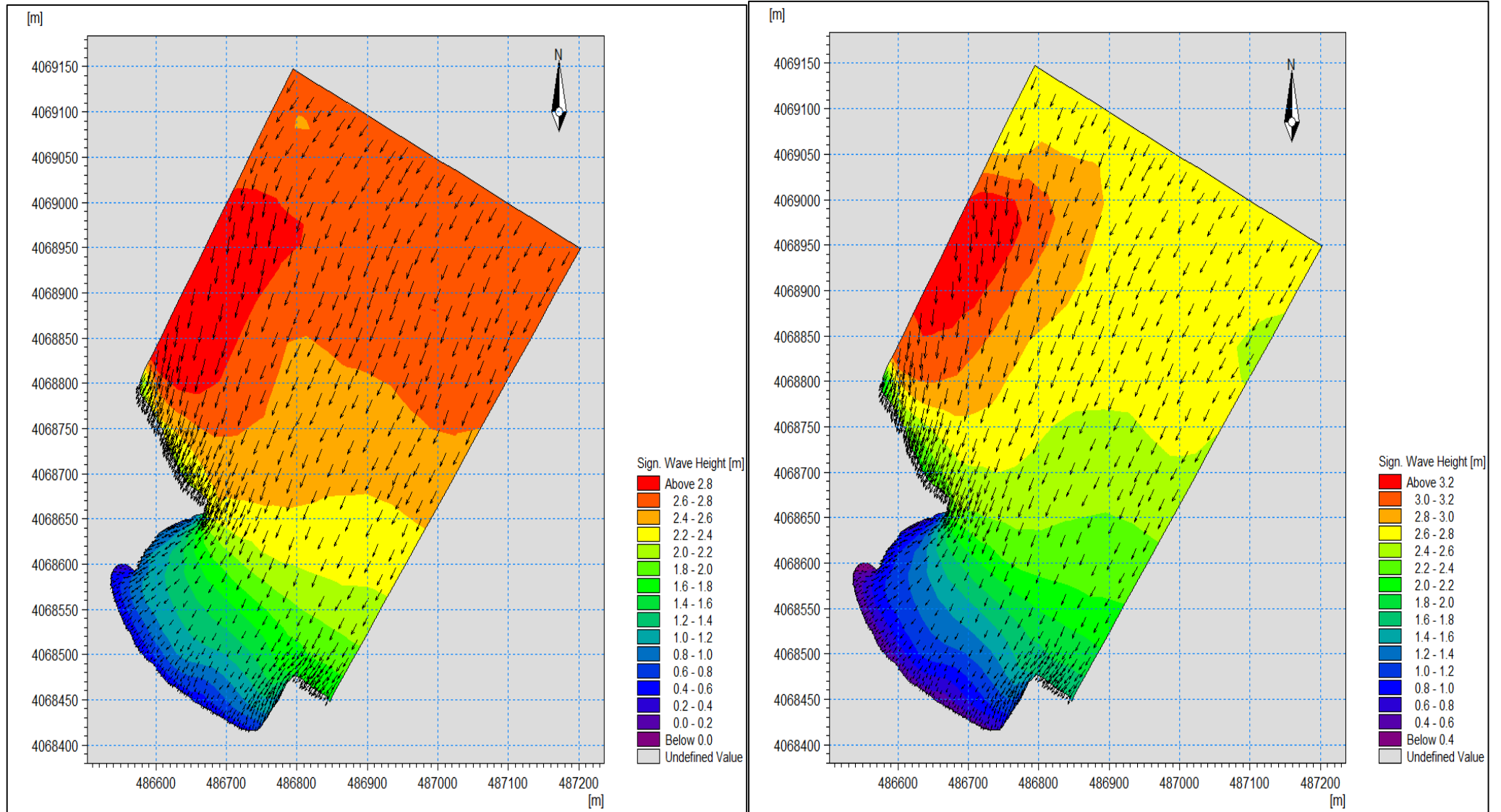


Figure 9 : Simulation des houles ($T_p=8s$, $Dir=45^\circ$, $H_s=2.56m$) (à gauche de l'année 2015 et à droite de l'année 2017)

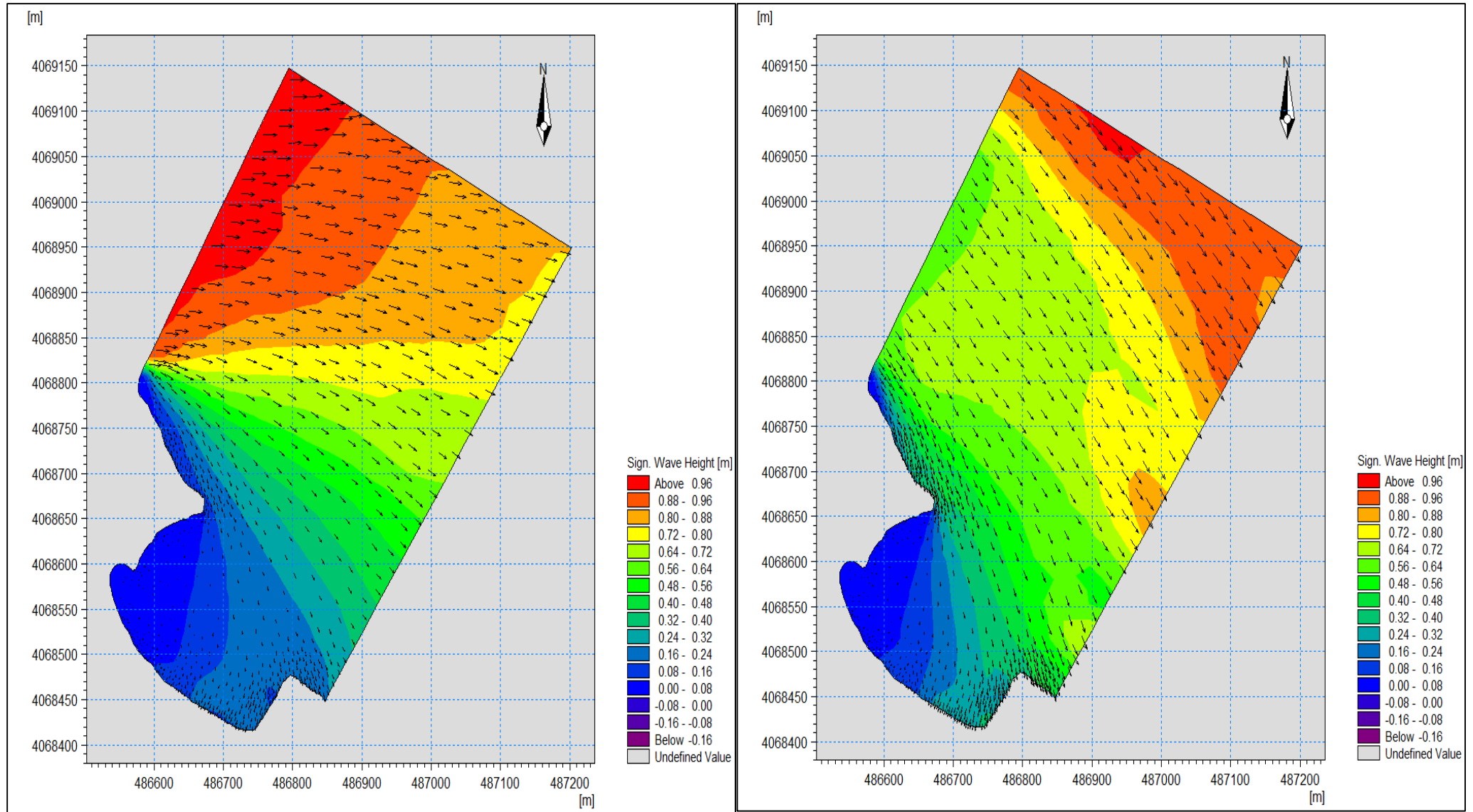
3-2- Une Houle de ($T_p=8s$, $Dir=270^\circ$, $H_s=2.56m$)

Figure 10 : Simulation des houles ($T_p=8s$, $Dir=270^\circ$, $H_s=2.56m$) (à gauche de l'année 2015 et à droite de l'année 2017)

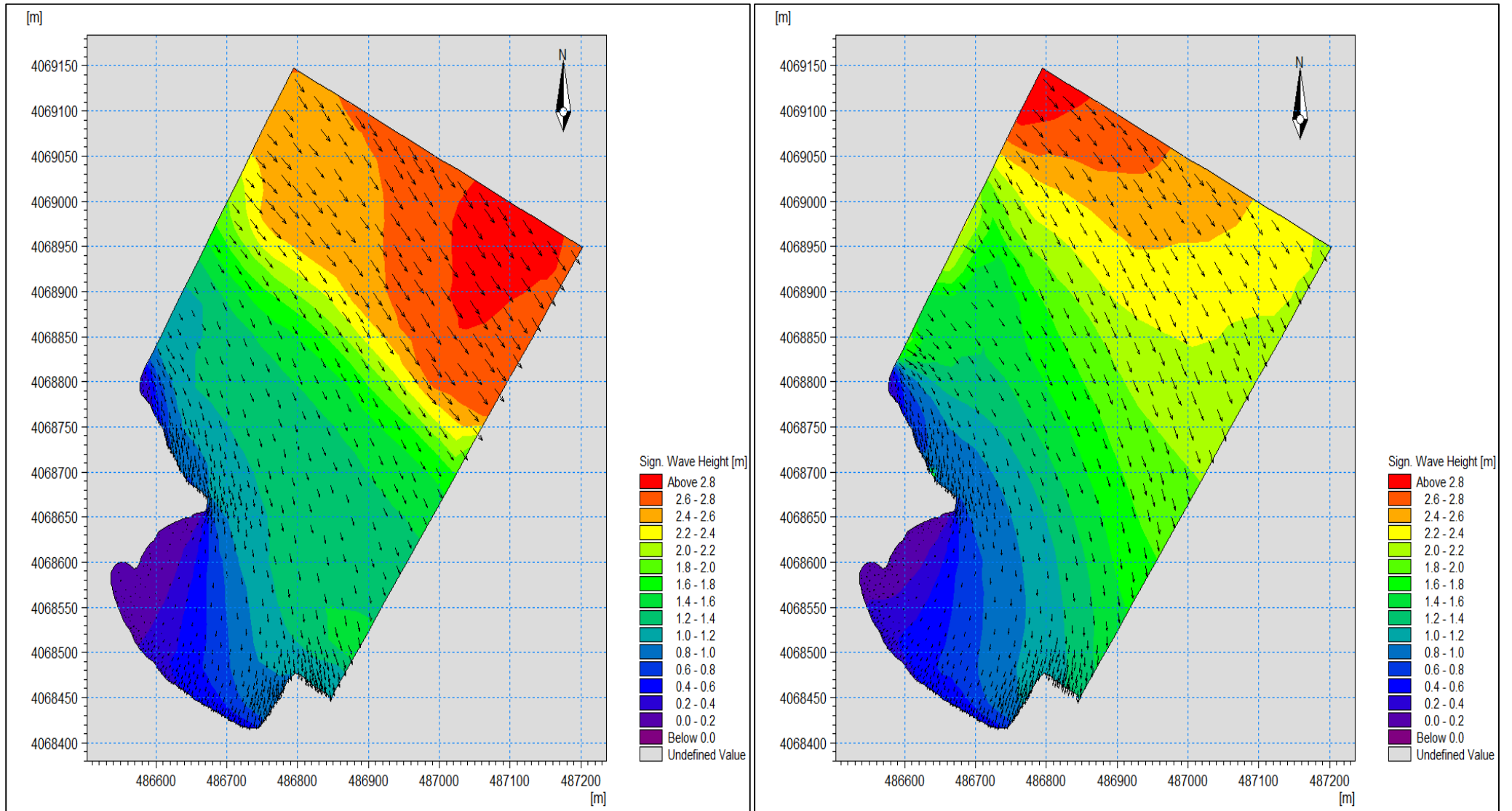
3-3- Une Houle de ($T_p=8s$, $Dir=315^\circ$, $H_s=2.56m$)

Figure 11 : Simulation des houles ($T_p=8s$, $Dir=315^\circ$, $H_s=2.56m$) (à gauche de l'année 2015 et à droite de l'année 2017)

3-4- Une Houle de ($T_p=8s$, $Dir=360^\circ$, $H_s=2.56m$)

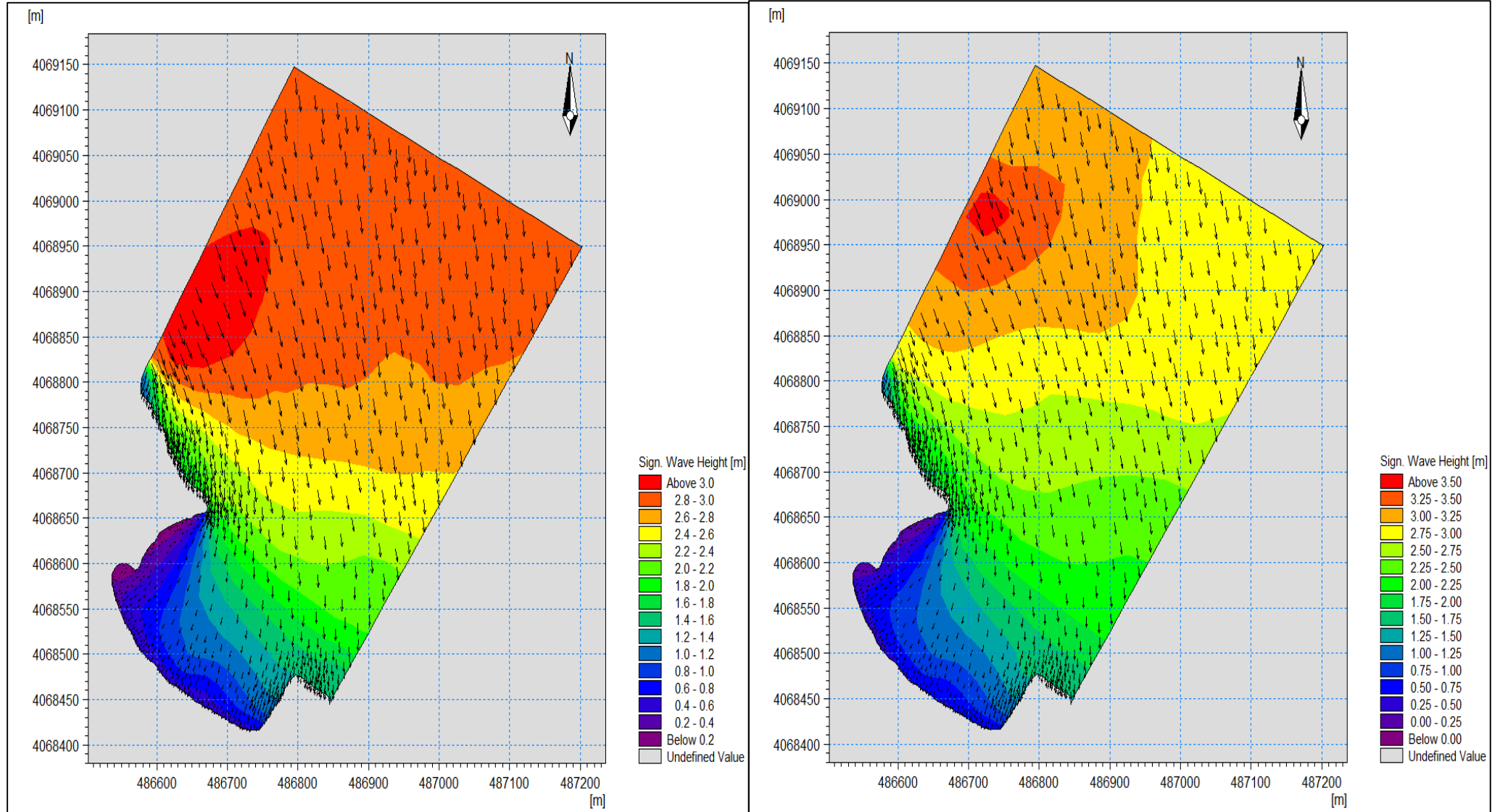


Figure 12 : Simulation des houles ($T_p=8s$, $Dir=360^\circ$, $H_s=2.56m$) (à gauche de l'année 2015 et à droite de l'année 2017)

Annexe 07

L'étude d'évolution du trait de côte

L'étude se fait en utilisant l'extension DSAS dans le logiciel ArcGIS pour calculer les statistiques des variations des traits de côtes des différentes années.

Préparer la zone tampon pour le traçage de la ligne de base avec une allure qui ressemble à celle des traits de côtes.

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

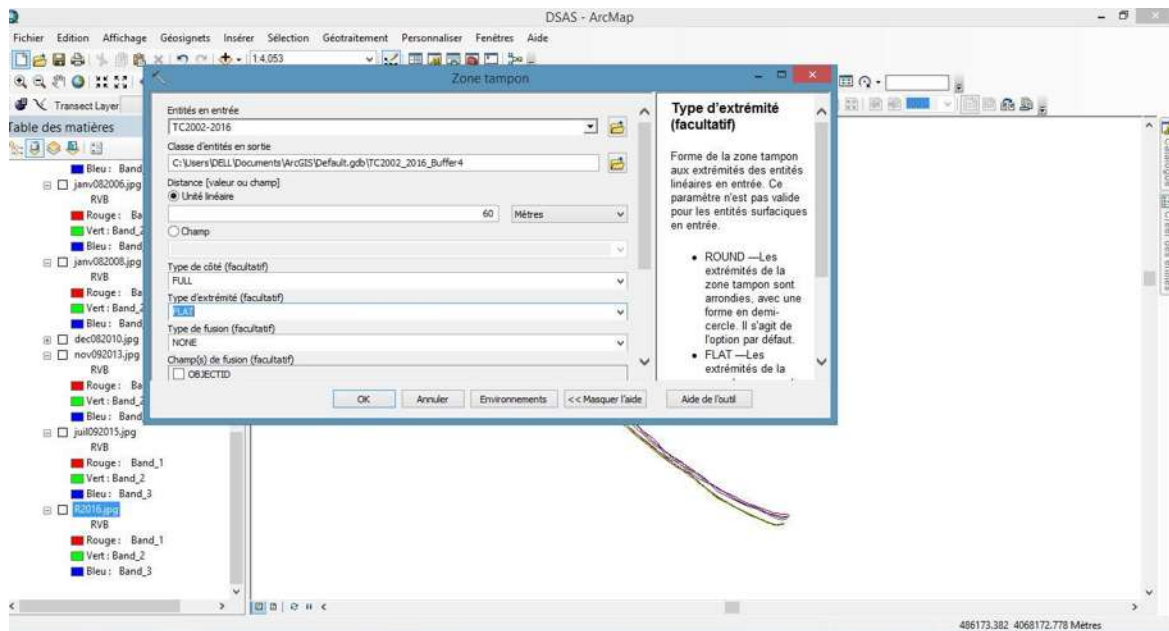


Figure 1 : création de la zone tampon

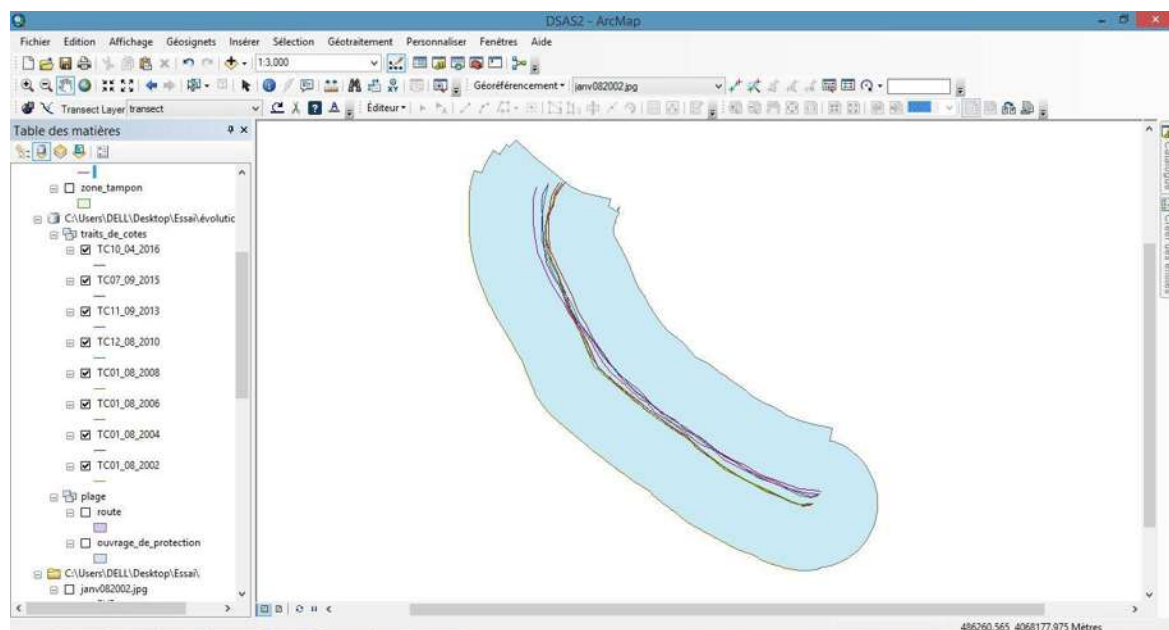


Figure 2 : la zone tampon

Annexe 07

La création d'une classe d'entité « baseline » dans le personnel geodatabase qui contient les traits de côtes tracés.

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

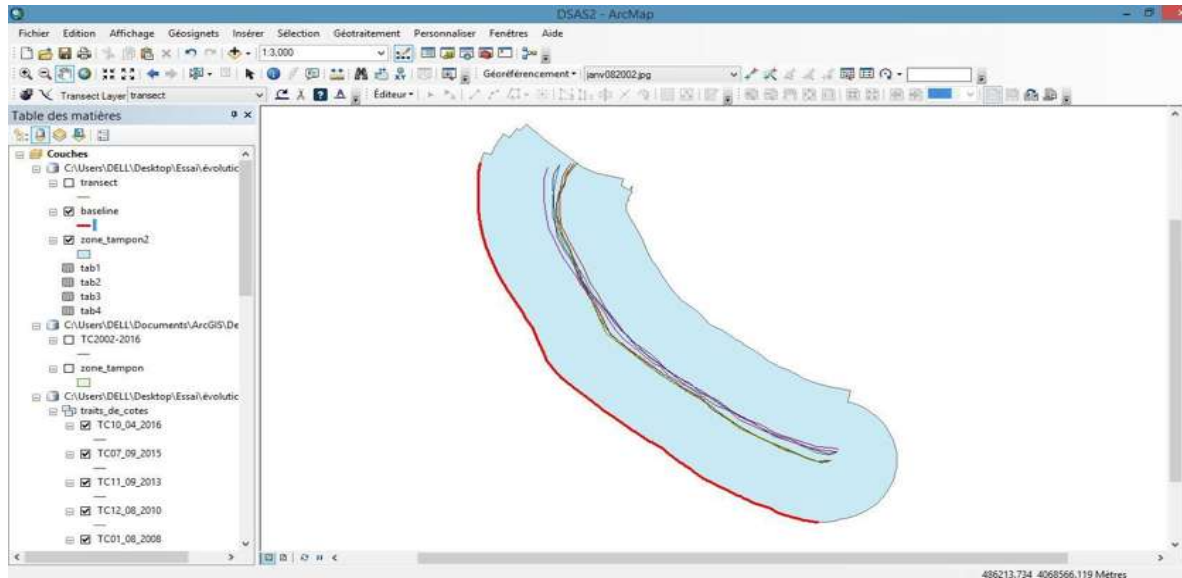


Figure 3 : la ligne de base

Après la préparation des données d'entrée (les traits de côte et la ligne de base), l'application de DSAS peut être utilisée en passant par des étapes :

- Définir et modifier les paramètres :

Sélectionner la ligne de base, ainsi sa position et définir les dimensions (la longueur de transect et l'espacement entre eux)

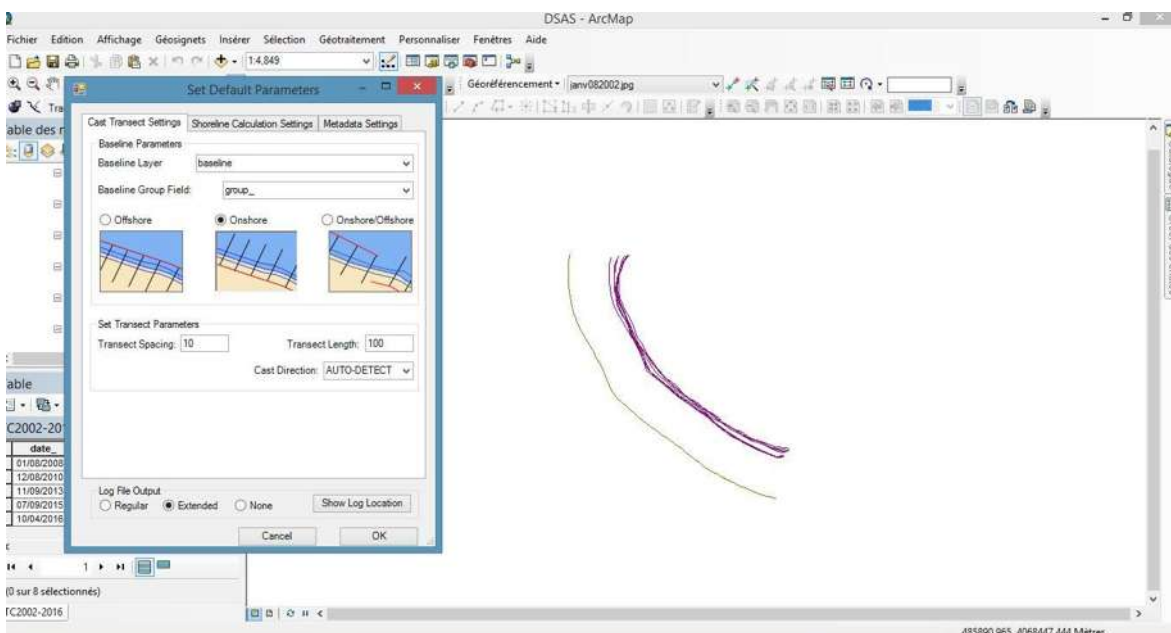


Figure 4 : la définition et modification des paramètres

Annexe 07

Sélectionner les traits de côte combinés et les champs sont pris en considération

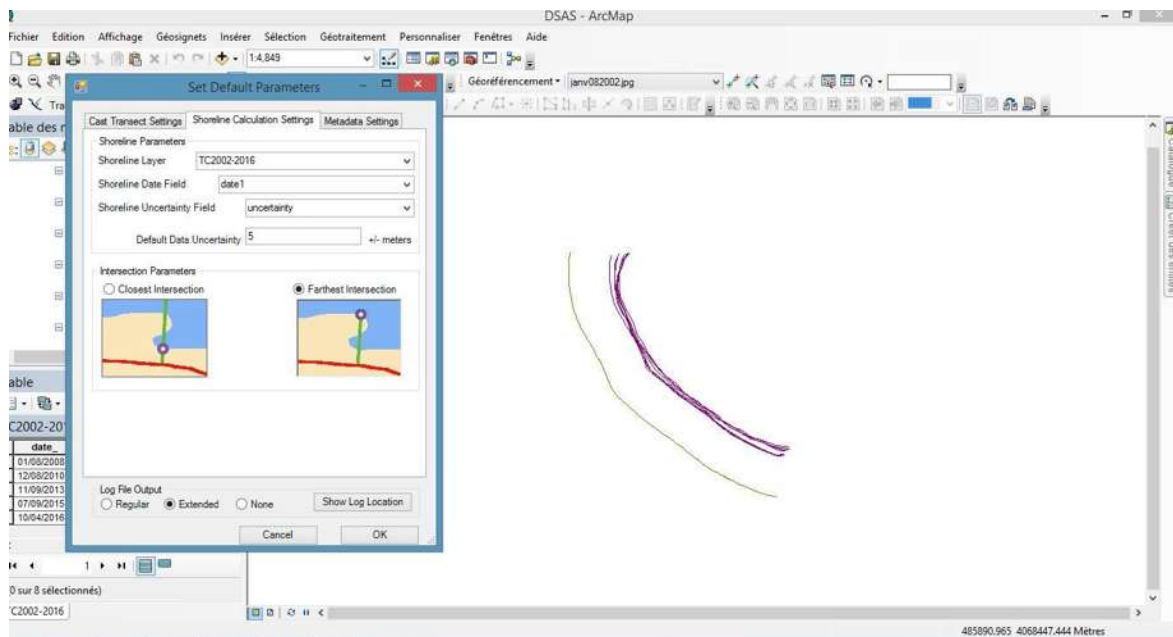


Figure 5 : Introduire les traits de côte et les champs nécessaires pour le calcul statistique

- Tracer les transects :

Choisir le fichier de sortie et nommer les transects

La création des transects perpendiculaire sur la ligne de base et en intersection avec tous les traits de côte

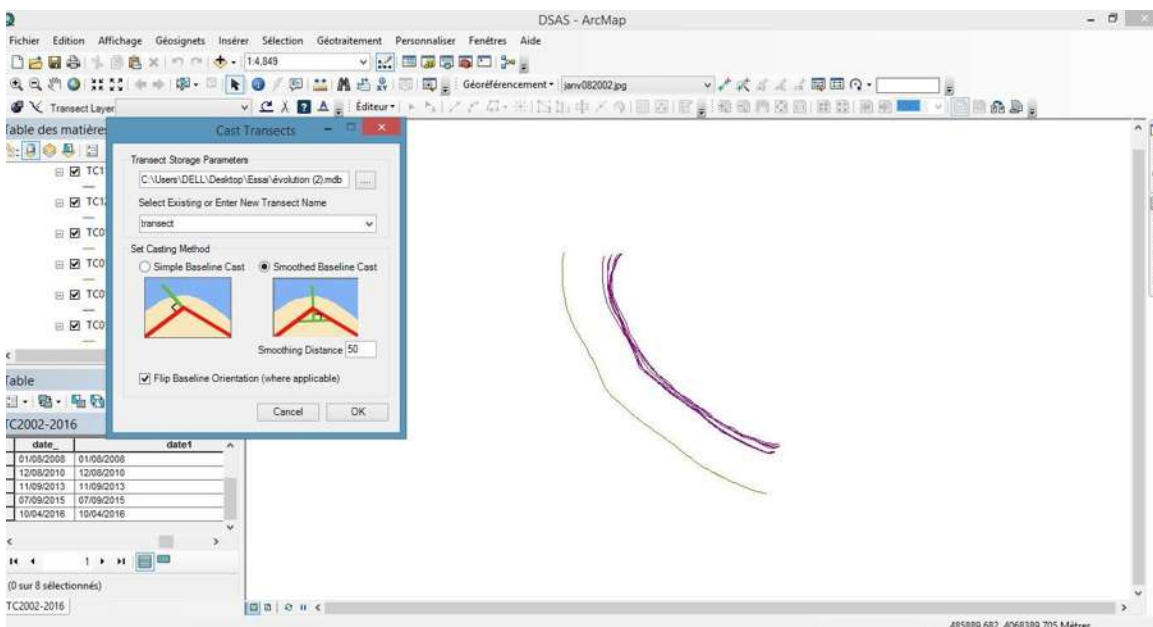


Figure 6 : la génération des transects

Annexe 07

- Lancer le calcul statistique ainsi et choisir les paramètres à calculer

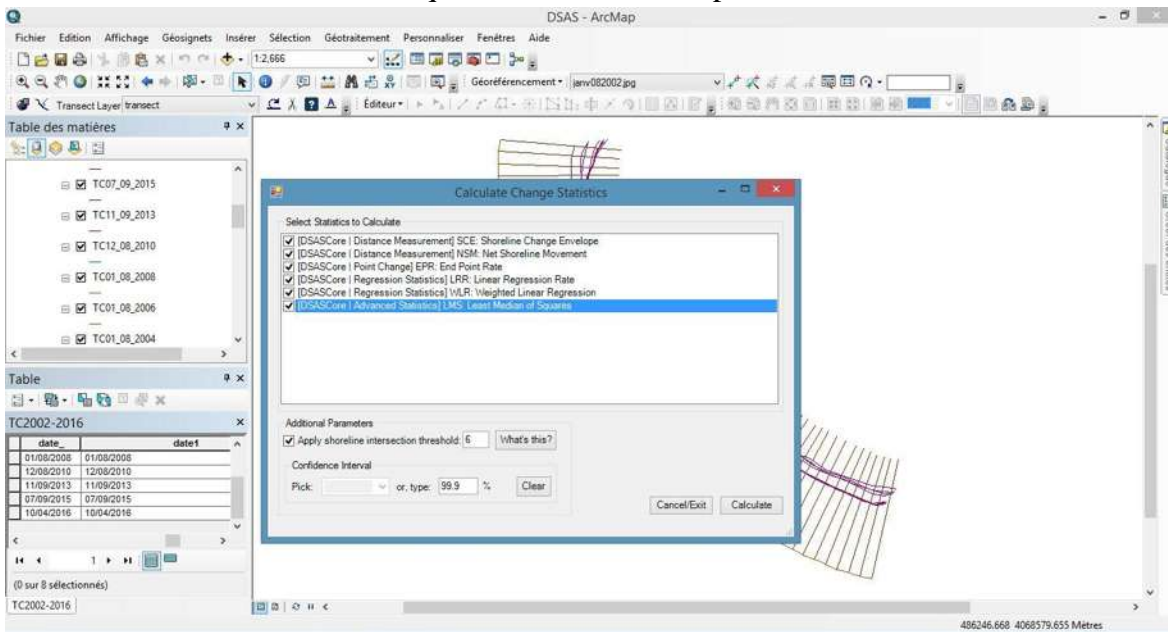


Figure 7 : le calcul statistique

Les résultats vont se présenter dans des tableaux statistiques :

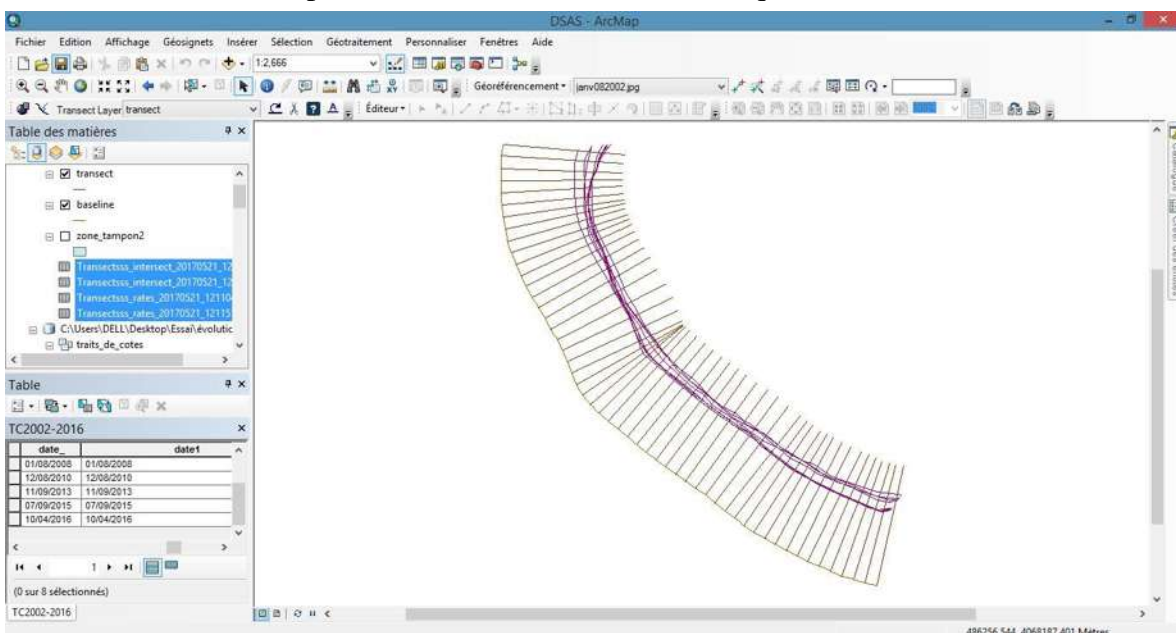


Figure 8 : les résultats obtenus sous forme des tableaux

Résultats statistique DSAS Page 1-1

object identifier *	geometry *	BaselineID	Group	TransOrder	ProcTime
1	Polyligne	1	0	1	2017/07/17 12:16:02
2	Polyligne	1	0	2	2017/07/17 12:16:02
3	Polyligne	1	0	3	2017/07/17 12:16:02
4	Polyligne	1	0	4	2017/07/17 12:16:02
5	Polyligne	1	0	5	2017/07/17 12:16:02
6	Polyligne	1	0	6	2017/07/17 12:16:02
7	Polyligne	1	0	7	2017/07/17 12:16:02
8	Polyligne	1	0	8	2017/07/17 12:16:02
9	Polyligne	1	0	9	2017/07/17 12:16:02
10	Polyligne	1	0	10	2017/07/17 12:16:02
11	Polyligne	1	0	11	2017/07/17 12:16:02
12	Polyligne	1	0	12	2017/07/17 12:16:02
13	Polyligne	1	0	13	2017/07/17 12:16:02
14	Polyligne	1	0	14	2017/07/17 12:16:02
15	Polyligne	1	0	15	2017/07/17 12:16:02
16	Polyligne	1	0	16	2017/07/17 12:16:02
17	Polyligne	1	0	17	2017/07/17 12:16:02
18	Polyligne	1	0	18	2017/07/17 12:16:02
19	Polyligne	1	0	19	2017/07/17 12:16:02
20	Polyligne	1	0	20	2017/07/17 12:16:02
21	Polyligne	1	0	21	2017/07/17 12:16:02
22	Polyligne	1	0	22	2017/07/17 12:16:03
23	Polyligne	1	0	23	2017/07/17 12:16:03
24	Polyligne	1	0	24	2017/07/17 12:16:03
25	Polyligne	1	0	25	2017/07/17 12:16:03
26	Polyligne	1	0	26	2017/07/17 12:16:03
27	Polyligne	1	0	27	2017/07/17 12:16:03
28	Polyligne	1	0	28	2017/07/17 12:16:03
29	Polyligne	1	0	29	2017/07/17 12:16:03
30	Polyligne	1	0	30	2017/07/17 12:16:03
31	Polyligne	1	0	31	2017/07/17 12:16:03
32	Polyligne	1	0	32	2017/07/17 12:16:03
33	Polyligne	1	0	33	2017/07/17 12:16:03
34	Polyligne	1	0	34	2017/07/17 12:16:03
35	Polyligne	1	0	35	2017/07/17 12:16:03
36	Polyligne	1	0	36	2017/07/17 12:16:03
37	Polyligne	1	0	37	2017/07/17 12:16:03
38	Polyligne	1	0	38	2017/07/17 12:16:03
39	Polyligne	1	0	39	2017/07/17 12:16:03
40	Polyligne	1	0	40	2017/07/17 12:16:03
41	Polyligne	1	0	41	2017/07/17 12:16:03
42	Polyligne	1	0	42	2017/07/17 12:16:03
43	Polyligne	1	0	43	2017/07/17 12:16:03
44	Polyligne	1	0	44	2017/07/17 12:16:03
45	Polyligne	1	0	45	2017/07/17 12:16:03
46	Polyligne	1	0	46	2017/07/17 12:16:03
47	Polyligne	1	0	47	2017/07/17 12:16:03
48	Polyligne	1	0	48	2017/07/17 12:16:03
49	Polyligne	1	0	49	2017/07/17 12:16:03
50	Polyligne	1	0	50	2017/07/17 12:16:03
51	Polyligne	1	0	51	2017/07/17 12:16:03
52	Polyligne	1	0	52	2017/07/17 12:16:03
53	Polyligne	1	0	53	2017/07/17 12:16:03
54	Polyligne	1	0	54	2017/07/17 12:16:03
55	Polyligne	1	0	55	2017/07/17 12:16:03
56	Polyligne	1	0	56	2017/07/17 12:16:03

Résultats statistique DSAS Page 1-2

Autogen	StartX	StartY	EndX	EndY	Azimuth	SHAPE_Length
1	486331.75	4068552.2	486480.69	4068534.43	96.81	149.999998
1	486330.17	4068542.33	486479.32	4068526.39	96.1	149.999997
1	486329.54	4068532.36	486479.09	4068520.75	94.44	149.999998
1	486328.29	4068522.44	486478.24	4068518.47	91.52	149.999997
1	486328.03	4068512.45	486477.96	4068517.16	88.2	150
1	486328.77	4068502.48	486478.32	4068514.19	85.52	149.999999
1	486330.41	4068492.62	486478.96	4068513.47	82.01	150.000001
1	486331.9	4068482.74	486478.89	4068512.63	78.5	149.999999
1	486333.7	4068472.9	486479.01	4068510.13	75.63	149.999998
1	486336.47	4068463.3	486481.28	4068502.43	74.88	150
1	486340.04	4068453.96	486483.96	4068496.24	73.63	150.000001
1	486343.37	4068444.56	486486.27	4068490.16	72.3	149.999999
1	486345.39	4068434.77	486487.48	4068482.84	71.31	149.999998
1	486348.32	4068425.21	486489.96	4068474.56	70.79	150.000003
1	486352.14	4068415.97	486492.54	4068468.78	69.39	150.000001
1	486356.22	4068406.84	486495.19	4068463.3	67.89	150
1	486360.22	4068397.68	486497.71	4068457.65	66.43	149.999999
1	486363.58	4068388.26	486500.05	4068450.52	65.48	149.999997
1	486367.72	4068379.17	486503.17	4068443.62	64.55	150.000001
1	486372.5	4068370.38	486506.88	4068437.03	63.62	149.999999
1	486377.3	4068361.61	486510.01	4068431.52	62.22	150.000002
1	486381.88	4068352.72	486512.8	4068425.94	60.78	149.999997
1	486386.33	4068343.77	486514.24	4068422.12	58.51	150.000001
1	486391.55	4068335.24	486515.32	4068419.99	55.6	150
1	486397.59	4068327.28	486514.89	4068420.78	51.44	150.000001
1	486404.31	4068319.88	486514.46	4068421.7	47.25	150
1	486411.3	4068312.72	486515.88	4068420.25	44.2	149.999998
1	486418.82	4068306.13	486519.78	4068417.07	42.3	150.000004
1	486426.43	4068299.65	486525.15	4068412.58	41.16	149.999999
1	486434.04	4068293.16	486532.2	4068406.58	40.87	150
1	486441.65	4068286.68	486539.63	4068400.26	40.78	150
1	486449.1	4068280	486545.12	4068395.24	39.8	150.000001
1	486456.59	4068273.38	486550.17	4068390.6	38.6	149.999998
1	486464.5	4068267.26	486555.34	4068386.62	37.28	149.999997
1	486472.74	4068261.6	486560.51	4068383.24	35.81	149.999999
1	486480.98	4068255.95	486571.73	4068375.38	37.23	150.000001
1	486489.23	4068250.29	486583	4068367.37	38.69	150
1	486496.71	4068243.75	486591.57	4068359.95	39.23	150
1	486503.71	4068236.62	486598.13	4068353.17	39.01	149.999999
1	486511.38	4068230.2	486605.19	4068347.24	38.71	149.999998
1	486519.61	4068224.53	486607.09	4068346.38	35.67	150
1	486527.97	4068219.04	486609.5	4068344.95	32.92	149.999998
1	486536.35	4068213.58	486613.95	4068341.94	31.16	149.999999
1	486544.98	4068208.53	486620.3	4068338.25	30.14	150.000001
1	486553.79	4068203.8	486626.84	4068334.81	29.14	149.999998
1	486562.6	4068199.06	486633.63	4068331.18	28.27	150.000002
1	486571.4	4068194.33	486640.8	4068327.31	27.56	150.000002
1	486580.21	4068189.6	486648.34	4068323.24	27.01	150.000001
1	486589.19	4068185.19	486655.74	4068319.62	26.34	150
1	486598.21	4068180.88	486660.99	4068317.12	24.74	149.999998
1	486607.24	4068176.57	486665.54	4068314.78	22.87	150.000001
1	486616.47	4068172.76	486670.32	4068312.76	21.04	149.999999
1	486625.93	4068169.5	486672.48	4068312.09	18.08	150.000001
1	486635.44	4068166.42	486672.29	4068311.83	14.22	149.999999
1	486645.16	4068164.07	486678.11	4068310.41	12.69	150.000001
1	486655.06	4068162.71	486683.25	4068310.03	10.83	149.999999

Résultats statistique DSAS Page 1-3

object identifier *	TransectId *	TCD	EPR	ECI	NSM	LRR	LR2	LSE	LCI95
1	1	0	-0.02	0.707	-0.14	0.34	0.09	4.02	2.022
2	2	10	-0.23	0.707	-1.82	0.12	0.02	3.33	1.674
3	3	20	-0.46	0.707	-3.7	-0.08	0.01	3.22	1.618
4	4	30	-0.36	0.707	-2.88	-0.01	0	3.05	1.535
5	5	40	-0.3	0.707	-2.39	0.03	0	2.89	1.456
6	6	50	-0.33	0.707	-2.66	-0.02	0	2.68	1.348
7	7	60	-0.35	0.707	-2.83	-0.05	0	2.73	1.375
8	8	70	-0.31	0.707	-2.48	-0.03	0	2.79	1.405
9	9	80	-0.26	0.707	-2.06	-0.04	0	2.68	1.346
10	10	90	-0.3	0.707	-2.41	-0.13	0.04	2.32	1.169
11	11	100	-0.18	0.707	-1.42	-0.03	0	2.05	1.03
12	12	110	-0.1	0.707	-0.77	-0.01	0	1.82	0.916
13	13	120	-0.02	0.707	-0.18	0.02	0	1.49	0.748
14	14	130	0.14	0.707	1.1	0.12	0.07	1.63	0.818
15	15	140	0.28	0.707	2.2	0.21	0.18	1.62	0.814
16	16	150	0.4	0.707	3.22	0.29	0.28	1.69	0.85
17	17	160	0.47	0.707	3.76	0.32	0.28	1.87	0.941
18	18	170	0.42	0.707	3.38	0.26	0.19	1.99	1
19	19	180	0.38	0.707	3.02	0.17	0.08	2.07	1.044
20	20	190	0.38	0.707	3.01	0.13	0.04	2.23	1.121
21	21	200	0.42	0.707	3.36	0.18	0.09	2.17	1.092
22	22	210	0.5	0.707	4.04	0.24	0.13	2.3	1.159
23	23	220	0.42	0.707	3.36	0.18	0.08	2.26	1.135
24	24	230	0.35	0.707	2.83	0.14	0.05	2.24	1.128
25	25	240	0.33	0.707	2.63	0.12	0.04	2.24	1.125
26	26	250	0.31	0.707	2.45	0.1	0.03	2.25	1.131
27	27	260	0.25	0.707	2.01	0.07	0.01	2.24	1.125
28	28	270	0.22	0.707	1.78	0.09	0.02	2.31	1.161
29	29	280	0.21	0.707	1.66	0.1	0.02	2.36	1.188
30	30	290	0.19	0.707	1.5	0.09	0.02	2.43	1.224
31	31	300	0.27	0.707	2.12	0.14	0.03	2.82	1.419
32	32	310	0.33	0.707	2.64	0.17	0.04	3	1.51
33	33	320	0.38	0.707	3.07	0.24	0.08	2.93	1.474
34	34	330	0.42	0.707	3.32	0.3	0.11	3.05	1.533
35	35	340	0.44	0.707	3.55	0.35	0.14	3.16	1.589
36	36	350	0.5	0.707	3.97	0.43	0.19	3.29	1.655
37	37	360	0.49	0.707	3.92	0.48	0.24	3.12	1.57
38	38	370	0.36	0.707	2.9	0.49	0.25	3.15	1.584
39	39	380	0.36	0.707	2.85	0.54	0.23	3.67	1.844
40	40	390	0.35	0.707	2.82	0.55	0.2	4.09	2.058
41	41	400	0.35	0.707	2.81	0.56	0.19	4.22	2.123
42	42	410	0.35	0.707	2.8	0.53	0.18	4.21	2.12
43	43	420	0.35	0.707	2.8	0.5	0.16	4.22	2.124
44	44	430	0.36	0.707	2.91	0.51	0.16	4.33	2.177
45	45	440	0.37	0.707	2.93	0.53	0.16	4.32	2.175
46	46	450	0.37	0.707	2.93	0.58	0.19	4.29	2.16
47	47	460	0.37	0.707	2.95	0.59	0.24	3.87	1.947
48	48	470	0.37	0.707	2.95	0.59	0.29	3.41	1.718
49	49	480	0.45	0.707	3.58	0.66	0.38	3.06	1.54
50	50	490	0.51	0.707	4.09	0.71	0.45	2.89	1.453
51	51	500	0.5	0.707	3.99	0.7	0.44	2.91	1.463
52	52	510	0.55	0.707	4.39	0.73	0.44	3.05	1.533
53	53	520	0.63	0.707	5.03	0.79	0.55	2.59	1.303
54	54	530	0.6	0.707	4.82	0.76	0.58	2.36	1.187
55	55	540	0.42	0.707	3.37	0.61	0.53	2.11	1.062
56	56	550	0.33	0.707	2.61	0.5	0.47	1.94	0.975

Annexe 08 : Determination des futurs positions du TC

TC 2017		id	LRR (m/an)	estimation (m)		TC 2027		TC 2037	
x	y			10ans	20ans	x	y	x	y
486431.45	4068540.29	1	0.34	3.4	6.8	486434.85	4068543.69	486438.25	4068547.09
486429.62	4068531.72	2	0.12	1.2	2.4	486430.82	4068532.92	486432.02	4068534.12
486429.58	4068524.59	3	-0.08	-0.8	-1.6	486428.78	4068523.79	486427.98	4068522.99
486429.58	4068519.75	4	-0.01	-0.1	-0.2	486429.48	4068519.65	486429.38	4068519.55
486429.69	4068515.64	5	0.03	0.3	0.6	486429.99	4068515.94	486430.29	4068516.24
486430.1	4068510.4	6	-0.02	-0.2	-0.4	486429.9	4068510.2	486429.7	4068510
486430.4	4068506.64	7	-0.05	-0.5	-1	486429.9	4068506.14	486429.4	4068505.64
486431.26	4068502.92	8	-0.03	-0.3	-0.6	486430.96	4068502.62	486430.66	4068502.32
486432.39	4068498.16	9	-0.04	-0.4	-0.8	486431.99	4068497.76	486431.59	4068497.36
486434.53	4068489.79	10	-0.13	-1.3	-2.6	486433.23	4068488.49	486431.93	4068487.19
486438.18	4068482.78	11	-0.03	-0.3	-0.6	486437.88	4068482.48	486437.58	4068482.18
486441.66	4068475.9	12	-0.01	-0.1	-0.2	486441.56	4068475.8	486441.46	4068475.7
486445.26	4068468.55	13	0.02	0.2	0.4	486445.46	4068468.75	486445.66	4068468.95
486449.86	4068460.6	14	0.12	1.2	2.4	486451.06	4068461.8	486452.26	4068463
486453.66	4068454.17	15	0.21	2.1	4.2	486455.76	4068456.27	486457.86	4068458.37
486457.29	4068447.9	16	0.29	2.9	5.8	486460.19	4068450.8	486463.09	4068453.7
486460.88	4068441.58	17	0.32	3.2	6.4	486464.08	4068444.78	486467.28	4068447.98
486464.91	4068434.48	18	0.26	2.6	5.2	486467.51	4068437.08	486470.11	4068439.68
486468.98	4068427.36	19	0.17	1.7	3.4	486470.68	4068429.06	486472.38	4068430.76
486473.33	4068420.42	20	0.13	1.3	2.6	486474.63	4068421.72	486475.93	4068423.02
486477533	4068414.4	21	0.18	1.8	3.6	486477535	4068416.2	486477537	4068418
486482.04	4068408.75	22	0.24	2.4	4.8	486484.44	4068411.15	486486.84	4068413.55
486485.46	4068404.5	23	0.18	1.8	3.6	486487.26	4068406.3	486489.06	4068408.1
486488	4068401.29	24	0.14	1.4	2.8	486489.4	4068402.69	486490.8	4068404.09
486488.93	4068400.12	25	0.12	1.2	2.4	486490.13	4068401.32	486491.33	4068402.52
486489.85	4068398.96	26	0.1	1	2	486490.85	4068399.96	486491.85	4068400.96
486492.25	4068395.96	27	0.07	0.7	1.4	486492.95	4068396.66	486493.65	4068397.36
486496.46	4068391.45	28	0.09	0.9	1.8	486497.36	4068392.35	486498.26	4068393.25
486501.84	4068385.91	29	0.1	1	2	486502.84	4068386.91	486503.84	4068387.91
486508.44	4068379.14	30	0.09	0.9	1.8	486509.34	4068380.04	486510.24	4068380.94
486515.82	4068372.68	31	0.14	1.4	2.8	486517.22	4068374.08	486518.62	4068375.48
486521.89	4068367.38	32	0.17	1.7	3.4	486523.59	4068369.08	486525.29	4068370.78
486527.73	4068362.49	33	0.24	2.4	4.8	486530.13	4068364.89	486532.53	4068367.29
486533.54	4068358	34	0.3	3	6	486536.54	4068361	486539.54	4068364
486539.16	4068353.68	35	0.35	3.5	7	486542.66	4068357.18	486546.16	4068360.68
486549.29	4068345.87	36	0.43	4.3	8.6	486553.59	4068350.17	486557.89	4068354.47
486559.42	4068337.92	37	0.48	4.8	9.6	486564.22	4068342.72	486569.02	4068347.52
486567.94	4068331.01	38	0.49	4.9	9.8	486572.84	4068335.91	486577.74	4068340.81
486575.83	4068325.68	39	0.54	5.4	10.8	486581.23	4068331.08	486586.63	4068336.48
486583.69	4068320.42	40	0.55	5.5	11	486589.19	4068325.92	486594.69	4068331.42
486586.9	4068318.28	41	0.56	5.6	11.2	486592.5	4068323.88	486598.1	4068329.48
486590.61	4068315.77	42	0.53	5.3	10.6	486595.91	4068321.07	486601.21	4068326.37
486595.98	4068312.23	43	0.5	5	10	486600.98	4068317.23	486605.98	4068322.23
486602.68	4068307.94	44	0.51	5.1	10.2	486607.78	4068313.04	486612.88	4068318.14
486609.46	4068303.64	45	0.53	5.3	10.6	486614.76	4068308.94	486620.06	4068314.24
486616.44	4068299.23	46	0.58	5.8	11.6	486622.24	4068305.03	486628.04	4068310.83
486623.73	4068294.61	47	0.59	5.9	11.8	486629.63	4068300.51	486635.53	4068306.41
486631.28	4068289.83	48	0.59	5.9	11.8	486637.18	4068295.73	486643.08	4068301.63

Annexe 08 : Determination des futurs positions du TC

486638.95	4068285.7	49	0.66	6.6	13.2	486645.55	4068292.3	486652.15	4068298.9
486645.21	4068282.91	50	0.71	7.1	14.2	486652.31	4068290.01	486659.41	4068297.11
486651	4068280.35	51	0.7	7	14	486658	4068287.35	486665	4068294.35
486657.02	4068278.2	52	0.73	7.3	14.6	486664.32	4068285.5	486671.62	4068292.8
486661.07	4068277.16	53	0.79	7.9	15.8	486668.97	4068285.06	486676.87	4068292.96
486663.35	4068276.54	54	0.76	7.6	15.2	486670.95	4068284.14	486678.55	4068291.74
486670.1	4068274.83	55	0.61	6.1	12.2	486676.2	4068280.93	486682.3	4068287.03
486676.31	4068273.78	56	0.5	5	10	486681.31	4068278.78	486686.31	4068283.78

Résumé

La plage Est de Sidi Fredj à l'Ouest d'Alger est une plage sableuse, se situe dans une zone très fréquentée, et par sa valeur socio-économique elle connaît des actions anthropiques.

Afin de suivre l'évolution de cette plage, on a effectué une étude en utilisant plusieurs logiciels dont : l'ArcGIS, Surfer, MIKE 21 pour l'analyse de la morphologie de la zone ainsi l'évaluation de la dynamique côtière, pour qu'au final avoir une estimation de l'état future de cette plage et proposer un plan d'aménagement.

Mots clefs : érosion, littoral, trait de cote, Sidi Fredj, morphologie, topographie, bathymétrie, aménagement.

Abstract

The East shore of Sidi Fredj at the West of Algiers is a sandy beach, located in very busy area, its socio-economical value makes it vulnerable to anthropogenic effects.

In order to follow the evolution of this coast, we conducted a study using multiple softwares such as: ArcGIS, Surfer and MIKE 21 to analyse the morphology of the site and also to evaluate the coastal dynamics, so that an estimation of the future state of this beach can be obtained as well as proposing a development plan.

Keywords: erosion, coast, shoreline, Sidi Fredj, morphology, topography, bathymetry, planning.

سيد فرج الواقع غرب الجزائر هو شاطئ رملي. يقع في منطقة نشطة جدا، و بفعل قيمته الاقتصادية و الاجتماعية هو يعرف نشاط صناعي. لدراسة مورفولوجيا المنطقة، و ايضا التطور الديناميكي الشاطئي من اجل امكانية تقدير حالة المنطقة في Surfer، ArcGIS, MIKE, و من اجل متابعة تطور هذا الشاطئ قمنا بدراسة باستعمال عدة برامج حاسوب والتي هي المستقبل و اقتراح مخطط تهيئة.

الكلمات مفتاحية

الحت، الساحل، خط الساحل، سيدي فرج، مورفولوجيا، طبوغرافيا، قياس الأعماق، التهيئة.