



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المدرسة الوطنية العليا للعلوم البحرية وتهيئة الساحل
Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du
Littoral

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
D'INGENIEUR EN SCIENCES DE LA MER
OPTION : AMENAGEMENT DU LITTORAL

Thème:

**Etude hydrosédimentaire du rivage de khemisti :
Application de la modélisation numérique en domaine bidimensionnel par
un progiciel de calcul MIKE 21**

Présenté par :

- M^{elle} **Belaidi Safia**
- M^{elle} **Hamdous Yasmina**

Soutenu le 13/07/2016 devant le jury suivant :

Pr. Bachari- Houma Fouzia	(professeur-ENSSMAL)	Présidente
Pr. Belkessa Rabah	(Professeur-ENSSMAL)	Promoteur
M ^{elle} . Mouhoubi Nour el Iméne	(Ingénieur projet n°1-LEM)	Co-promotrice
Dr. Mezouar Khoudir	(Maître de conférences A-ENSSMAL)	Examinateur
Mr. Otmani Housseyn	(Maître assistant B-ENSSMAL)	Examinateur

Promotion : 2015/2016



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المدرسة الوطنية العليا للعلوم البحرية وتهيئة الساحل
Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
D'INGENIEUR EN SCIENCES DE LA MER
OPTION : AMENAGEMENT DU LITTORAL

Thème:

**Etude hydrosédimentaire du rivage de khemisti :
Application de la modélisation numérique en domaine bidimensionnel par
un progiciel de calcul MIKE 21**

Présenté par :

- M^{elle} **Belaidi Safia**
- M^{elle} **Hamdous Yasmina**

Soutenu le 13/07/2016 devant le jury suivant :

Pr. Bachari- Houma Fouzia	(professeur-ENSSMAL)	Présidente
Pr. Belkessa Rabah	(Professeur-ENSSMAL)	Promoteur
M ^{elle} . Mouhoubi Nour el Iméne	(Ingénieur projet n°1-LEM)	Co-promotrice
Dr. Mezouar Khoudir	(Maître de conférences A-ENSSMAL)	Examinateur
Mr. Otmani Housseyn	(Maître assistant B-ENSSMAL)	Examinateur

Promotion : 2015/2016

Remerciements

Louange à DIEU, le miséricordieux qui nous a incité à acquérir le savoir, c'est à lui que nous adressons en premier lieu toute notre gratitude.

Nous tenons à remercier vivement notre promoteur Mr BELKESSA Rabah professeur à l'ENSSMAL, pour avoir accepté de diriger et de suivre constamment le progrès de ce modeste travail et l'aide qu'il nous a apporté pour l'élaboration de ce mémoire.

Nous exprimons nos sincères remerciements à Melle MOUHOUBI Nour el Imène, pour avoir accepté d'être notre copromotrice et pour nous avoir permis d'effectuer ce stage de PFE au sein du laboratoire d'étude maritime. Nous la remercions également pour l'intérêt qu'elle a porté à ce travail et pour l'empressement qu'elle a manifesté à le voir aboutir.

Nous tenons également à remercier les agents travaillant au niveau de l'annexe des services maritimes de Bouharoun plus précisément le commandant Mr. Réda qui a mis à notre disposition un bateau nous permettant d'effectuer notre sortie en mer. Sans oublier l'équipage et le propriétaire du bateau qui ont collaboré pour la réussite de notre travail. Nous tenons à exprimer notre vive gratitude à tous nos professeurs de l'ENSSMAL, qui nous ont permis d'acquérir le niveau et les connaissances requises pour effectuer ce travail de recherche, ainsi qu'aux membres du jury qui nous feront l'honneur de juger notre travail.

Aussi nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Nous ne saurons terminer sans exprimer nos remerciements à tous les membres de nos familles pour leur soutien tout au long de cette année, en particulier nos très chers parents.

Je dédie ce modeste travail :

À la personne devant laquelle tous les mots de l'univers sont incapables d'exprimer mon amour et mon affection pour elle, à l'être qui m'est le plus cher, à ma douce mère. Mère si tu savais combien je t'aime.

À mon cher père qui a payé de vingt-trois années d'amour et de sacrifices, le prix de ma façon d'être et de penser. Père, par ces quelques lignes je te remercie d'avoir fait de moi une femme forte.

À ma chère sœur Anissa, une sœur exemplaire qui a toujours pu me consoler et me rendre le sourire dans les moments les plus difficiles. Chère sœur si tu savais à quelle point je t'admire.

À mon cher frère Hocine, frère par ta maturité et tes conseils t'as su être comme un grand frère pour moi, que dieu te protège.

À toute ma famille Hamdous et Hammouche, à mes chers grands parents que j'admire beaucoup, ainsi qu'à toutes mes tantes et tontons.

Yasmina

Je dédie ce modeste travail à :

À ma très chère mère Affable, honorable, aimable : Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi. Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études. Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu n'as cessé de me donner depuis ma naissance, durant mon enfance et même à l'âge adulte. Tu as fait plus qu'une mère puisse faire pour que ses enfants suivent le bon chemin dans leur vie et leurs études. Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.

À mon cher Père, aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour toi. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien-être. Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation.

À la plus belle chose qui me soit arrivée depuis mon enfance, mon très cher amour Idir qui m'a soutenu et qui a été la source d'encouragement et une poussée pour un avenir professionnel meilleur.

À mes chères sœurs, ainsi qu'à mes petits frères Farid et Karim que dieu les protège.

Safia

On tient à dédie ce modeste travail à nos chère amis ; Lounis, Adel, Yasmine, Lynda, Sabrina, Nawel, Ouzena ainsi qu'à tous les aménagistes de la promotion 2015/2016 et plein d'autre encore à qui on souhaite bonheur et réussite.

Table des matières

Table des matières :

Table des matières.....	04
Liste des acronymes.....	07
Liste des figures.....	08
Liste des photos et tableaux.....	13
Introduction générale.....	14

Chapitre I : Généralités

I.1 Description géographique et présentation de la zone d'étude.....	17
I.2 Étude bathymétrique.....	17
I.3 Cadre géologique.....	18
I.4 Cadre sédimentologique.....	19
I.5 Conditions Météorologiques.....	20
I.5.1 L'étude des vents.....	20
I.6 Conditions océanographiques.....	21
I.6.1 Les houles.....	21
I.6.1.1 Fréquence annuelle de la houle.....	21
I.6.1.2 Fréquence saisonnières de la houle.....	22
I.6.1.3 Conditions de houles retenues dans le cadre de notre étude.....	22
I.6.2 Les courants.....	23
I.6.3 La marée.....	24
I.7 Visite du site et reportage photographique.....	24

Chapitre II : Modélisation numérique du système hydro-sédimentaire du rivage khemisti

II.1 Introduction.....	28
II.2 Description du modèle de simulation MIKE.....	29
II.3 Les principales étapes de l'approche intégrée de la modélisation par le MIKE21.....	30

Partiel :

II.4 Cas de l'abri de pêche sans extension

II.4.1 Étude bathymétrique.....	33
II.4.2 Simulation numérique sur mike 21 Coupled Model/FM.....	35
II.4.2.1 Action des houles de direction Nord- Est (45°N).....	36
II.4.2.1.1 Réfraction de la houle (Spectral Wave, SW).....	36
II.4.2.1.2 Courantologie (Hydrodynamic, HD).....	36
II.4.2.1.3 Transport sédimentaire (Sand Transport, ST).....	37
II.4.2.2 Action des houles de direction Ouest (270°N).....	38
II.4.2.2.1 Réfraction de la houle (Spectral Wave, SW).....	38
II.4.2.2.2 Courantologie (Hydrodynamic, HD).....	39
II.4.2.2.3 Transport sédimentaire (Sand Transport, ST).....	39
II.4.2.3 Action des houles de la direction Nord-Ouest (315°N).....	40
II.4.2.3.1 Réfraction de la houle (Spectral Wave, SW).....	40
II.4.2.3.2 Courantologie (Hydrodynamic, HD).....	41

Table des matières

II.4.2.3.3 Transport sédimentaire (Sand Transport, ST).....	42
II.4.2.4 Action des houles de direction Nord (360°N).....	42
II.4.2.4.1 Réfraction de la houle (Spectral Wave, SW).....	42
II.4.2.4.2 Courantologie (Hydrodynamic, HD).....	43
II.4.2.4.3 Transport sédimentaire (Sand Transport, ST).....	44
II.4.2.5 Conclusion.....	45
Partie2 :	
II.5 Cas de l’abri de pêche avec extension	
II.5.1 Étude sédimentologique.....	47
II.5.1.1 Prélèvement des sédiments.....	47
II.5.1.2 Méthode d’analyse au laboratoire.....	48
II.5.1.2.1 Analyse de la fraction fine.....	48
II.5.1.2.2 Analyse de la fraction grossière.....	48
II.5.1.3 Résultats et discussion.....	49
II.5.1.3.1 Répartition spatiale de la fraction fine.....	49
II.5.1.3.2 Répartition spatiale de la fraction grossière.....	50
II.5.2 Étude bathymétrique.....	51
II.5.3 Simulation numérique sur mike 21 Coupled Model/FM.....	52
II.5.3.1 Action des houles de direction Nord- Est (45°N).....	53
II.5.3.1.1 Réfraction de la houle (Spectral Wave, SW).....	53
II.5.3.1.2 Courantologie (Hydrodynamic, HD).....	53
II.5.3.1.3 Transport sédimentaire (Sand Transport, ST).....	54
II.5.3.2 Action des houles de direction Ouest (270°N).....	55
II.5.3.2.1 Réfraction de la houle (Spectral Wave, SW).....	55
II.5.3.2.2 Courantologie (Hydrodynamic, HD).....	56
II.5.3.2.3 Transport sédimentaire (Sand Transport, ST).....	57
II.5.3.3 Action des houles de la direction Nord-Ouest (315°N).....	58
II.5.3.3.1 Réfraction de la houle (Spectral Wave, SW).....	58
II.5.3.3.2 Courantologie (Hydrodynamic, HD).....	58
II.5.3.3.3 Transport sédimentaire (Sand Transport, ST).....	59
II.5.3.4 Action des houles de direction Nord (360°N).....	60
II.5.3.4.1 Réfraction de la houle (Spectral Wave, SW).....	61
II.5.3.4.2 Courantologie (Hydrodynamic, HD).....	61
II.5.3.4.3 Transport sédimentaire (Sand Transport, ST).....	62
II.5.3.5 Conclusion.....	63

Chapitre III: L’étude d’impact de l’infrastructure portuaire sur la zone

III.1.Introduction.....	66
III.2 Étude comparative des résultats de la modélisation numérique du système hydro-sédimentaire du rivage Khemisti des deux cas étudiés.....	66
III.2.1 La réfraction de la houle.....	66
III.2.2 Les courants.....	67
III.2.3 Le transport sédimentaire.....	68

Table des matières

III.3 L'évolution de la morphologie sous-marine.....	68
III.4 L'évolution du trait de côte	70
III.4.1 variation de la ligne du trait de côte	70
III.4.2 Évaluation du taux d'évolution de la ligne du rivage.....	71
III.5 Étude de vulnérabilité côtière.....	74
III.5.1 Méthodologie.....	74
III.5.1.1 Choix des variables.....	75
III.5.1.2 Quantification et attribution d'un score pour chaque variable.....	75
III.5.1.2.a Géomorphologie.....	75
III.5.1.2.b La pente côtière.....	77
III.5.1.2.c Le taux de variation du trait de côte.....	79
III.5.1.2.d La vitesse de l'élévation relative du niveau de la mer.....	79
III.5.1.2.e Les amplitudes moyennes de la marée.....	80
III.5.1.2.f Les amplitudes moyennes de la houle.....	81
III.5.1.2 Calcul et représentation de l'indice de vulnérabilité côtière (CVI).....	82
III.6 Conclusion.....	84

Chapitre IV : Etude d'Aménagement et protection

IV.1 Introduction.....	86
IV.2 Proposition de variantes d'aménagement et de protection.....	86
IV.2.1 Variante 1.....	86
IV.2.1.1 Houles du secteur Ouest (N270°).....	87
IV.2.1.2 Houles du secteur Nord-Ouest (N315°).....	88
IV.2.1.3 Houles du secteur Nord (N360°).....	89
IV.2.1.4 Houles du secteur Nord-Est (N45°).....	90
IV.2.2 Variante 2.....	91
IV.2.2.1 Houles du secteur Ouest (N270°).....	92
IV.2.2.2 Houles du secteur Nord-Ouest (N315°).....	93
IV.2.2.3 Houles du secteur Nord (N360°).....	93
IV.2.2.4 Houles du secteur Nord-Est (N45°).....	93
IV.2.3 Variante 3.....	96
IV.2.3.1 Houles du secteur Ouest (N270°).....	97
IV.2.3.2 Houles du secteur Nord-Ouest (N315°).....	98
IV.2.3.3 Houles du secteur Nord (N360°).....	99
IV.2.3.4 Houles du secteur Nord-Est (N45°).....	100
IV.2.4 Variante 4.....	102
IV.3 Conclusion	103
Conclusion générale.....	104
Bibliographie.....	106
Annexes.....	108

Liste des acronymes

Liste des acronymes :

°C : Degré Celsius

Bathy : Bathymétrie

cm : Centimètre

CVI : Indice de Vulnérabilité Côtière

DHI: Danich Hyraulics Institut

DSAS : Digital Shoreline Analysis System

E : Est

ECOREP : Entreprise de Construction et de réparation Navale

ENSSMAL : Ecole National Supérieur des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral

g : gramme

G.P.S: Global Positioning System.

h : Heure

ha :hectare

HD: Hydrodynamic model

Hrms: hauteur significative

Km : Kilomètre

Kr : coefficient de réfraction

L : Longueur

LEM : Laboratoire d'étude maritime

m : Mètre

m/s : mètre par seconde

ml : Mètre linéaire

mm : millimètre

MWD: Mean Wave Direction

N : Nord

N.G.A : Niveau Général Algériens

N.N.O : Nord Nord Ouest.

NE : Nord Est

NW : Nord-Ouest

O : Ouest

ONM : Office National de la Météorologie

P : profil

PAC : Plan d'aménagement côtier

s : Seconde

SSE : Sud Sud Est

SSMO: Summary of Synoptic Meteorological Observations

ST: Sediment Transport

SW : Spectral Wave

t : tonne

T : Période

Topo : Topographie

Liste des figures :

Figure n°1 : Présentation du site d'étude.....	17
Figure n°2 : Bathymétrie en 2D de la baie de Bou Ismail (Surfer1).....	18
Figure n°3 : Carte morpho-géologique continentale de la baie de Bousmail et ses environs (données topographiques SRTM-3 et carte géologique d'Algérie au 1/500'000).....	18
Figure n°4: Carte sédimentaire de la baie de Bou-Ismaïl. (PAC, 2004).....	19
Figure n°5: Répartition annuelle des vents (%) dans la baie de Bou Ismail	20
Figure n°6 : Fréquences annuelle des houles (%) au large de Bou Ismail.....	21
Figure n°7 : Roses saisonnières de la houle dans la région de Bou Ismail.....	22
Figure n°8: Carte des courants au niveau du rivage de Khemisti.....	23
Figure n°9: Indexation des prises de photos sur une image Google Earth.....	24
Figure n°10: Présentation en 3 dimensions de l'abri de pêche, cas 1 (Réalisé à l'aide du progiciel Mike).....	28
Figure n°11: Présentation en 3 dimensions du port de pêche, cas 2 (Réalisé à l'aide du progiciel Mike).....	28
Figure n°12: Module MIKE 21 Flow Model (DHI , 2014).....	29
Figure n°13: Approche méthodologique de la modélisation par les codes MIKE-21.....	31
Figure n°14: Carte bathymétrique du site d'étude (1985) (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21.....	35
Figure n°15: Mesh file utilisé pour la simulation du premier cas (Réalisé par MIKE21).....	35
Figure n°16: Carte de répartition du champ de réfraction de la houle, MWD=45° ; Hrms=2,56m ; T=8s. (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	36
Figure n°17: Carte de répartition du champ des courants, MWD=45° ; Hrms=2,56m ; T=8s. (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	37
Figure n°18: Carte de répartition du flux sédimentaire, MWD=45° ; HS =2,56m ; T=8s. (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	38
Figure n°19: Carte de répartition du champ de réfraction de la houle, MWD=270° ; HS =2,67m ; T=8s. (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	38
Figure n°20: Carte de répartition du champ des courants, MWD=270° ; HS =2,67m ; T=8s. (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	39
Figure n°21: Carte de répartition du flux sédimentaire, MWD=270° ; HS =2,67m ; T=8s. (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	40
Figure n°22: Carte de répartition du champ de réfraction de la houle, MWD=315° ; HS =2,64m ; T=8s. (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	41
Figure n°23: Carte de répartition du champ des courants, MWD=315° ; HS =2,64m ; T=8s. (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	41
Figure n°24: Carte de répartition du flux sédimentaire, MWD=315° ; HS =2,64m ; T=8s. (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	42
Figure n°25: Carte de répartition du champ de réfraction de la houle, MWD=360° ; HS =2.67m ; T=8s. (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	43
Figure n°26: Carte de répartition du champ des courants, MWD=360° ; HS =2.67m ; T=8s. (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	44
Figure n°27: Carte de répartition du flux sédimentaire, MWD=360° ; HS =2.67m ; T=8s. (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	45

Figure n°28: Localisation des stations de prélèvement des échantillons de la partie sous-marine.....	47
Figure n°29: Carte de la répartition des pélites dans la région de Khemisti (2016).....	49
Figure n°30 : Carte de la répartition de la médiane (D50) dans la région de Khemisti (2016).	50
Figure n°31: Carte de répartition spatiale du décile supérieur (D95).....	50
Figure n°32: Situation des radiales pour l'étude bathymétrique dans la région de Khemisti.....	51
Figure n°33: Carte bathymétrique du site d'étude (2016) (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	52
Figure n°34: Mesh file utilisé pour la simulation du deuxième cas d'étude (Réalisé par MIKE21).....	52
Figure n°35: Carte de répartition du champ de réfraction de la houle, MWD=45° ; HS =2.56m ; T=8s. (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	53
Figure n°36: Carte de répartition du champ des courants, MWD=45° ; HS =2.56m ; T=8s. (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	54
Figure n°37: Carte de répartition du flux sédimentaire, MWD=45° ; HS =2,56m ; T=8s. (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	55
Figure n°38: Carte de répartition du champ de réfraction de la houle, MWD=270° ; HS =2.67m ; T=8s. (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	56
Figure n°39: Carte de répartition du champ des courants, MWD=270° ; HS =2,67m ; T=8s. (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	56
Figure n°40: Carte de répartition du flux sédimentaire, MWD=270° ; HS =2,67m ; T=8s. (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	57
Figure n°41: Carte de répartition du champ de réfraction de la houle, MWD=315° ; HS =2.64m ; T=8s. (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	58
Figure n°42: Carte de répartition du champ des courants, MWD=315° ; HS =2,64m ; T=8s. (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	59
Figure n°43: Carte de répartition du flux sédimentaire, MWD=315° ; HS =2,64m ; T=8s. (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	60
Figure n°44: Carte de répartition du champ de réfraction de la houle, MWD=360° ; HS =2.67m ; T=8s. (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	61
Figure n°45: Carte de répartition du champ des courants, MWD=360° ; HS =2.67m ; T=8s. (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	61
Figure n°46: Carte de répartition du flux sédimentaire, MWD=360° ; HS =2,67m ; T=8s. (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	62
Figure n°47: Carte du flux sédimentaire entrant à l'intérieur du port pour toutes les directions de houle.....	64
Figure n°48: Zoom sur l'abri de pêche (Réfraction de la houle N 315° , T 8s).....	66
Figure n°49: Zoom sur le port de pêche (Réfraction de la houle N 315° , T 8s).....	66
Figure n°50: Zoom sur l'abri de pêche (Champs des courants N 315° , T 8s).....	67
Figure n°51: Zoom sur le port de pêche (Champs des courants N 315° , T 8s).....	67
Figure n°52: Zoom sur l'abri de pêche (Flux sédimentaire N 315° , T 8s).....	67
Figure n°53: Zoom sur le port de pêche (Flux sédimentaire N 315° , T 8s).....	67

Figure n°54: Localisation des 6 profils transversaux a étudié, tracés sur la bathymétrie de 1985 et de 2016 (réalisée par le logiciel Mike 21).....	68
Figure n°55: Évolution du profil de la frange sous-marine : Cas du profil Ouest n°1.....	69
Figure n°56: Évolution du profil de la frange sous-marine : Cas du profil Ouest n°2.....	69
Figure n°57: Évolution du profil de la frange sous-marine : Cas du profil Centre n°3.....	69
Figure n°58: Évolution du profil de la frange sous-marine : Cas du profil Est n°4.....	69
Figure n°59: Évolution du profil de la frange sous-marine : Cas du profil Est n°5.....	69
Figure n°60: Évolution du profil de la frange sous-marine : Cas du profil Est n°6.....	69
Figure n°61: Carte d'évolution de la ligne du rivage dans la région de Khemisti durant les années 1958, 2009, 2016 (réalisée à l'aide d'ARCGIS).....	71
Figure n°62: Taux d'évolution du rivage (réalisé par Arcgis).....	74
Figure n°63: Carte de vulnérabilité côtière selon la variable géomorphologie.....	77
Figure n°64: Carte topo-bathy de khemisti (réalisée à l'aide du logiciel Surfer).....	77
Figure n°65: Profil d'élévation correspondant à la 1 ^{ère} cellule (Réalisé à l'aide de Surfer).....	78
Figure n°66: Carte de vulnérabilité côtière selon la variable Pente côtière.....	78
Figure n°67: Carte de vulnérabilité côtière selon la variable taux de variation du trait de côte.....	79
Figure n°68: Carte de vulnérabilité côtière selon la variable élévation relative du niveau de la mer.....	80
Figure n°69: Carte de vulnérabilité côtière selon la variable amplitude moyennes de la marée.....	80
Figure n°70: Exemple d'extraction des hauteurs significatives des houles pour la direction.....	81
Figure n°71: Carte de vulnérabilité côtière selon la variable amplitude moyennes des houles.....	81
Figure n°72: Courbe des fréquences cumulées en fonction des centres de classe.....	83
Figure n°73: Carte de vulnérabilité côtière du rivage de Khemisti.....	83
Figure n°74: Plan de masse de la variante 1 présenté en deux dimensions.....	86
Figure n°75: Représentation de la variante 1 en trois dimensions.....	86
Figure n°76: Carte de répartition des champs de réfraction de la houle, MWD=270° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante1 (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	87
Figure n°77: Carte de répartition du champ des courants, MWD=270° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante1 (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	87
Figure n°78: Carte de répartition du flux sédimentaire, MWD=270° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante1 (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	87
Figure n°79: Carte de répartition des champs de réfraction de la houle, MWD=315° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante1 (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	88
Figure n°80: Carte de répartition du champ des courants, MWD=315° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante1 (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	88
Figure n°81: Carte de répartition du flux sédimentaire, MWD=315° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante1 (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	88
Figure n°82: Carte de répartition des champs de réfraction de la houle, MWD=360° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante1 (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	89

Figure n°83: Carte de répartition du champ des courants, MWD=360° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante1 (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	89
Figure n°84: Carte de répartition du flux sédimentaire, MWD=360° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante1 (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	89
Figure n°85: Carte de répartition des champs de réfraction de la houle, MWD=45° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante1 (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	90
Figure n°86: Carte de répartition du champ des courants, MWD=45° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante1 (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	90
Figure n°87: Carte de répartition du flux sédimentaire, MWD=45° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante1 (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	90
Figure n°88: Plan de masse de la variante 2 présenté en deux dimensions.....	91
Figure n°89: Représentation de la variante 2 en trois dimensions.....	91
Figure n°90: Carte de répartition des champs de réfraction de la houle, MWD=270° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante2 (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	92
Figure n°91: Carte de répartition du champ des courants, MWD=270° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante2 (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	92
Figure n°92: Carte de répartition du flux sédimentaire, MWD=270° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante2 (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	92
Figure n°93: Carte de répartition des champs de réfraction de la houle, MWD=315° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante2 (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	93
Figure n°94: Carte de répartition du champ des courants, MWD=315° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante2 (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	93
Figure n°95: Carte de répartition du flux sédimentaire, MWD=315° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante2 (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	93
Figure n°96: Carte de répartition des champs de réfraction de la houle, MWD=360° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante2 (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	94
Figure n°97: Carte de répartition du champ des courants, MWD=360° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante2 (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	94
Figure n°98: Carte de répartition du flux sédimentaire, MWD=360° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante2 (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	94
Figure n°99: Carte de répartition des champs de réfraction de la houle, MWD=45° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante2 (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	95
Figure n°100: Carte de répartition du champ des courants, MWD=45° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante2 (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	95
Figure n°101: Carte de répartition du flux sédimentaire, MWD=45° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante2 (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	95
Figure n°102: Plan de masse de la variante 3 présenté en deux dimensions.....	96
Figure n°103: Représentation de la variante 3 en trois dimensions.....	96
Figure n°104 : Carte de répartition des champs de réfraction de la houle, MWD=270° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante3 (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	97
Figure n°105 : Carte de répartition du champ des courants, MWD=270° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante3 (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	97
Figure n°106 : Carte de répartition du flux sédimentaire, MWD=270° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante3 (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	97

Figure n°107 : Carte de répartition du champ de réfraction de la houle, MWD=315° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante3 (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	98
Figure n°108 : Carte de répartition du flux sédimentaire, MWD=315° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante3 (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	98
Figure n°109 : Carte de répartition du champ des courants, MWD=315° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante3 (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	98
Figure n°110 : Carte de répartition des champs de réfraction de la houle, MWD=360° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante3 (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	99
Figure n°111 : Carte de répartition du champ des courants, MWD=360° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante3 (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	99
Figure n°112 : Carte de répartition du flux sédimentaire, MWD=45° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante3 (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	99
Figure n°113 : Carte de répartition des champs de réfraction de la houle, MWD=45° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante3 (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	100
Figure n°114 : Carte de répartition du champ des courants, MWD=45° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante3 (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	100
Figure n°115 : Carte de répartition du flux sédimentaire, MWD=45° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante1 (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	100
Figure n°116 : Schéma représentatif de la variante 3 combiné avec l'implantation des récifs artificiels.....	101
Figure n°117 : Principe de fonctionnement du by-passing hydraulique dans la région de Khemisti.....	102

Liste des photos et tableaux

Liste des photos :

Photos n°1: Constat de la surcharge du port de pêche.....	25
Photos n°2: Ensablement du port.....	25
Photos n°3: Passe d'entrée actuelle du port de pêche.....	25
Photos n°4: Ancienne passe d'entrée de l'abri de pêche.....	25
Photos n°5: Vue sur la jetée principale du port.....	26
Photos n°6: Vue sur une jetée du port et sur un bassin confiné et ensablé.....	26
Photos n°7: Vue de la plage vers l'Est du port	26
Photos n°8: Vue vers l'Est du port, un rejet d'eau usée.....	26
Photos n°9: Prélèvement à l'aide de la benne Van Veen.....	47
Photos n°10: pesage de sédiment.....	48
Photos n°11: Lavage à l'eau du robinet.....	48
Photos n°12: Tamiseuse AFNOR.....	48
Photos n°13: Pesé des échantillons.....	48
Photos n°14: Sondeur mono-faisceau.....	51
Photos n°15: GPS de poche Garmin	51
Photos n°16: Photo présentant la partie ouest du port de Khemisti.....	76
Photos n°17: Photo présentant la partie ouest du port de Khemisti.....	76
Photos n°18: Photo présentant la partie Est du port de Khemisti.....	76
Photos n°19: Photo présentant la partie Est du port de Khemisti.....	76
Photos n°20: Photographie présentant la partie EST.....	76
Photos n°21: Photographie présentant la partie Ouest.....	76

Liste des tableaux :

Tableau n°1 : Répartition annuel des vents (station de Bou-Ismaïl, LEM, 1956-1960).....	22
Tableau n°2 : Données moyennes des houles obtenus par direction et par période de la houle annuelle à -10.00m.....	45
Tableau n°3 : Données moyennes des houles obtenus par direction et par période de la houle annuel à -10.00m.....	63
Tableau n°4 : Bilan des taux d'érosion et d'accumulation du littoral de Khemisti entre 1958 et 2016.....	73
Tableau n°5 : Les six variables physiques utilisées pour la détermination de l'index côtier de vulnérabilité (d'après THIELER & HAMMAR-KLOSE , 2001).....	75
Tableau n°6: Détermination des classes de CVI et calcul des fréquences cumulées.....	82
Tableau n°7 : Classes des risques.....	83
Tableau n°8 : Tableau de comparaison entre la superficie et la flottille du port actuel et du port projeté.....	96

Introduction générale:

Dans la zone littorale, des quantités importantes de sable sont transportées sous l'action de la houle et des courants, Quand les vagues atteignent la côte et déferlent sur la plage, elles génèrent des courants côtiers qui mettent en mouvement les sédiments les transportant ainsi suivant le sens dominant de ces courants, c'est ce qu'on appelle les transits littoraux.

Actuellement ce transit connaît une perturbation intense dans plusieurs régions côtières du monde, Il est bien évident, que la plus part de ces modifications sont liées à l'action anthropique, telles que la réalisation des aménagements hydrotechniques sans tenir compte du régime marin et des interactions avec les différents facteurs physique qui s'effectue dans la zone de swash. Il est donc primordial de prévoir l'évolution du transit sédimentaire notamment la détection des zones d'érosion et de dépôt au niveau du rivage, afin d'apporter une solution à ce déséquilibre côtier.

Avant toute action, il convient d'appréhender au mieux le fonctionnement des milieux littoraux, par le recours à la modélisation numérique du domaine et des phénomènes naturels concernés. Ceci permettra d'aider le prestataire à réaliser une simple expertise, à mieux comprendre, décrire et quantifier les processus en jeu et éventuellement à tester sommairement les solutions proposées.

Dans le cas de notre étude, on optera pour l'utilisation d'un modèle utilisé en mode bidimensionnel, qui permet de mettre en interaction à la fois l'hydrodynamisme, la courantologie et le transport sédimentaire. Ce modèle concerne le progiciel MIKE21 développé par le *Danish Hydraulic Institute* (DHI-software). Donc notre principal objectif consiste à étudié le système hydro-sédimentaire sur la base de ce modèle numérique au niveau du rivage de Khemisti. A partir du quelle on pourra déceler l'impact de l'extension de l'abri de pêche et par la suite établir des scénarios d'aménagements et de protection.

Dans cette optique nous avons cerné cette étude en quatre chapitres :

Le premier chapitre présente un état des connaissances sur la zone d'étude, à savoir énumérer ses principales caractéristiques géomorphologique, sédimentologique, météorologiques et océanographique.

Dans le deuxième chapitre, nous allons modéliser les phénomènes physiques régnant sur le site d'étude, ceci pour deux cas, cas de l'abri de pêche sans extension et celui du port actuel. Dans cette partie, il est question de visualiser l'évolution hydro sédimentaire que le rivage de Khemisti a subit après l'extension.

Dans le troisième chapitre on va effectuer une comparaison entre les résultats des deux simulations numériques réalisée dans le chapitre 2 ; à savoir l'étude de la réfraction de la houle, les courants et le transport sédimentaire sur le site en question. Cela nous permettra de mettre en évidence l'impact de l'extension de l'infrastructure portuaire sur le port en lui-même, ainsi que sur l'évolution et la dynamique de la morphologie sous-marine ainsi que celle du trait de côte. Par la suite nous allons déterminer le degré de risque de chaque segment du trait de côte, en utilisant l'indice de vulnérabilité côtière « CVI ».

Le dernier chapitre, consiste en une deuxième application des codes de calcul de Mike21, nous avons examiné par une modélisation numérique sur la base d'études d'alternatives de variantes de protection qui permettront d'atténuer l'action des houles et des courants qui par la suite protégeront le port contre le phénomène d'ensablement d'une part et le rivage contre l'érosion d'autre part, par un examen du processus Hydro- Sédimentaire. A la lumière de cette étude, nous allons dégager une variante optimale technique et économique, celle-ci permettra d'assurer l'équilibre du transit sédimentaire au voisinage de l'aménagement hydraulique. Ainsi qu'un développement durable de l'écosystème local.

Finalement, nous terminerons par une conclusion générale, où nous présenterons au vu de nos résultats les enseignements acquis ainsi que les perspectives relatives à l'amélioration du système hydro sédimentaire du rivage de Khemisti.

CHAPITRE I
GENERALITES

I.1. Description géographique et présentation de la zone d'étude :

Khemisti est une commune située au nord-Est de la wilaya de Tipaza au niveau de la baie de Bou Ismail, à environ 50 km au sud-ouest d'Alger et à environ 35 Km du chef-lieu de Tipaza.

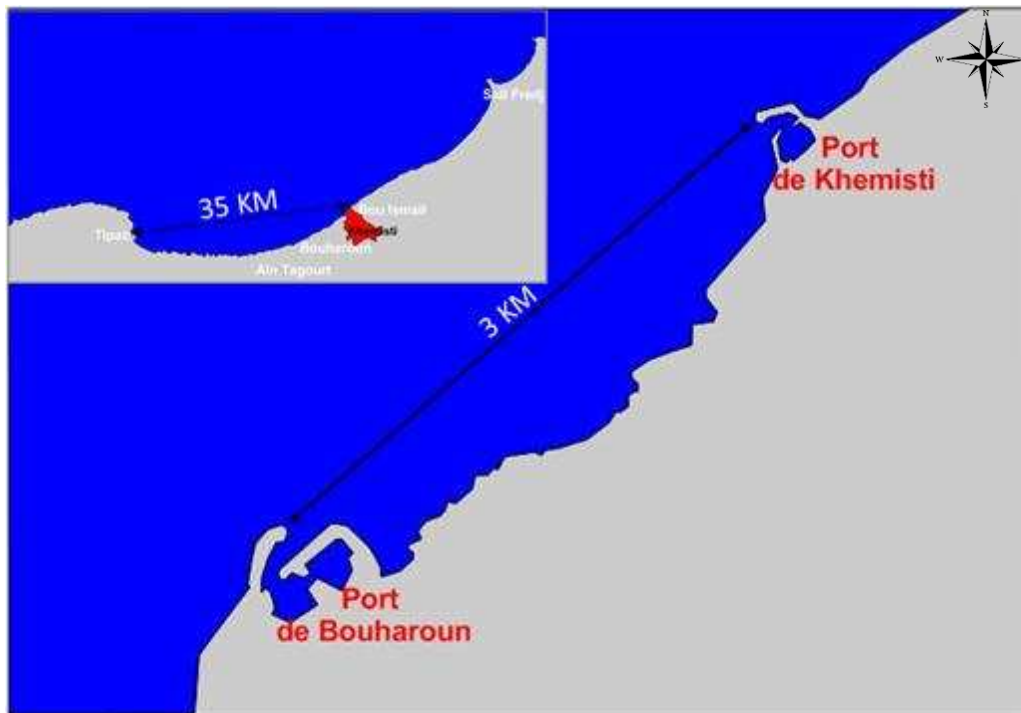


Figure n°1: Présentation du site d'étude

Le port de pêche de Khemisti (ex Chiffalo) fait partie de la commune de Khemisti, accessible par une petite route qui descend de la route nationale reliant Alger à Tipaza et se trouve à 3 Km à l'Est du port de Bou Haroun.

I.2. Étude bathymétrique :

La profondeur des fonds marins est considérée comme étant une donnée de base pour la modélisation hydro sédimentaire dans les zones côtière. L'étude bathymétrique est une étape indispensable dans le diagnostic et la résolution de plusieurs problèmes liés à la mobilisation des fonds marins, tels que l'ensablement des ports.

Afin de comprendre la morphologie sous-marine de notre zone d'étude, on a débuté par la réalisation de la carte bathymétrique à grande échelle (Baie de Bousmail), ceci à partir de la digitalisation de la carte marine publié par le service hydrographique des forces navales (1979).

LA carte bathymétrique obtenue (**Figure n° 2**) montrent la présence de l'isobathe de 200m qui est considérée généralement comme la limite de la marge continentale Algérienne et le domaine de plaines abyssales, sa largeur moyenne est de 24km, elle atteint 55 km au maximum dans la baie de Bou Ismail. Le plateau continental, étant très étroit, atteint un maximum de 13 Km au niveau de Mont Chenoua et un minimum de 3Km entre Sidi Fredj et Ras Acrata (Jusqu'à Alger).

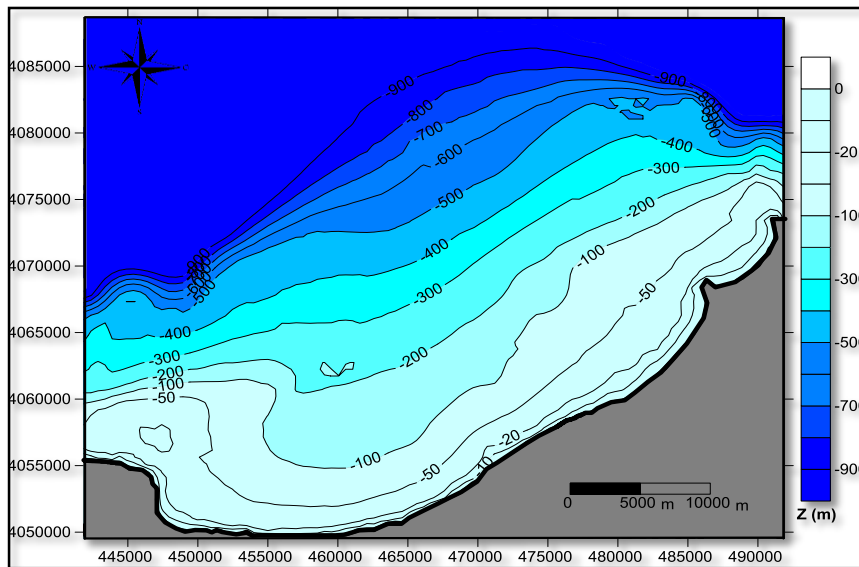


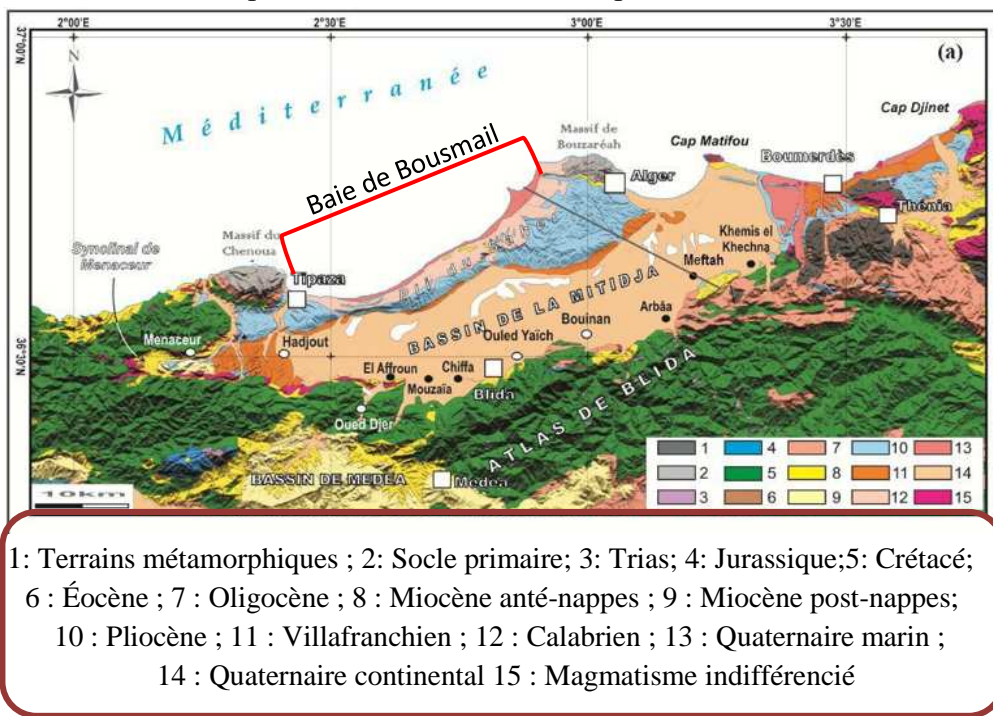
Figure n°2: Bathymétrie en 2D de la baie de Bou Ismail (Surfer11)

- Dans la suite de notre travail, on étudiera la bathymétrie locale du site d'étude pour deux cas différents, le cas de 1985 où l'abri de pêche n'avait pas d'extension et le cas actuel où l'abri de pêche est réaménagé en port de pêche (avec extension).

I.3.Cadre géologique:

La connaissance de la géologie et la géomorphologie locale d'un site permet de définir sa sensibilité face aux agressions marine.

En effet, l'aspect géologique et géomorphologique apporte un complément indispensable dans le diagnostic de la zone d'étude, ce dernier réalisé en vue d'apporter des éléments des réponses sur les différents phénomènes d'érosion susceptibles d'être observé sur la zone.



1: Terrains métamorphiques ; 2: Socle primaire; 3: Trias; 4: Jurassique; 5: Crétacé; 6 : Éocène ; 7 : Oligocène ; 8 : Miocène anté-nappes ; 9 : Miocène post-nappes; 10 : Pliocène ; 11 : Villafranchien ; 12 : Calabrien ; 13 : Quaternaire marin ; 14 : Quaternaire continental 15 : Magmatisme indifférencié

Figure n°3 : Carte morpho-géologique continentale de la baie de Bousmail et ses environs (données topographiques SRTM-3 et carte géologique d'Algérie au 1/500'000)

- Le faciès du quaternaire marin est largement représenté tout le long du littoral de la baie de Bousmail, cependant à l'Ouest de la baie (au niveau de la région de Tipaza) on retrouve du calabrien et non du quaternaire marin. Ce dernier présente une succession de couches qui commence par des calcaires coquilliers (lumachelles), ensuite des grès, des dépôts de plages (atteignant 10m d'épaisseur) et enfin des dépôts dunaires qui forment les terrasses les plus récentes avec une trentaine de mètres d'épaisseur (Dagorne,1970,p20).
- La géologie de la zone étudiée classe le site comme très vulnérable, du fait que sa nature géologique montre qu'il est principalement constituée de roches friables facilement érodable.

I.4.Cadre Sédimentologique :

L'analyse des sédiments de la baie de Bou-Ismaïl a permis de mettre en évidence la grande diversité sur le plan sédimentaire des fonds de cette baie, neuf faciès sont identifiés : les sables fins, les sables fins envasés, les vases sableuses, les sables graveleux, les graviers envasés, les sables grossiers et fins graviers, les vases pures, le faciès rocheux (Figure 4), (Grimes, 2010,p17).

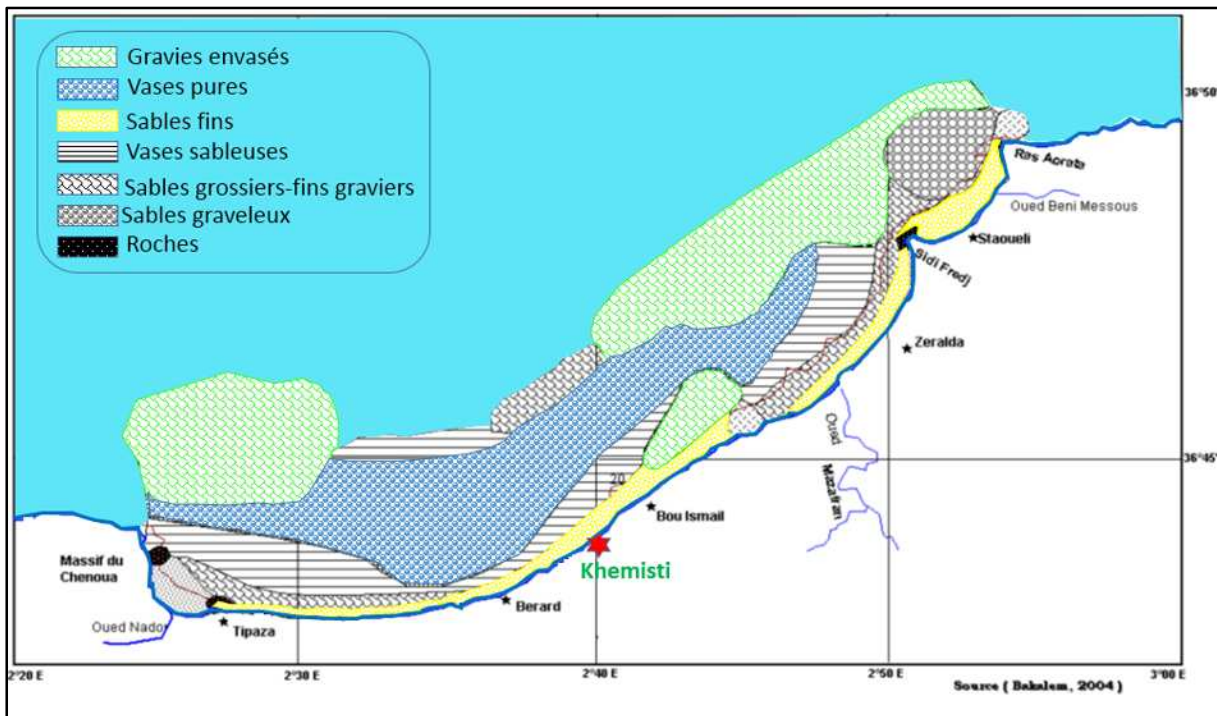


Figure n°4: Carte sédimentaire de la baie de Bou-Ismaïl. (PAC, 2004).

L'importance et la répartition de ces faciès n'est pas identique en tout point de la baie ; ainsi deux régions apparaissent : la région Est ou orientale et la région Ouest ou occidentale. Chaque région présente des caractéristiques sédimentologiques propres, fait déjà signalé par Dagorne (1973). Les vases pures et les graviers envasés sont les faciès dominants de la baie de Bou-Ismaïl. Les vases sont très développées dans la région Ouest et forment ainsi une importante vaseuse littorale, tandis que les graviers envasés le sont dans la région Est. Le faciès des sables grossiers et des fins graviers, le faciès des sables graveleux n'est présent que dans la région orientale; les sables graveleux se limitent au secteur oriental.

- Notre zone d'étude est caractérisée par un faciès sédimentaire de type ; sables fins près de la côte et vase sableuse, vases pures en allant vers le large.

I.5. Conditions Météorologiques:

I.5.1. L'étude des vents :

Les vents sont générateurs de vagues et de courants, leur impact croît avec leur vitesses, lorsque l'action des vents est continue, elle génère des houles.

L'analyse du régime des vents est effectuée à partir de 2 sources de données météorologiques :

- ✓ La station de Bou-Ismaïl pour la période (1956-1960) ;
- ✓ Les observations faites au large des côtes algériennes entre 37° et 40° de latitude Nord et 0° et 5° de longitude Est, par l'US Naval Werther Service (SSMO) pour la période (1914-1970).

A) Observation des vents locaux (donnée de la station météorologique de Bou-Ismaïl de 1956 à 1960) :

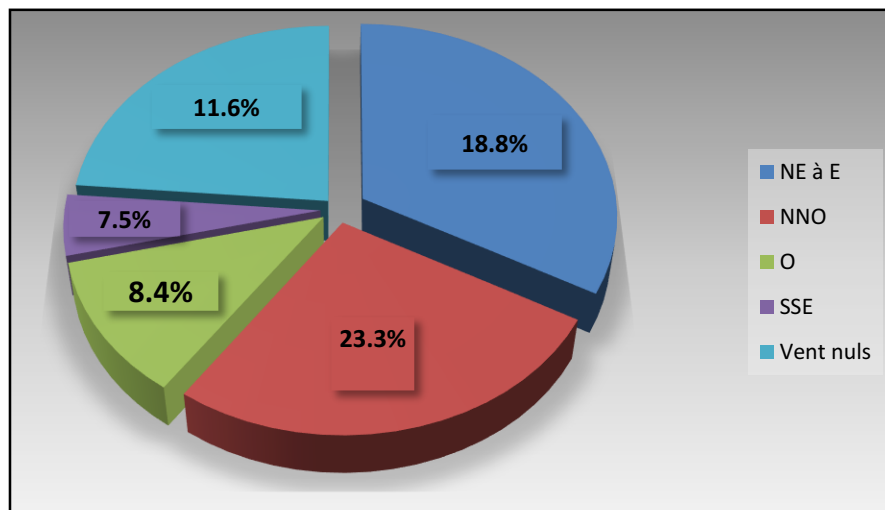


Figure n°5: Répartition annuelle des vents (%) dans la baie de Bou Ismaïl

Selon le diagramme répartition annuelle des vents ci-dessus on remarque que pour les cinq années d'observations les vents des secteurs **Nord – Nord-Ouest et Nord – Est** prédominent par rapport aux autres secteurs.

B) Observations des vents au large (données de S.S.M.O de 1914 à 1970) :

Les résultats des observations du vent effectuées au large des côtes algériennes, sont rapportés sous forme de roses de vents pour chaque trimestre et pour toute l'année ces données montrent, que :

- pendant le 4^{ème} et le 1^{er} trimestre, les vents des secteurs Ouest et Sud-Ouest sont dominants et qu'une grande partie de ces vents présentent une vitesse supérieure à 8 m/sec.

- Pour les 2^{ème} et 3^{ème} trimestres, on n'observe que les vents d'Est et N. Est dominant, mais la majorité de ceux-ci sont des vents faible.
- C'est les vents du secteur Ouest à N.O qui sont défavorables pour le port.

I.6. Condition océanographiques :

I.6.1. Les houles :

C'est un paramètre hydrodynamique défini comme étant une oscillation de la partie superficielle du plan d'eau. Il dépend directement des vents et joue un rôle important dans la zone de déferlement.

La connaissance des caractéristiques de la houle : direction, amplitude, réfraction, etc. permet de comprendre les déplacements sédimentaire dans la zone de déferlement, le volume et les sens du transit littoral en fonction de leur incidence à la côte.

Ces caractéristiques conditionnent le dimensionnement de l'ouvrage de protection de la côte ainsi que son implantation. (Viguié, 1992).

- Le principe de l'analyse de la houle au large est basé sur les observations faites par le SSMO, (Summary of Synoptic Meteorological Observations), à bord des navires, s'étalant sur une période de 8 ans (1963 à 1970), et qui couvrent un secteur qui se situe en longitude Est de 2° à 5° en latitude Nord de 36.5° à 38°.

I.6.1.1. Fréquence annuelle de la houle :

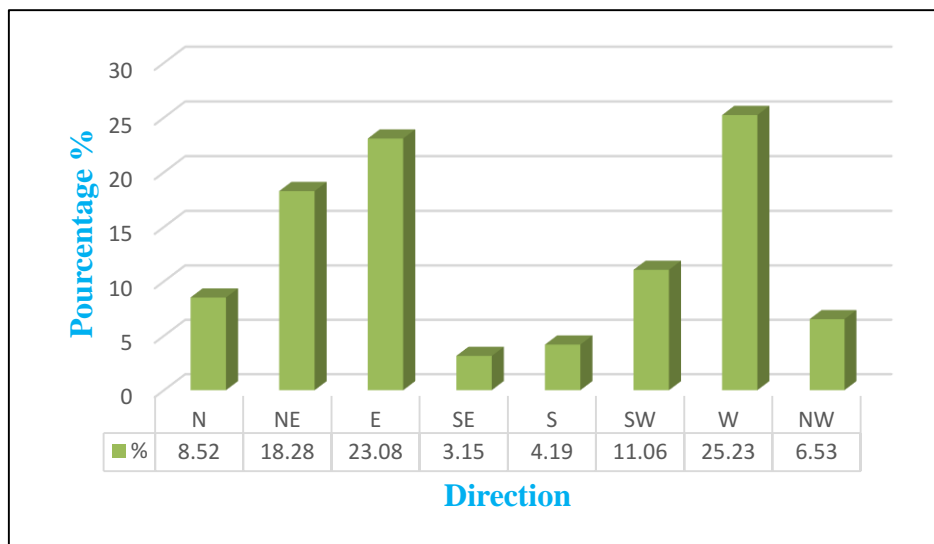


Figure n°6 : Fréquences annuelle des houles (%) au large de Bou Ismail

- Les houles les plus fréquemment observées appartiennent aux secteurs Ouest, Est et Nord Est.
- La fréquence d'observations sur l'année des houles d'Est et d'Ouest sont sensiblement identiques, avec toutefois une légère prédominance du secteur Ouest. Les houles de tempêtes proviennent essentiellement de ce secteur Ouest.
- Pour le secteur Nord et Nord-Ouest, les fréquences d'apparitions sont faibles.
- Les fréquences d'observation des houles du Sud Est et Sud sont les plus faibles.

I.6.1.2. Fréquences saisonnières de la houle:

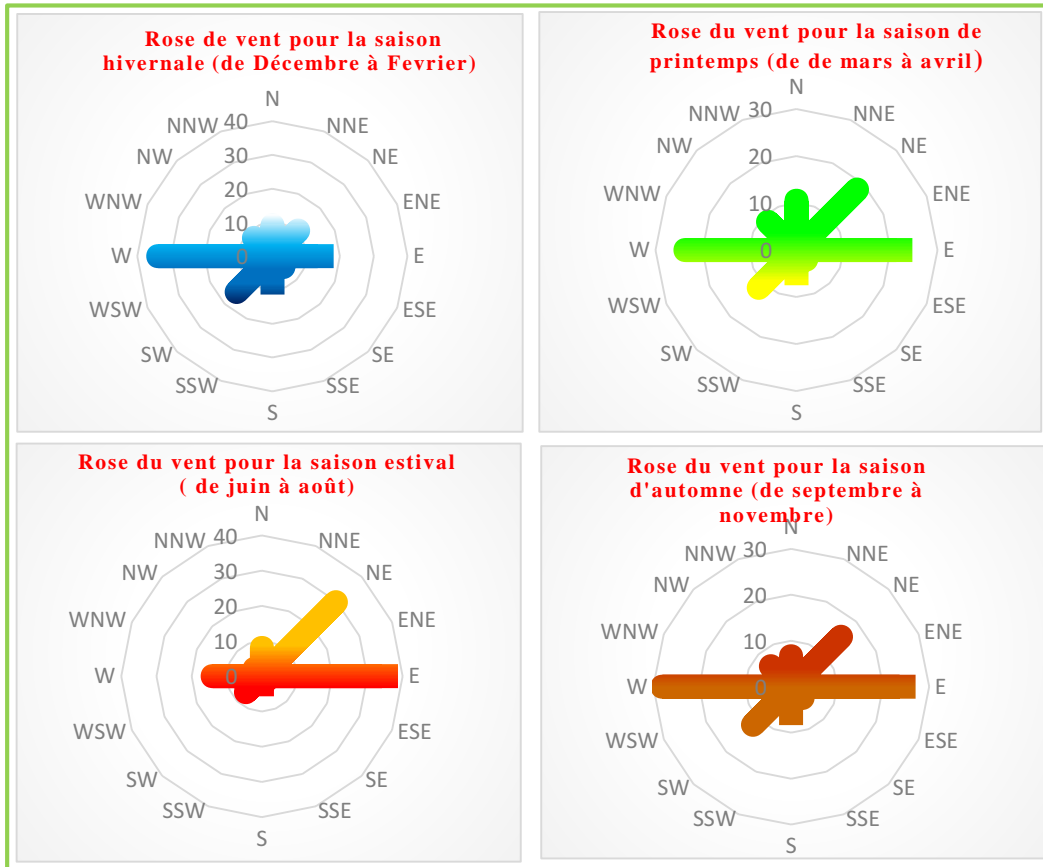


Figure n°7 : Roses saisonnières de houle dans la région de Bou Ismail

- En été, les houles d’Est et du Nord-Est prédominent, par contre en hiver c’est les houles d’Ouest qui prédominent.
- Pour les saisons de printemps et d’automne c’est les houles d’Ouest d’Est et de Nord-Est qui prédominent, cependant c’est les houles d’Ouest qui sont les plus importantes.
- Pour les houles du secteur Nord, elles ont une répartition assez régulière durant l’année (pour toutes les saisons).

I.6.1.3. Conditions de houles retenues dans le cadre de notre étude :

Pour la génération des simulations, nous avons adopté quatre (04) classes de houles les plus fréquentes et les plus importantes, leurs effets étant prédominants.

Le tableau ci-dessous donne les caractéristiques de ces houles (hauteur, période et direction).

Tableau n°01: caractéristique des houles annuelles retenues

Période	Direction de la houle au large			
	N 45°	N 360°	N 315°	N 270°
6 s	Hs = 1.09 m	Hs = 1.00 m	Hs = 1.10 m	Hs = 1.19 m
8 s	Hs = 2.56 m	Hs = 2.67 m	Hs = 2.64 m	Hs = 2.67 m
10s	Hs = 5.05 m	Hs = 4.92 m	Hs = 4.53 m	Hs = 5.54 m

I.6.2. Les courants :

Le courant dominant au large de Bou Ismail est d'origine Atlantique : c'est le courant Algérien, il pénètre dans la Méditerranée par le détroit de Gibraltar sous forme d'une couche superficielle de 150m d'épaisseur et d'une largeur de 50 Km, il longe les côtes algérienne allant vers l'Est, il donne naissance à des tourbillons anticycloniques de 100km de diamètre (Milot, 1985 in Boualili, 2015, p42).

Au niveau du rivage de Khemisti les courants sont engendré par les houles de direction Nord, Nord- Est, Ouest et Nord- Ouest :

- Les houles du secteur Nord-Est d'incidence oblique engendrent une dérive littorale de direction Est- Ouest.
- Les houles de direction Nord-Ouest entraînent un courant de retour du fait qu'elles arrivent perpendiculairement au rivage.
- Les houles de direction Ouest arrivent obliquement engendrant une dérive littorale ouest –Est.

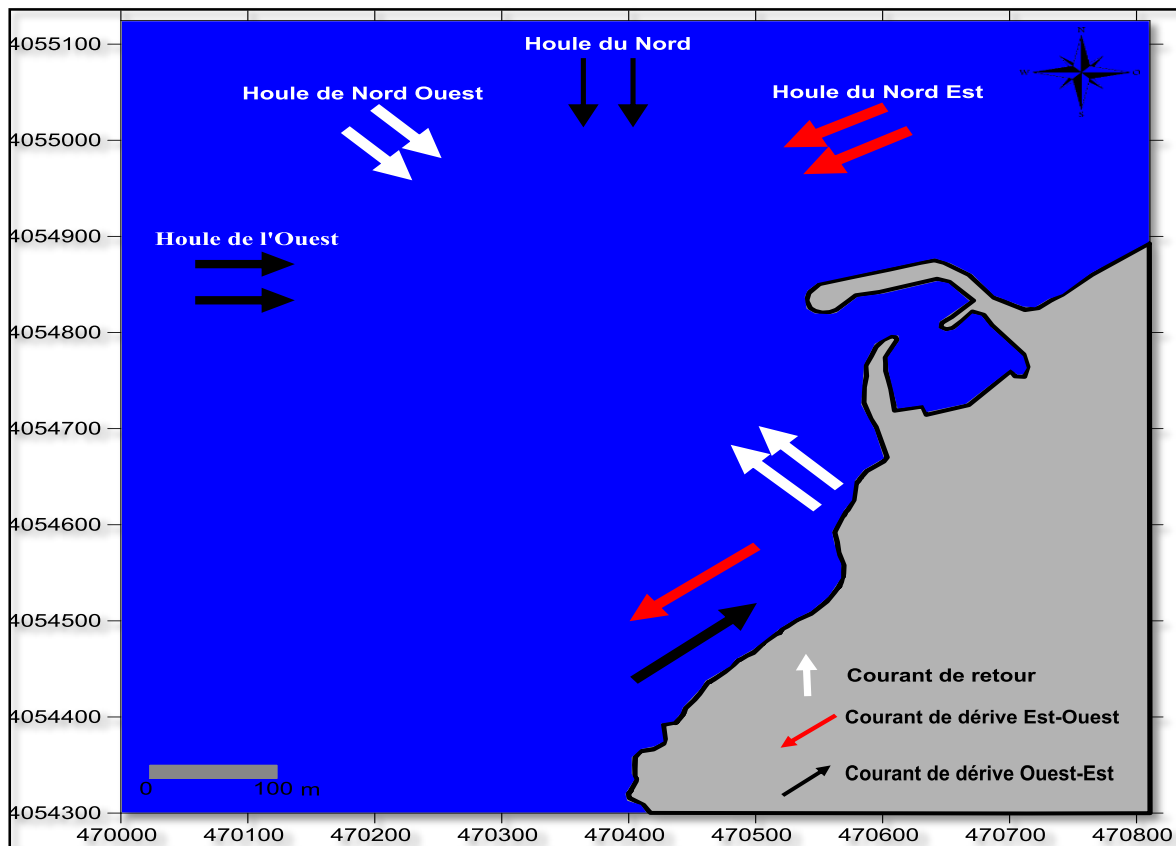


Figure n°8: Carte des courants au niveau du rivage de Khemisti

- Ces courants sont responsables de l'état dynamique des sédiments (érosion, transport et sédimentation), en effet les courants de retour transportent les sédiments vers le large et les deux courants de dérive littorale influencent largement le dépôt et l'érosion des sédiments ; Les houles d'Ouest sont plus dominante que les houles de Nord-Ouest au niveau de la zone de khemisti, le courant de dérive Ouest-Est est donc plus important que le courant Est-Ouest ce qui transporte une quantité plus importante de sédiments vers l'Est dans la direction du port.

I.6.3. La marée:

Bien que la marée soit faible sur la côte Algérienne, elle dépasse rarement les 35cm avec des périodes d'environ 12h à 24h, et que notre littoral soit de type microtidal, il est recommandé de prendre en considération ce marnage surtout pour les zones à pente douce car ceci conduit à une amplification des phénomènes d'inondation.

On estime les niveaux de la mer à Khemisti par rapport au zéro N.G.A comme suit :

- Niveau maximal est de : **+0.60 (N.G.A)**.
- Moyenne des hautes mers de vive eau est de : **+0.10 (N.G.A)**.
- Moyenne des basses mers de vive eau est de : **-0.10 (N.G.A)**.
- La plus basse mer est de : **-0.34 (N.G.A)**.

I.7. Visite du site et reportage photographique :

Le 21/02/2016 une première visite sur le site d'étude au niveau du port et la plage Est de Khemisti a été effectuée.

Cette visite avait pour objectif d'étudier l'état des lieux de point de vue hydrosédimentaire, mais aussi d'observer l'impact du port sur la plage Est de Khemisti.

La visite s'est déroulée comme suit :

- Inspection visuelle de la zone d'étude.
- Entretien avec les pêcheurs.
- Prise de photos.



Figure n°9 : Indexation des prises de photos sur une image Google Earth



Photos n°1 : Constat de la surcharge du port de pêche



Photos n°2 : Ensablement du port



Photo n°3 : Passe d'entrée actuelle port de pêche



Photo n°4 : Ancienne passe d'entrée de l'abri de pêche

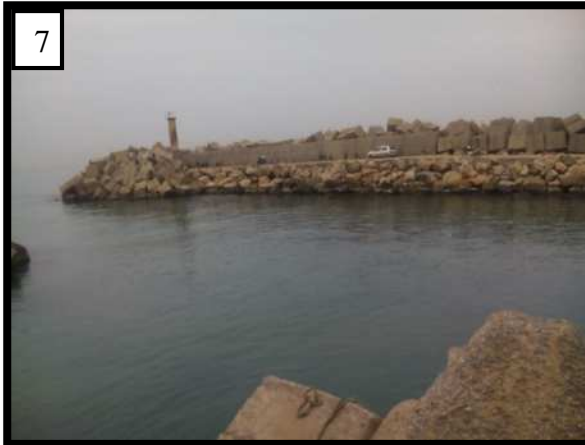


Photo n°5 : Vue sur la jetée principale du port

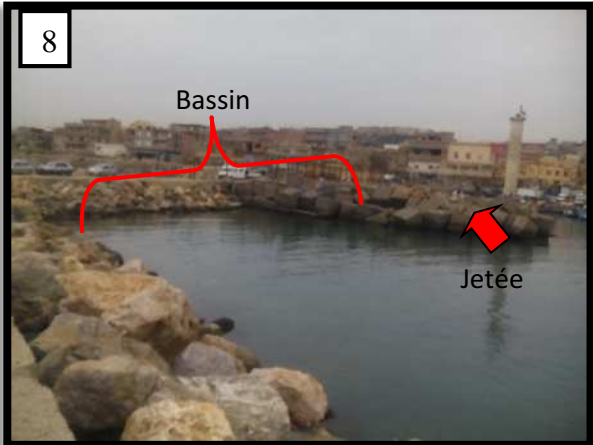


Photo n°6 : Vue sur une jetée du port et sur un bassin confiné et ensablé



Photo n°7: Vue de la plage vers l'Est du port



Photo n°8 : Vue vers l'Est du port, un rejet d'eau usée

CHAPITRE II

**MODELISATION NUMERIQUE DU
SYSTEME HYDRO-SEDIMENTAIRE**

II.1.Introduction :

Afin d'étudier le système hydro-sédimentaire du rivage de Khemisti, nous allons modéliser les phénomènes physiques régnant sur le site d'étude, ceci pour deux cas (**Figure 10 et 11**) :

Le 1^{er} cas correspond à l'année 1985 (abri de pêche sans extension) où l'abri de pêche de Khemisti avait pour principal rôle de recevoir les embarcations appartenant aux pêcheurs habitants Khemisti- ville, cependant après la mise en œuvre d'une unité ECOREP, spécialisée dans la construction de bateaux de type petits-métiers et sardiniers, l'absence d'espace ainsi que la mauvaise protection de la passe d'entrée contre les effets de la houle préoccupait les responsables de l'unité ECOREP et les pêcheurs. C'est pour cela qu'une étude d'aménagement et de protection de cet abri de pêche a été effectuée au niveau du laboratoire d'étude maritime en 1985 où des variantes d'aménagement et de protection ont été proposées qui pourront subvenir aux besoins d'ECOREP en premier lieu et aux besoins des pêcheurs habitant Khemisti en deuxième lieu. Donc dans cette 1^{ère} partie de ce chapitre, on va réétudier l'aspect hydro sédimentaire de la zone de Khemisti.

Le second cas correspond à l'état actuel (Port de pêche après l'extension), dans cette 2^{ème} partie du chapitre on va effectuer une nouvelle étude bathymétrique, sédimentaire et une nouvelle simulation numérique afin de visualiser l'évolution hydro sédimentaire que le rivage de Khemisti a subit après l'extension.

Pour ce faire, nous allons appuyer notre travail sur l'utilisation du code de calcul **MIKE 21 coupled model FM** de DHI (**Danish Hydraulic Institute**), afin de déterminer le taux et le sens du transport des sédiments non cohésif en tenant compte de l'agitation de la houle au voisinage du rivage et des courants engendrés par le déferlement des vagues.

Il faut noter que toute notre étude se focalisera sur une période de houle de 8s dans les 4 secteurs suivant : Nord-Est, Nord, Nord-Ouest et la Ouest, vu que les hauteurs des houles de cette période sont les plus prépondérantes au large. Pour l'étude des autres houles de période 6s et 10s elle sera présenté en Annexe II.

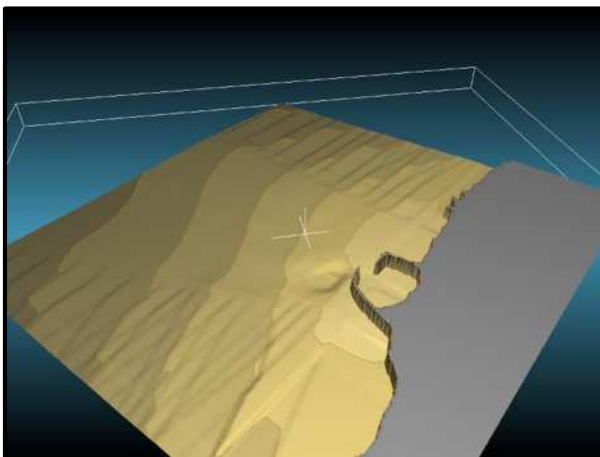


Figure n°10: Présentation en 3 dimensions de l'abri de pêche, cas 1 (**Réalisé à l'aide du progiciel Mike**)

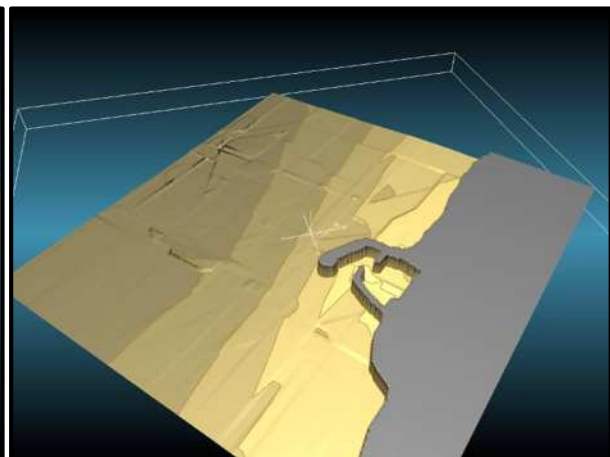


Figure n°11: Présentation en 3 dimensions du port de pêche, cas 2 (**Réalisé à l'aide du progiciel Mike**)

II.2. Description du modèle de simulation MIKE:

Le MIKE 21 est un progiciel destiné aux professionnels du génie côtier, il comporte plusieurs codes de calculs et de modélisation numérique en 2D, il est développé par le **Danish Hydraulics Institut** et se base sur un maillage structuré (grille rectangulaire ou curviligne) ou, pour certains modules, sur un maillage non structuré (grille triangulaire) (**DHI, 2014**).

La modélisation de la dynamique sédimentaire en milieu côtier, doit tenir compte des courants induits par la marée et les houles. Il s'ensuit que l'approche modélisatrice doit faire appel à un système de modélisation intégrée comprenant 3 modèles numériques : un modèle hydrodynamique, un modèle de houle et un modèle de transport sédimentaire de particules non-cohésifs, sous l'effet de l'action combinée des vagues et des courants. Dans ce contexte, le module MIKE 21, comprend les calculs suivants :

- MIKE 21-SW (*Spectral Waves Flexible Mesh*),
- MIKE 21-HD (*Hydrodynamic model*),
- MIKE 21-ST (*Non- Cohesive Sediment Transport*).

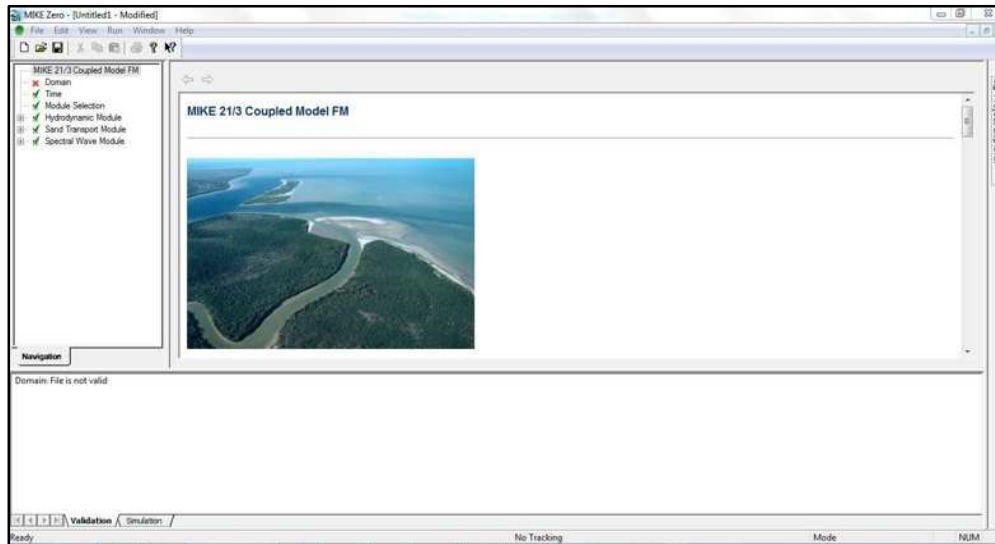


Figure 12: Module MIKE 21 Flow Model (**DHI, 2014**)

➤ Modèle numérique spectral wave (MIKE 21- SW):

Le modèle spectral de vague de 3ème génération MIKE21 SW est similaire au SWAN. Il est utilisé pour modéliser la propagation de la houle sur une grille à maillage flexible dans le secteur d'étude (DHI, 2014m).

Il est particulièrement applicable pour l'analyse des vagues simultanées à la fois à l'échelle régionale et locale. Le maillage flexible permet une résolution spatiale grossière pour la zone au large et une haute résolution en eau peu profonde et sur le littoral.

➤ Modèle numérique hydrodynamique (MIKE 21-HD) :

Le module **MIKE 21-HD** traite le frottement sur le fond, l'effet des événements météorologiques (vent et pression atmosphérique), et la force de Coriolis, etc. ... Il nous permet de simuler les courants côtiers dû à l'action de la houle dans la zone de déferlement.

Il fournit aussi les conditions hydrodynamiques aux autres modules de ce système tel que le Module MIKE 21-ST.

➤ **Modèle numérique de transport de sable MIKE 21-ST :**

Le module MIKE 21-ST est un modèle numérique qui calcule les taux de transport de **sédiments non cohésifs (sable)** sur le fond et en suspension sous l'action combinée des courants et des vagues.

Ce modèle n'utilise que le modèle STPQ3D en cas de houles et de courants combinés. Les transports de sable sont déterminés par l'interpolation dans les tableaux de transport (DHI, 2014). Ces tableaux doivent être générés au préalable par la « MIKE 21 Toolbox » avec le choix de « Generation of Q3D Sediment Tables ». Ils doivent intégrer une condition quelconque de bathymétrie, courant, houle, ou sédiments prédite par le modèle intégré (DHI, 2014).

II.3. Les principales étapes de l'approche intégrée de la modélisation par le MIKE21:

Avant d'entamer la simulation il est important de créer un mesh file, ce dernier relie la profondeur des eaux, extraite des données bathymétriques, à chaque point du domaine. Il contient donc les informations concernant la profondeur des eaux, les boundary (les limites du mesh file) et les éléments du maillage qui sont de type triangulaire pour les deux cas de la simulation.

Après la création du mesh file, on passe à la réalisation du SETUP qui contient les données de base de la simulation ;

- En premier lieu, on fait rentrer notre domaine d'étude (Mesh file), puis on précise la durée de simulation qui est de 24h avec un intervalle d'une heure, c'est-à-dire que chaque heure on aura un résultat (output),
- Puis on effectue la prédiction des séries temporelles des hauteurs de marée (ou niveaux d'eau) en utilisant l'outil du MIKE 21-Toolbox, cette prédiction est basée sur les constituants dérivés d'un modèle global de la marée, le fichier du résultat obtenu est utilisé comme données d'entrée pour le modèle hydrodynamique (MIKE 21-HD),
- Ensuite on génère la table sédimentaire (Q3d sediment transport tables) qui permet de calculer les taux de transport des sédiments non cohésifs ($m^3/s/m$) en utilisant l'effet combiné des vagues et du courant, ceci pour le Modèle numérique de transport de sable MIKE 21-ST, Il faut noter que la génération de cette table a duré plus de 7 jours,
- Enfin on termine la préparation des données de simulation en rentrant la hauteur, la direction et la période des différentes houles au niveau du modèle numérique spectral wave (MIKE 21- SW).

Le principe général de la simulation par les codes de calcul MIKE est résumé dans le schéma suivant :

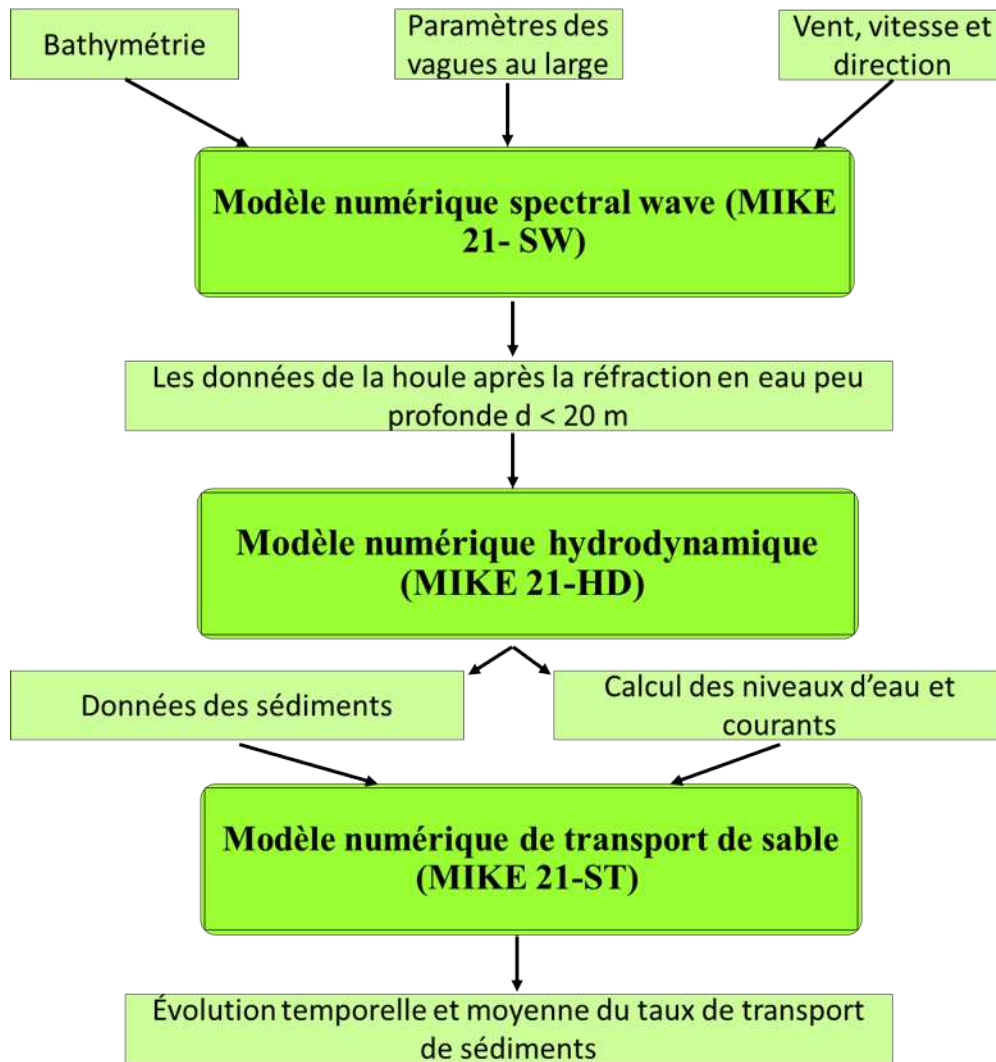


Figure13 : Approche méthodologique de la modélisation par les codes MIKE-21

Partiel1

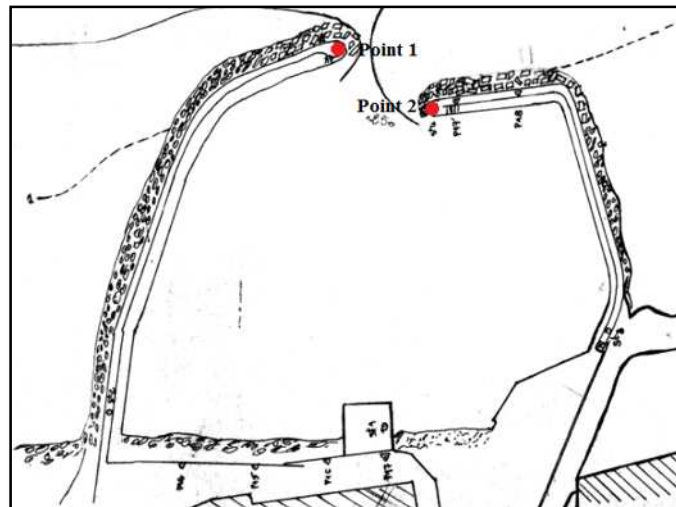
« Cas de l’abri de pêche sans extension »

II.4.1. Etude bathymétrique:

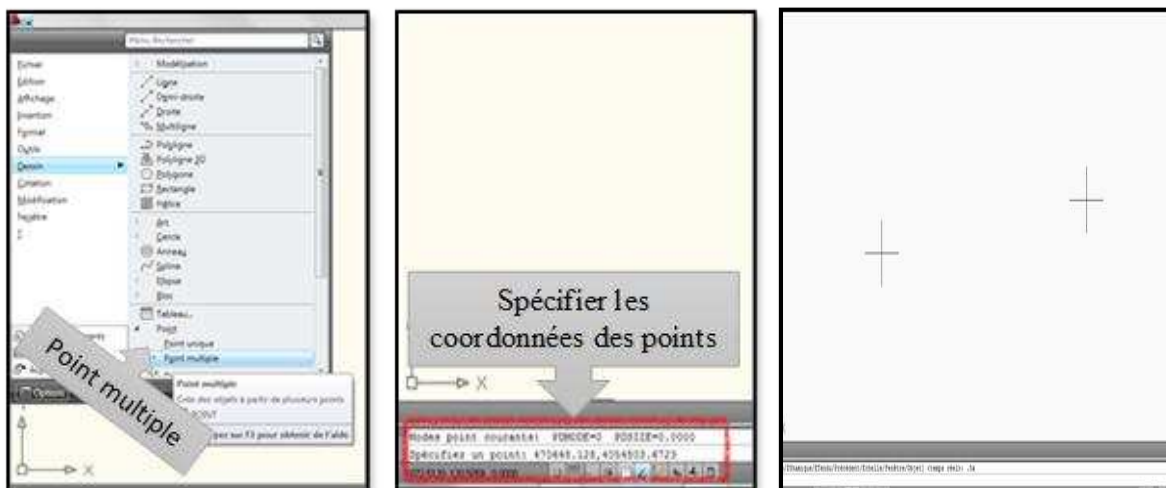
Pour la modélisation et l'étude hydro sédimentaire du rivage de Khemisti avant la réalisation de l'extension de l'abri de pêche, on a utilisé les levés bathymétriques effectués par le LEM en 1985.

Pour cela on a scanné la carte bathymétrique réalisée à la main par le LEM, ensuite on l'a mise en échelle et alignée selon deux points dont les coordonnées sont connues à l'aide du logiciel AUTOCAD (on est passé par cette étape parce que la carte n'est pas affectée de coordonnées), puis on a digitalisé les isobathes et extrait les données sous Excel, ceci selon les étapes suivantes :

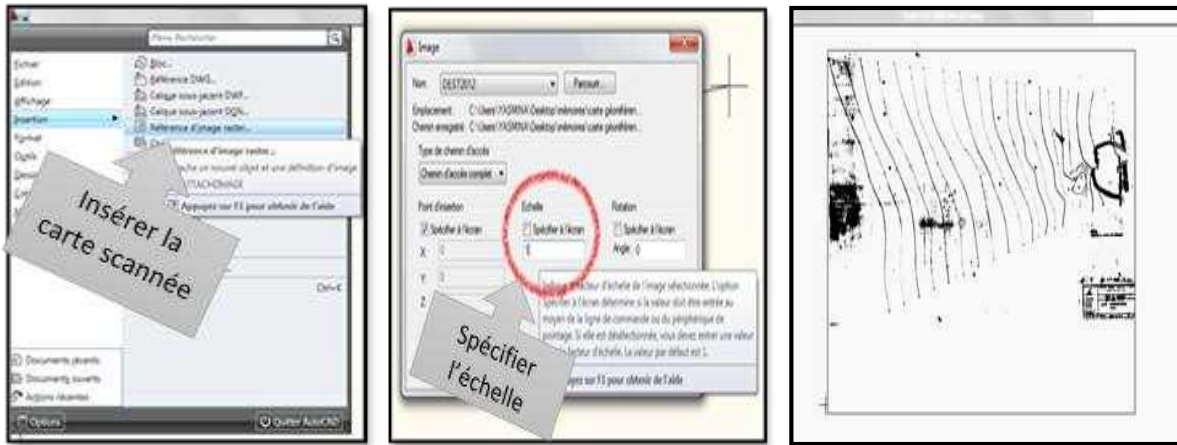
- Choisir deux points sur la carte dont les coordonnées sont connues, dans notre cas on a choisi les deux phares présents sur les extrémités de chaque jetée :



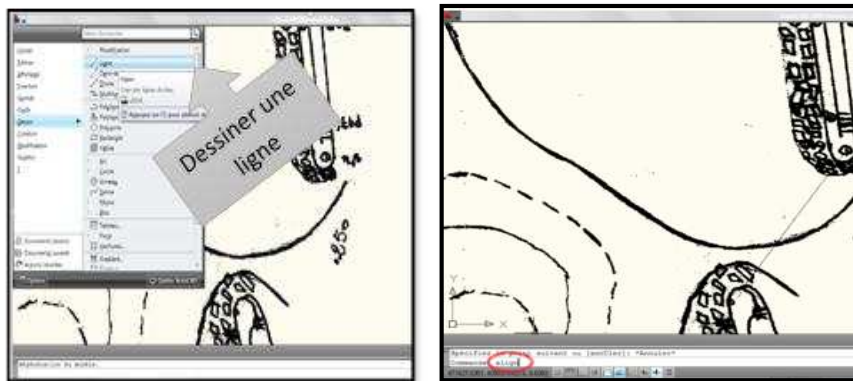
- Créer ces deux points en spécifiant leurs coordonnées au niveau de la commande Autocad :



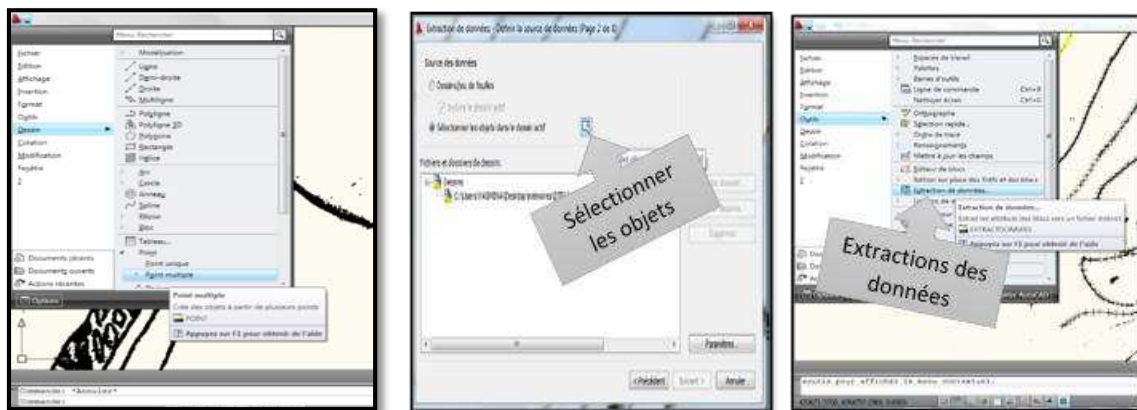
- Insérer la carte scannée dans l'Autocad, puis spécifier l'échelle de la carte (dans notre cas c'est 1, parce que c'est une carte d'une échelle de 1/1000) :



- Dessiner une ligne sur la carte qui relie les deux points qu'on a spécifié au-par avant, puis utiliser la commande « **Align** » d'AUTOCAD, on détermine ensuite les deux point sources et d'arrivés.



- Créer ensuite des points multiples pour digitaliser chaque isobathes, après la fin de la digitalisation on extrait les données des objets sélectionner.



- En plus de la bathymétrie extraite de la carte du LEM, on rajoute comme fond, la bathymétrie de Leclaire (Éditée en 1972) pour avoir une meilleure interpolation bathymétrique, à l'aide du logiciel Mike 21 on obtient la carte bathymétrique suivante :

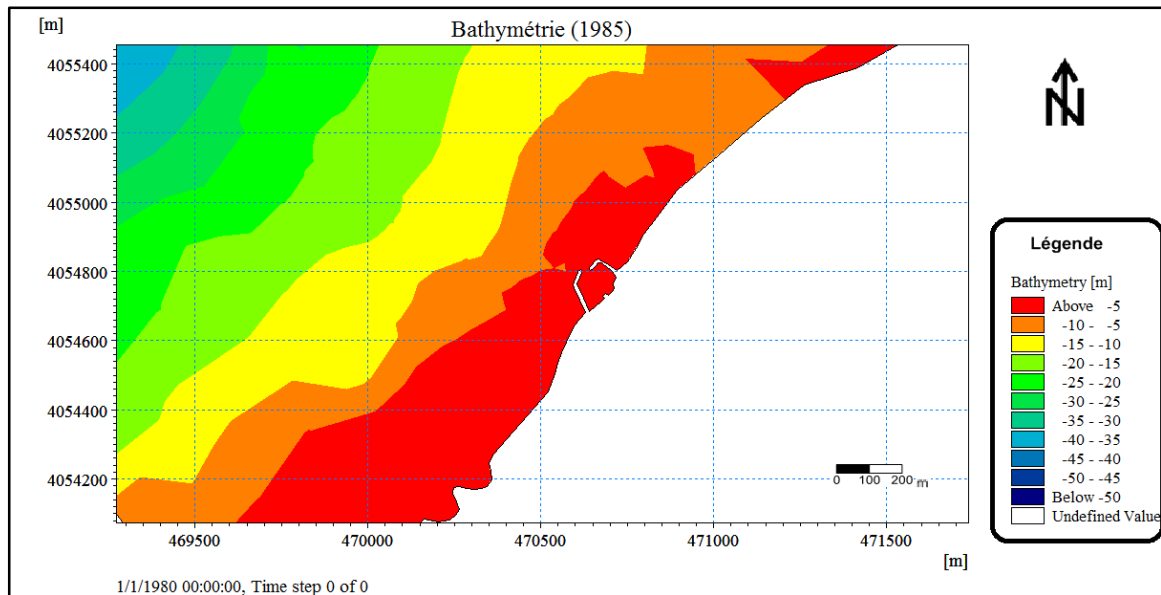


Figure n° 14: Carte bathymétrique du site d'étude (1985) (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21)

L'analyse de la carte bathymétrique révèle une morphologie sous-marine irrégulière entre le trait de côte et l'isobathe -10. Au-delà de cette profondeur, la morphologie du fond a tendance à être régulière (**Figure n°14**).

II.4.2 Simulation numérique sur Mike 21 Coupled Model/FM :

Pour le cas de l'abri de pêche sans extension, on a créé un mesh file dont les éléments du maillage sont serrés (1000 éléments) à proximité du port afin d'avoir plus d'information à son niveau, mais aussi pour exploiter au mieux les données bathymétriques issues du LEM (**Figure n°15**).

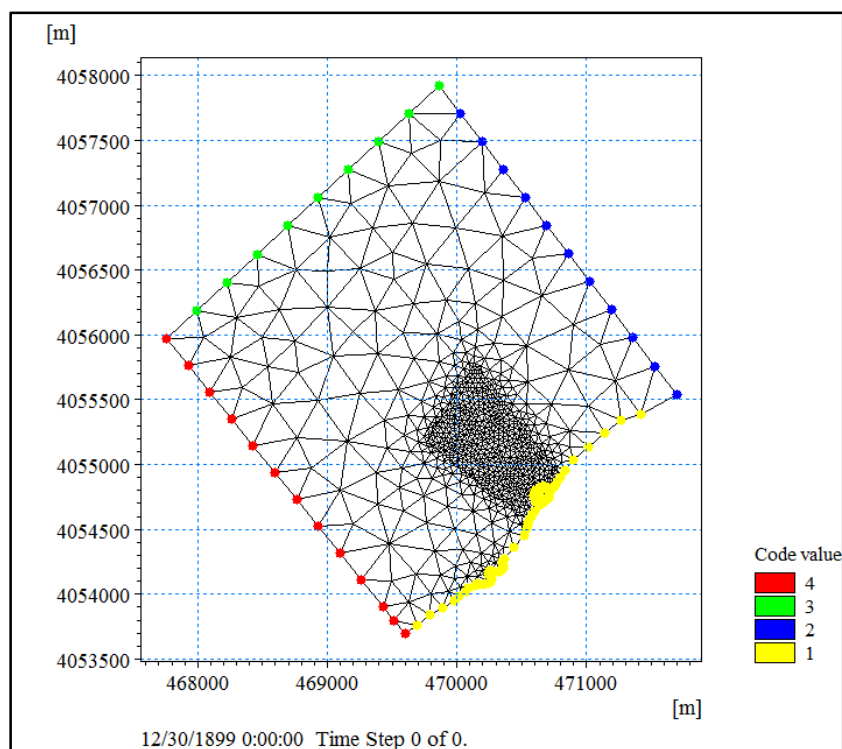


Figure n° 15: Mesh file utilisé pour la simulation du premier cas (Réalisé par MIKE21)

II.4.2.1 Action des houles de direction Nord- Est (45°N)

II.4.2.1.1 Réfraction de la houle (Spectral Wave, SW) :

La propagation de la houle (**Figure n°16**) se traduit à l'approche du rivage par une modification de ses caractéristiques à savoir une diminution de la hauteur de la houle et une déviation de l'angle d'incidence (phénomène de réfraction).

Le paramètre Hrms représente la hauteur de la houle en mètre qui varie globalement entre 0.2 et 1.8 m au niveau du site, les vecteurs représentent de par leurs sens la direction de propagation de la houle, leurs longueurs étant proportionnelles à la hauteur de la houle.

La hauteur de la houle varie au voisinage du rivage comme suit :

À l'Est de l'abri de pêche Hrms est entre 1.2 et 1.4 m et elle est entre 0.4 et 0.6 m à l'ouest, elle est donc beaucoup plus prononcée à l'Est qu'à l'Ouest. Il faut noter aussi qu'au niveau de l'abri de pêche la houle pénètre à l'intérieur de l'infrastructure avec une hauteur significative de l'ordre de 0.6m, ce qui constitue un risque important pour l'abri de pêche, ceci juste au niveau de la passe d'entrée par contre à l'intérieur de l'abri de pêche la houle est plus ou moins faible, elle est de l'ordre de 0.2m.

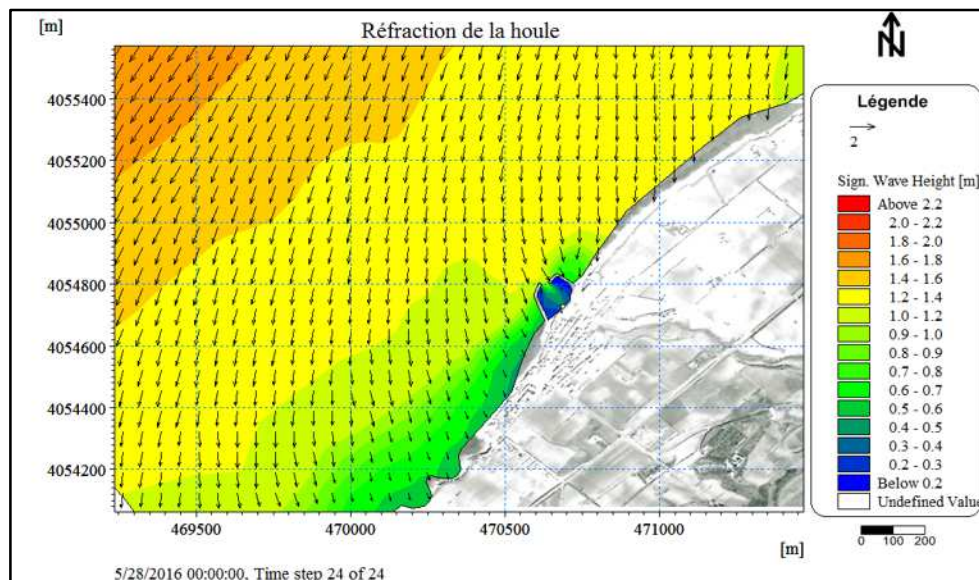


Figure n° 16: Carte de répartition du champ de réfraction de la houle, MWD=45° ; Hrms=2,56m ; T=8s. (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21)

II.4.2.1.2 Courantologie (Hydrodynamic, HD):

Les courants littoraux induits par la houle (**Figure n°17**) sont de direction **Nord Est-Sud Ouest** et évoluent près du rivage en zone de déferlement avec une intensité plus importante à l'Est et au niveau de la passe d'entrée qu'à l'ouest ; Il est également à noter qu'un important champ de courant entre à l'intérieur de l'abri de pêche ce qui crée une agitation du plan d'eau et un courant tourbillonnaire dont l'intensité atteint les 0.1m/s.

Dans la représentation graphique, les vecteurs représentent de par leur sens la direction du courant, leurs longueurs étant proportionnelles au gradient de vitesse.

Les vitesses des courants varient au voisinage du rivage de la manière suivante :

À l'Est de l'abri de pêche l'intensité du courant est entre 0.2 et 0.7 m/s, au niveau de la passe d'entrée l'intensité du courant est de l'ordre de 0.6 m/s et à l'Ouest de l'abri elle est entre 0.1 et 0.4 m/s.

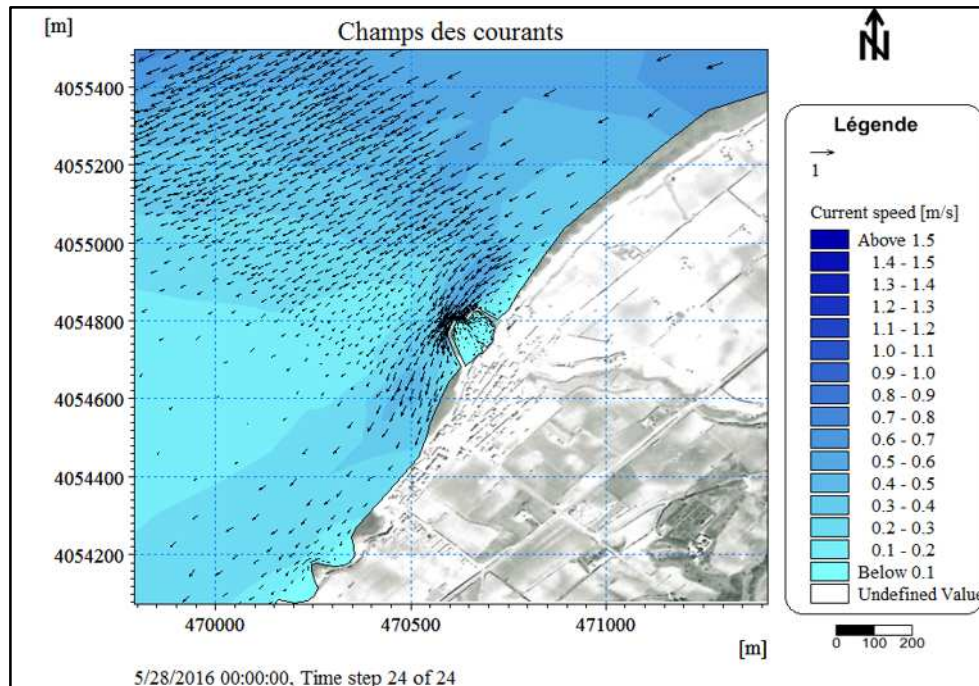


Figure n° 17: Carte de répartition du champ des courants, MWD=45° ; Hrms=2,56m ; T=8s. (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21)

II.4.2.1.3 Transport sédimentaire (Sand Transport, ST):

Sur le plan sédimentologique la capacité du transport solide exprimée en $m^3 / an / m$ ainsi que la direction de ce transport dépend de l'intensité et de la direction des champs des courants. Les résultats de la simulation (**Figure n°18**) montrent que la zone littorale est sujette à un important flux sédimentaire et que les houles de direction Nord-Est (N45°) ont un impact direct sur l'ensablement de l'abri de pêche.

Les valeurs du flux sédimentaire au voisinage du rivage sont présentées comme suit :

En prenant les valeurs obtenues par le progiciel Mike on obtient ; qu'à l'Est on a un flux sédimentaire supérieur à $883.01 m^3/an/m$, au niveau de la passe d'entrée de l'abri de pêche on enregistre un flux sédimentaire très important qui est de l'ordre de $1892.16 m^3/an/m$ et un flux entrant à l'intérieure de l'abri de pêche de $315.36 m^3/an/m$ et enfin à l'Ouest on obtient un flux sédimentaire moins important qui est entre 378.43 et $883.01 m^3/an/m$.

Cependant en prenant en considération la fréquence d'apparition annuelle de la houle de direction Nord Est (N 45°) on trouvera ; un flux sédimentaire réel plus de $162.09 m^3/an/m$ pour la région Est du site d'étude, un flux de $347.33 m^3/an/m$ en face de la passe d'entrée et un flux entrant à l'intérieure de l'infrastructure de $57.89 m^3/an/m$. et enfin un flux qui varie entre 69.47 et $162.09 m^3/an/m$ est enregistré dans la région ouest du site.

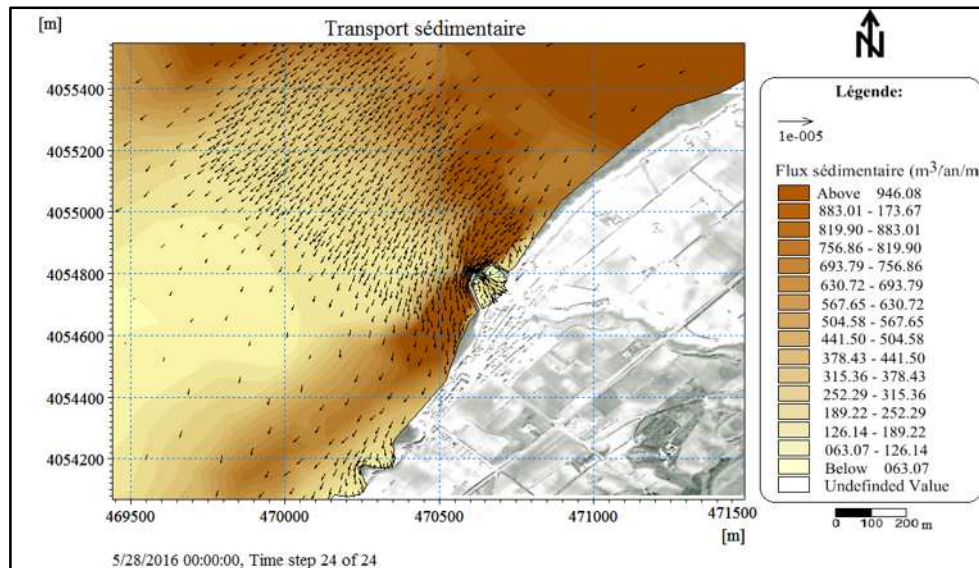


Figure n° 18: Carte de répartition du flux sédimentaire, MWD=45° ; HS =2,56m ; T=8s. (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21)

II.4.2.2 Action des houles de direction Ouest (270°N)

II.4.2.2.1 Réfraction de la houle (Spectral Wave, SW) :

Les résultats de l'étude de la réfraction de la houle N270° montrent une augmentation du Hrms de l'Ouest vers l'Est du site d'étude (**Figure n°19**) ainsi qu'une déviation de l'angle d'incidence (phénomène de réfraction) dirigé vers la côte.

Le paramètre Hrms varie globalement entre 0.2 et 1.8 m au niveau du site, cependant elle varie au voisinage du rivage comme suit :

À l'Est de l'abri de pêche Hrms est entre 0.8 et 1.8 m et elle est entre 0.3 et 0.6 m à l'ouest, elle est donc plus importante à l'Est qu'à l'Ouest. Au niveau de la passe d'entrée on enregistre une hauteur significative de la houle de l'ordre de 0.7m, ce qui constitue un risque pour l'abri de pêche, par contre à l'intérieur de l'infrastructure la houle est d'environ 0.4m.

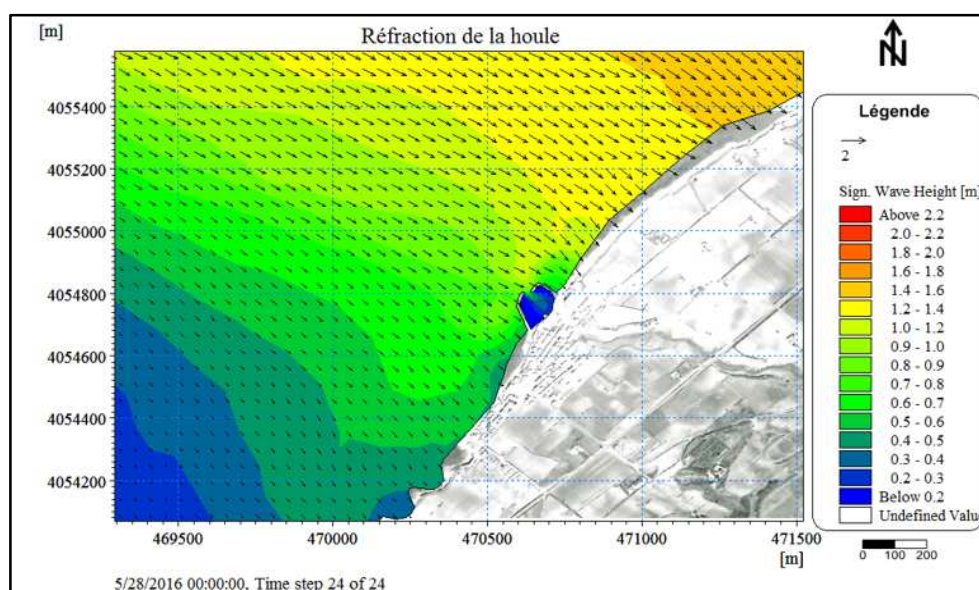


Figure n° 19: Carte de répartition du champ de réfraction de la houle, MWD=270° ; HS =2,67m ; T=8s. (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21)

II.4.2.2.2 Courantologie (Hydrodynamic, HD) :

La houle d'Ouest engendre des courants de dérives littoraux (**Figure n°20**), la direction de ces courants est de **Nord-Est** vers le **Sud-Ouest** du côté Ouest de l'abri de pêche et de direction **Sud-Ouest** vers le **Nord-Est** du côté Est de l'abri de pêche, avec une intensité des courants plus importante à l'Est qu'à l'Ouest, qui est de l'ordre de 0.5m/s pour le côté Est et de 0.2m/s pour le côté Ouest.

Il est également à noter qu'un important champ de courant entre à l'intérieur de l'abri de pêche, ce qui crée un courant tourbillonnaire dont l'intensité atteint les 0.2m/s.

Nous pouvons constater qu'un courant giratoire dans le sens des aiguilles d'une montre se forme au large de la zone, l'eau est poussée du côté Ouest vers l'Est puis dévié à nouveau vers l'Ouest.

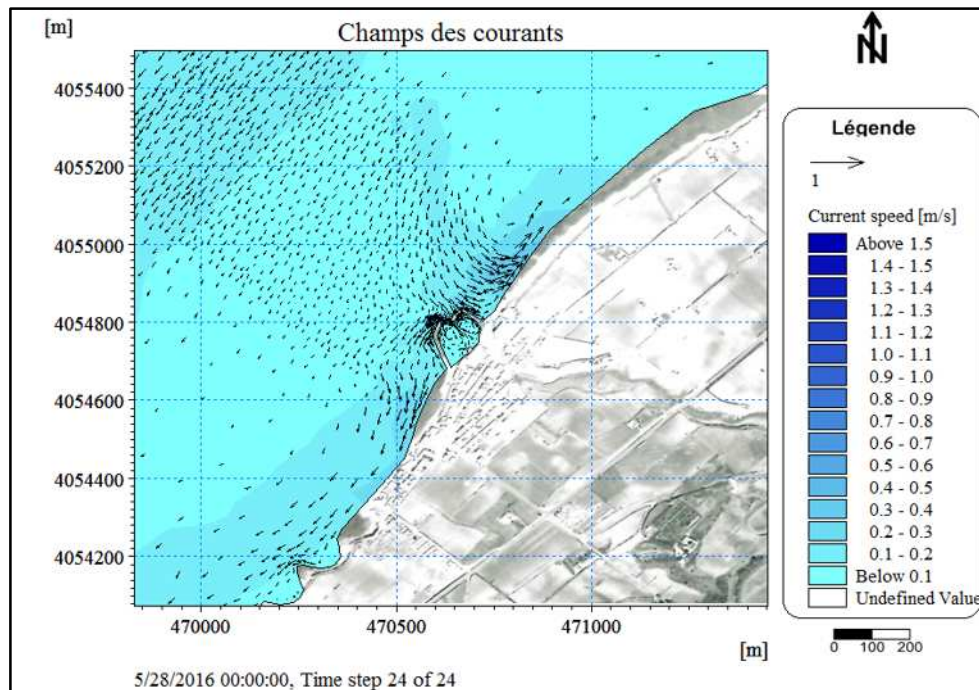


Figure n° 20: Carte de répartition du champ des courants, MWD=270° ; HS =2,67m ; T=8s. (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21)

II.4.2.2.3 Transport sédimentaire (Sand Transport, ST) :

La simulation du taux du transport des sédiments non cohésifs est représentée dans la **figure n°21**. Les résultats de cette simulation montrent que le déplacement des sédiments suit le sens et l'intensité des courants, d'où on a un flux sédimentaire important à proximité de l'infrastructure, avec un déplacement du sédiment du **Nord-Est** vers le **Sud-Ouest** du côté Ouest de l'abri de pêche et du **Sud-Ouest** vers le **Nord-Est** du côté Est de l'abri de pêche. Un autre flux sédimentaire qui entre à l'intérieur de l'abri de pêche est enregistré, on constate donc que les houles de direction Ouest (N270°) ont aussi un impact direct sur l'ensablement de l'abri de pêche.

Les valeurs du flux sédimentaire au voisinage du rivage sont présentées comme suit :

En prenant les valeurs obtenues par le progiciel Mike, on constate que plus on s'éloigne de l'abri de pêche vers l'Est on obtient un flux sédimentaire qui diminue de 504.58 à 78.84 m³/an/m, au niveau de la passe d'entrée de l'abri de pêche on enregistre un flux sédimentaire

d'environ $249.13 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$ et un flux entrant à l'intérieure de l'abri de pêche de $261.75 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$ et enfin à l'Ouest on obtient un flux sédimentaire moins important qui est entre 63.07 et $473.04 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$.

Cependant en prenant en considération la fréquence d'apparition annuelle de la houle de direction Ouest (N 270°) on trouvera ; un flux sédimentaire réel diminuant vers l'Est de 121.31 à $19.87 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$ pour la région Est du site d'étude, un flux de $62.79 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$ au niveau de la passe d'entrée et un flux entrant à l'intérieure de l'infrastructure de $65.98 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$. et enfin un flux qui varie entre 15.89 et $40.86 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$ est enregistré dans la région ouest du site.

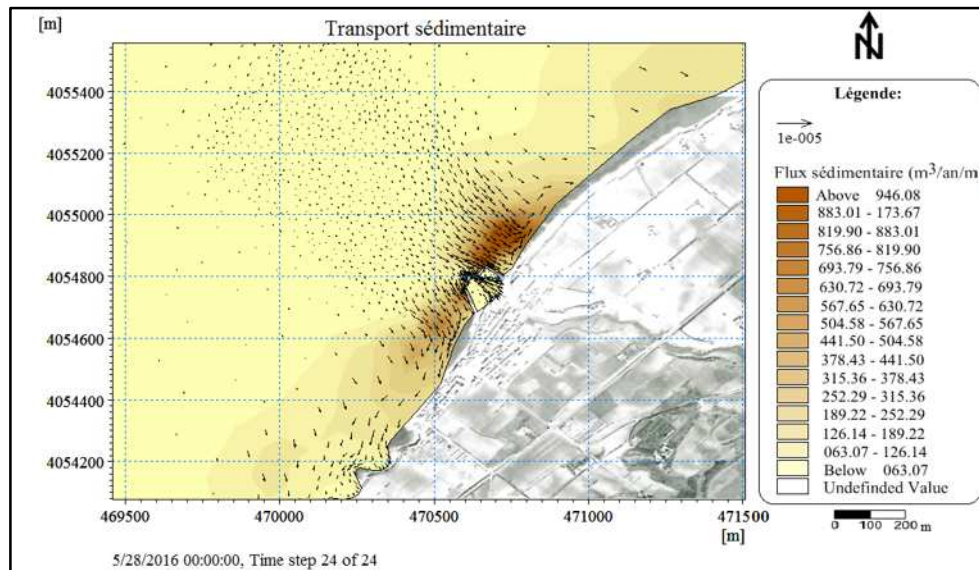


Figure n° 21: Carte de répartition du flux sédimentaire, MWD= 270° ; HS =2,67m ; T=8s. (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21)

II.4.2.3 Action des houles de la direction Nord-Ouest (315°N)

II.4.2.3.1 Réfraction de la houle (Spectral Wave, SW):

Les résultats de l'étude de la réfraction de la houle de Nord-Ouest (N 315°) montrent une augmentation du Hrms de l'Ouest vers l'Est (**Figure n°22**) ainsi qu'une déviation de l'angle d'incidence (phénomène de réfraction) dirigé vers la côte.

Le paramètre Hrms varie globalement entre 0.5 et 2.2 m au niveau du site, cependant elle varie au voisinage du rivage comme suit :

À l'Est de l'abri de pêche Hrms est entre 0.7 et 2.2 m et elle est entre 0.5 et 0.8 m à l'ouest, elle est donc extrêmement importante à l'Est qu'à l'Ouest. Au niveau de la passe d'entrée on enregistre une hauteur significative de la houle de l'ordre de 1.3m, ce qui constitue un risque considérable pour l'abri de pêche, de ce fait à l'intérieur de l'infrastructure on aura une hauteur de houle très significative, on enregistre d'ailleurs une hauteur d'environ 0.5m à son niveau.

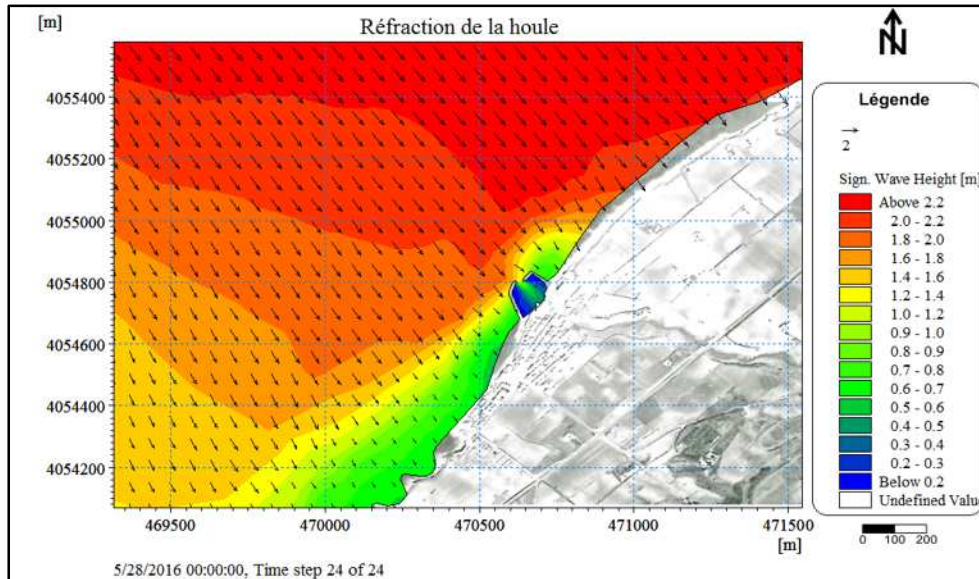


Figure n° 22: Carte de répartition du champ de réfraction de la houle, MWD=315° ; HS =2,64m ; T=8s. (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21)

II.4.2.3.2 Courantologie (Hydrodynamic, HD) :

La houle de Nord-Ouest montre des courants de dérives littorales (**Figure n°23**), au large la direction des courants sont perpendiculaires par rapport à la côte avec une intensité faible, en approchant du rivage l'intensité de ces courants augmentent et se dévient formant ainsi des courants parallèles près des côtes (courant de dérive littoral).

La direction de ces courants est de **Nord-Est** vers le **Sud-Ouest** du côté Ouest de l'abri de pêche et de direction **Sud-Ouest** vers le **Nord-Est** du côté Est de l'abri de pêche, avec une intensité légèrement équitable, qui est de l'ordre de 0.5m/s, cependant au niveau de la passe d'entrée un champ de courant entre à l'intérieur de l'abri de pêche ce qui crée un courant tourbillonnaire dont l'intensité atteint les 0.2m/s, l'eau entre de côté Ouest et sort de côté Est de l'abri de pêche. Nous pouvons constater que l'intensité des courants diminue en s'éloignant vers l'Est et vers l'Ouest de l'abri de pêche : de (0.5m/s à 0.2) à l'Est et de (0.5m/s à 0.1) à l'Ouest.

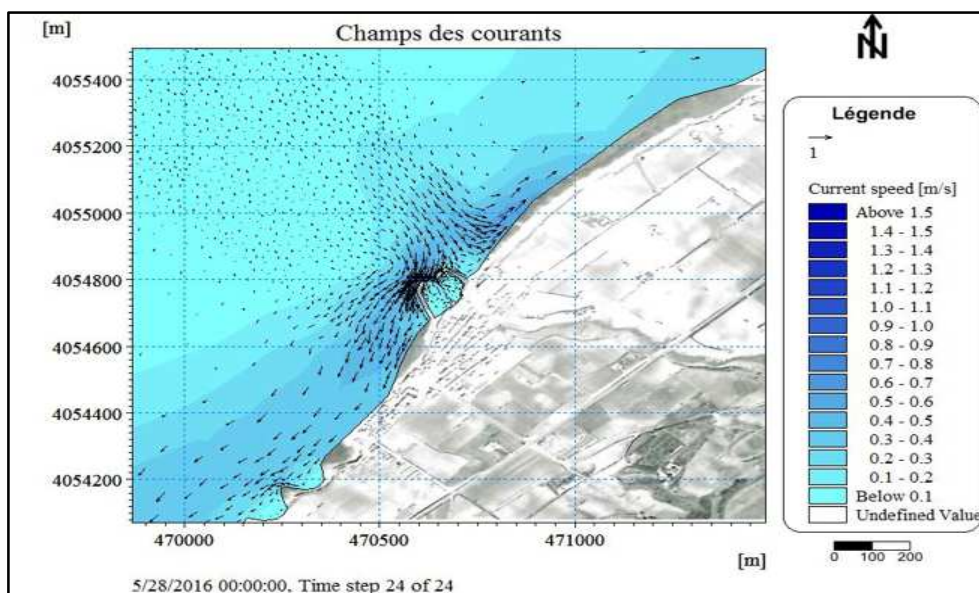


Figure n° 23: Carte de répartition du champ des courants, MWD=315° ; HS =2,64m ; T=8s. (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21)

II.4.2.3.3 Transport sédimentaire (Sand Transport, ST) :

Les résultats de la simulation des houles de direction Nord-Ouest (**Figure n°24**) montrent que le transport sédimentaire au niveau du site d'étude suit exactement le sens des courants qu'on a décrit au par avant, donc la zone littorale est sujette à un important flux sédimentaire et que les houles de direction Nord-Ouest (N315°) ont un impact direct sur l'ensablement de l'abri de pêche.

Les valeurs du flux sédimentaire au voisinage du rivage sont présentées comme suit :

En prenant les valeurs obtenues par le progiciel Mike on obtient ; qu'à l'Est on a un flux sédimentaire d'environ 2286.36 m³/an/m à proximité de l'infrastructure, en allant vers l'Est cette valeur diminue progressivement jusqu'à atteindre un taux de l'ordre 189.22 m³/an/m, au niveau de la passe d'entrée de l'abri de pêche on enregistre un flux sédimentaire beaucoup trop important qui est de l'ordre de 2459.81 m³/an/m et un flux entrant à l'intérieure de l'abri de pêche de 441.51 m³/an/m et enfin à l'Ouest on obtient un flux sédimentaire moins important qui est entre 536.11 et 1608.34 m³/an/m.

Cependant en prenant en considération la fréquence d'apparition annuelle de la houle de direction Nord-Ouest (N 315°) on trouvera ; un flux sédimentaire réel qui varie de 12.34 à 150.34 m³/an/m pour la région Est du site d'étude, un flux de 161.74 m³/an/m au niveau de la passe d'entrée et un flux entrant à l'intérieure de l'infrastructure de 29.03 m³/an/m. et enfin un flux qui varie entre 35.25 et 105.75 m³/an/m est enregistré dans la région ouest du site.

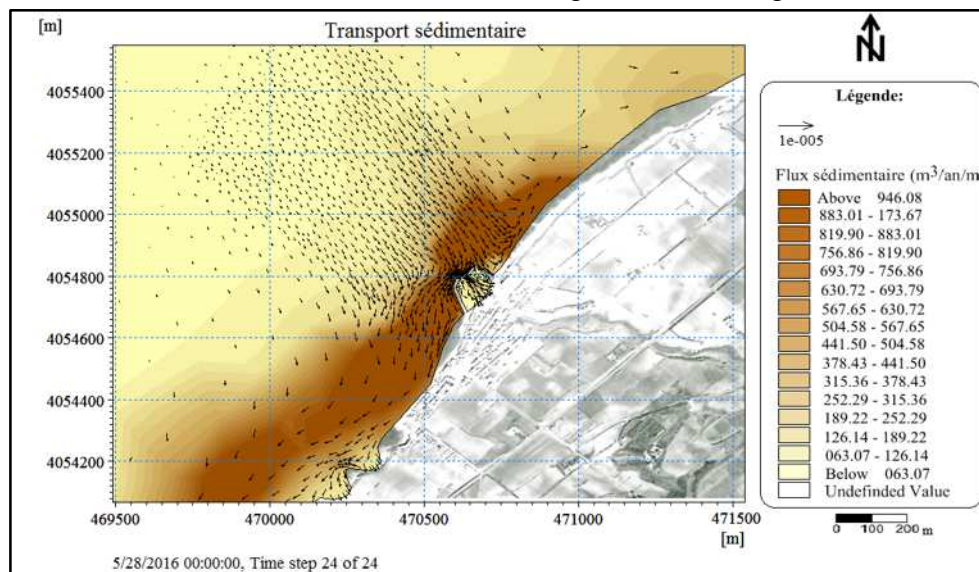


Figure n° 24: Carte de répartition du flux sédimentaire, MWD=315° ; HS =2,64m ; T=8s. (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21)

II.4.2.4 Action des houles de direction Nord (360°N)

II.4.2.4.1 Réfraction de la houle (Spectral Wave, SW):

L'étude de la réfraction de la houle de Nord (N360°) montre des résultats semblables à ceux observés pour la houle de direction Nord-Ouest.

La simulation a permis d'identifier une augmentation du Hrms de l'Ouest vers l'Est (**Figure n°25**) ainsi qu'une déviation de l'angle d'incidence (phénomène de réfraction) dirigé vers la côte. Le paramètre Hrms varie globalement entre 0.4 et 2.2 m au niveau du site, cependant elle varie au voisinage du rivage comme suit :

À l'Est de l'abri de pêche Hrms est entre 0.7 et 2.2 m et elle est entre 0.5 et 0.7 m à l'ouest, elle est donc extrêmement importante à l'Est qu'à l'Ouest. Au niveau de la passe d'entrée on enregistre une hauteur significative de la houle de l'ordre de 1.2m, de ce fait à l'intérieur de l'infrastructure on aura une hauteur de houle très significative, on enregistre d'ailleurs une hauteur d'environ 0.5m à son niveau.

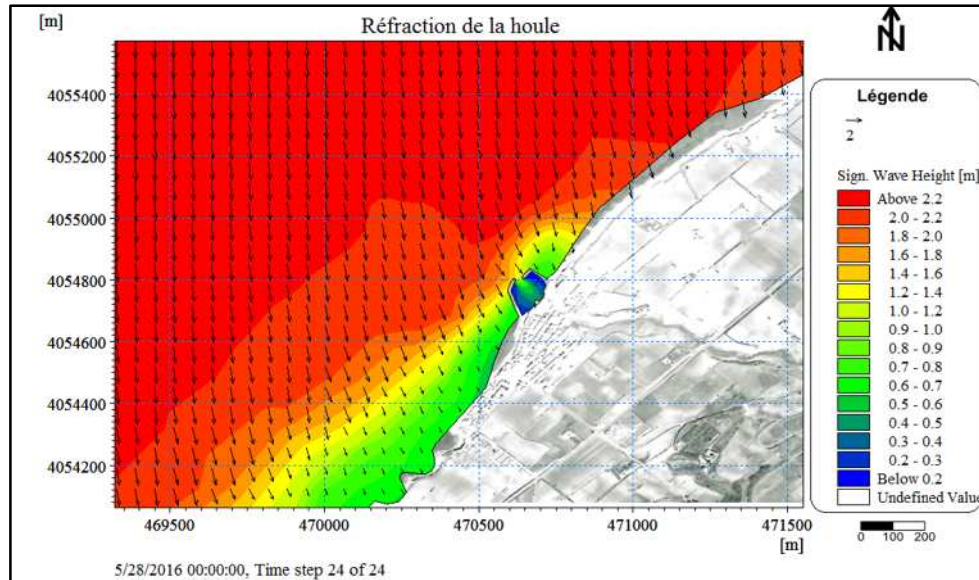


Figure n° 25: Carte de répartition du champ de réfraction de la houle, MWD=360° ; HS =2.67m ; T=8s. (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21)

II.4.2.4.2 Courantologie (Hydrodynamic, HD) :

L'étude courantologique concernant la houle de Nord (N360°), montre une répartition des champs des courants sur différentes direction (**Figure n°26**).

Ces courants prennent naissance en offshore avec une intensité faible, puis en s'approchant du rivage l'intensité de ces courants augmente et se dévient, formant ainsi à l'Ouest des courants parallèles par rapport à la côte (longshore), dirigés de **Nord-Est** vers le **Sud-Ouest** avec une intensité qui varie de 0.5 à 0.7 m/s et un autre courant giratoire dans le sens contraire des aiguilles d'une montre au niveau des côtes d'Est avec une intensité plus faible qui varie de 0.1 à 0.5 m/s.

Cependant au niveau de la passe d'entrée un champ de courant entre à l'intérieur de l'abri de pêche qui crée un courant circulaire dont l'intensité atteint les 0.1 m/s.

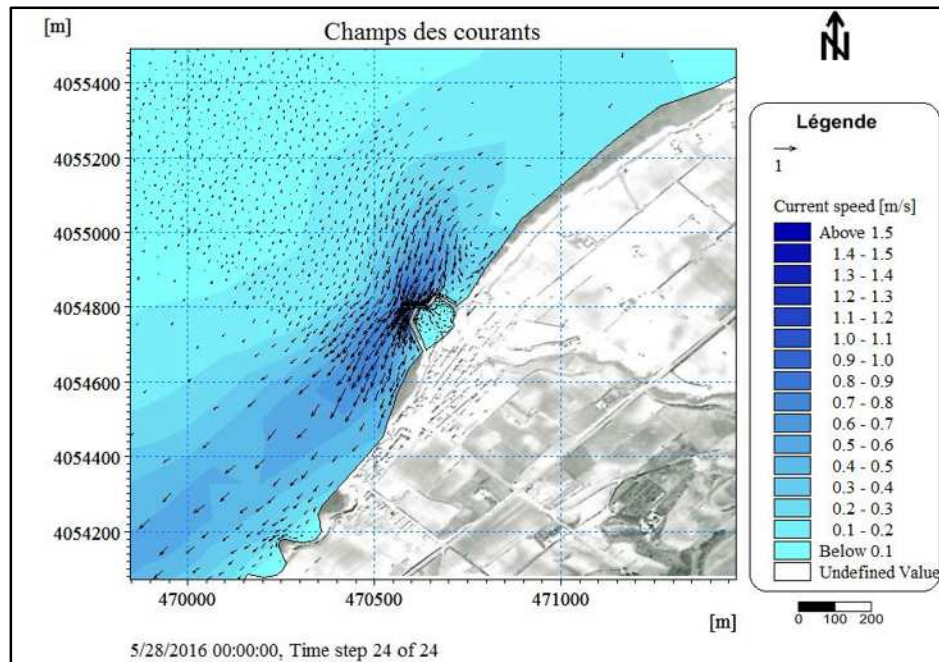


Figure n° 26: Carte de répartition du champ des courants, MWD=360° ; HS =2,67m ; T=8s. (Réalisée à l'aide du logiciel

II.4.2.4.3 Transport sédimentaire (Sand Transport, ST) :

Les résultats de la simulation des houles de direction Nord (**Figure n°27**) montrent que le transport sédimentaire au niveau du site d'étude suit le sens des courants qu'on a décrit au paragraphe précédent, donc la zone littorale, est sujette à un important transit sédimentaire, plus précisément du côté centre et Ouest du site. On note que la houle du Nord joue aussi un rôle dans l'ensablement de l'abri de pêche.

Les valeurs du flux sédimentaire au voisinage du rivage sont présentées comme suit :

En prenant les valeurs obtenues par le progiciel Mike on obtient ; qu'à l'Est on a un flux sédimentaire d'environ $2522.88 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$ à proximité de l'infrastructure, en allant vers l'Est cette valeur diminue progressivement jusqu'à atteindre un taux de l'ordre $189.22 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$, au niveau de la passe d'entrée de l'abri de pêche on enregistre un flux sédimentaire d'un taux de $946.08 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$ et un flux entrant à l'intérieure de l'abri de pêche de $473.04 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$ et enfin à l'Ouest on a un flux sédimentaire d'environ $2838.24 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$ à proximité de l'infrastructure, en allant vers l'Ouest cette valeur diminue progressivement jusqu'à atteindre un taux de l'ordre $346.89 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$.

Cependant en prenant en considération la fréquence d'apparition annuelle de la houle de direction Nord (N 360°) on trouvera ; un flux sédimentaire réel qui varie de 16.07 à $214.27 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$ pour la région Est du site d'étude, un flux de $80.35 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$ au niveau de la passe d'entrée et un flux entrant à l'intérieure de l'infrastructure de $40.17 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$. et enfin un flux qui varie entre 29.46 et $241.06 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$ est enregistré dans la région ouest du site.

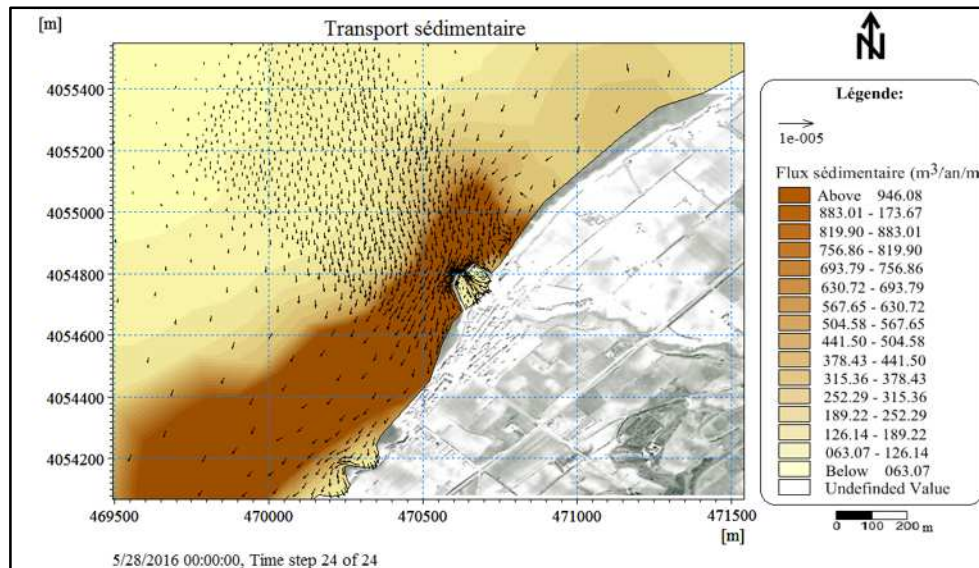


Figure n° 27: Carte de répartition du flux sédimentaire, MWD=360° ; HS =2,67m ; T=8s. (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21)

II.4.2.5 Conclusion:

La simulation par le modèle Spectral Waves (SW) sur notre domaine d'étude a permis d'identifier les houles les plus énergétiques qui peuvent influencer notre zone, qui sont les houles de secteur **Nord** et **Nord- Ouest** ceci a été confirmé par le calcul du coefficient de réfraction, basé sur les données extraites de la carte de répartition de la réfraction de chaque secteur de houle au niveau de l'isobathe -10m, profondeur limite de la dynamique Sédimentaire, cela grâce à l'outil « **Data Extraction** » du progiciel Mike21 (**Tableau n°2**).

Tableau n°2:Données moyennes des houles obtenus par direction et par période de la houle annuelle à -10.00m.

Angle d'incidence des houles (°)	Période (s)	Hauteur significatives des houles au large (m)	Hauteur significatives des houles à -10m	Coefficients de réfraction Kr
N 45°	8	2.56	1.26	0.49
N 270°	8	2.67	0.89	0.33
N 315°	8	2.64	2.02	0.77
N 360°	8	2.67	2.18	0.82

À partir des résultats de la simulation du taux de transport des sédiments non cohésifs, obtenu après l'étude de réfraction de la houle et de la courantologie, on constate que la totalité du rivage de Khemisti est soumis à un débit du transit littoral total annuel moyen de l'ordre de 119.27 m³/an/m, ceci en prenant en considération toutes les directions des houles.

Il faut noter que les quatre directions de houle Ouest, Nord-Est, Nord et Nord-Ouest ont un impact direct sur l'ensablement du port, avec un pourcentage du flux sédimentaire entrant respectivement de 34.17%, 29.98%, 20.8% et 15.03 de la totalité du flux entrant.

Partie2

« Cas de l’abri réaménagé en port de pêche (avec extension) »

II.5.1. Étude sédimentologique :

Dans cette partie nous allons étudier la sédimentologie actuelle de notre zone d'étude, la connaissance de la nature des sédiments superficiels est primordiales pour une gestion durable du domaine côtier car elle permet de mieux comprendre l'hydrodynamisme du site. Cependant notre principal objectif est de déterminer le grain moyen des sédiments afin de l'intégrer dans la simulation du transport sédimentaire par le logiciel Mike 21.

II.5.1.1. Prélèvement des sédiments:

Pour réaliser l'étude sédimentologique de la partie sous-marine, Deux sorties en mer ont eu lieu, l'une le 09 Mai 2016 l'autre le 16 Mai 2016.

Pour la 1^{ère} sortie on a pu prélever 9 échantillons, par contre pour la 2^{ème} sortie on a prélevé 11 échantillons, ces derniers sont prélevés à l'aide d'une benne preneuse de type VanVeen (Photo n°9) et mis dans des sacs en plastique étiquetés, par la suite ils ont été traité au laboratoire de l'ENSSMAL.



Photos n°9 : Prélèvement à l'aide de la benne Van Veen

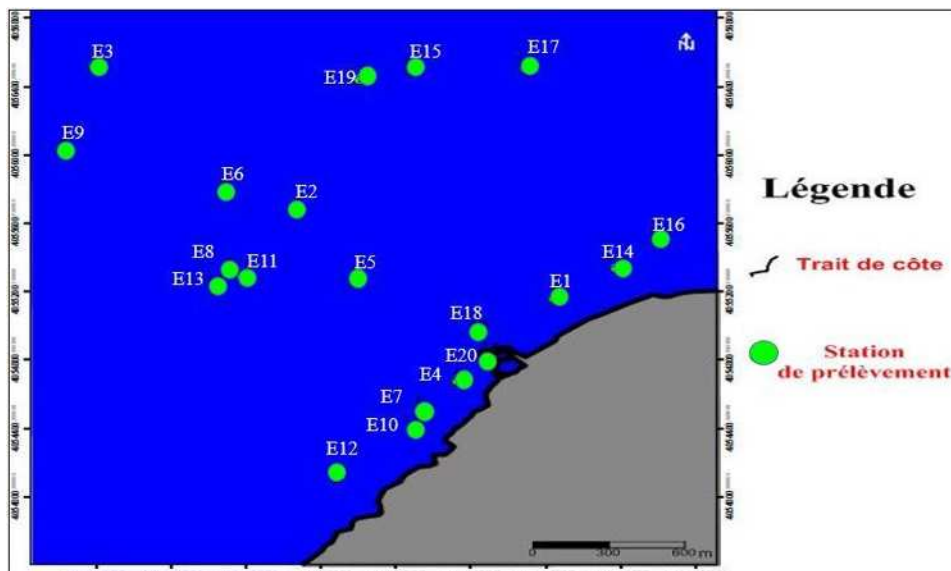


Figure n°28: Localisation des stations de prélèvement des échantillons de la partie sous-marine

II.5.1. Méthode d'analyse au laboratoire:

Au laboratoire chaque échantillon est mis dans le fond d'une boîte de pétri, et placé dans une étuve à 105°C pendant 24h.

II.5.1.2.1. Analyse de la fraction fine:

L'analyse consiste à séparer la fraction sédimentaire fine de la fraction grossière par voie humide et par tamisage à travers une maille de 40µm.

Après 24h on sort les sédiments bruts séchés de l'étuve et on pèse 150g de chaque échantillon, puis on les lave au tamis à 40µm et enfin le refus récupéré est aussi séché à l'étuve pendant 24h à 105°C.

La différence de poids entre l'échantillon brut et le refus permet de déterminer le poids des pélites et donc de calculer le pourcentage.



Photo n°10: Pesage de sédiment



Photo n°11: Lavage à l'eau du robinet

II.5.1.2.2 Analyse de la fraction grossière :

Les refus sans pélites séchés sont tamisés par une tamiseuse de type AFNOR dont le diamètre des mailles en microns des tamis est dans l'ordre décroissant : 1000-800-630-500-400-315-250-200-180-160-140-100-80-63-40.

Chaque tamisage dure environ 10 minutes, le refus de chaque tamis est pesé et convertis en pourcentage pondéraux des sédiments permettant d'établir les courbes granulométrique cumulatives pour chaque échantillon (**Augris et al. 1984 in Al Sid Chikh, 2011,p40**).

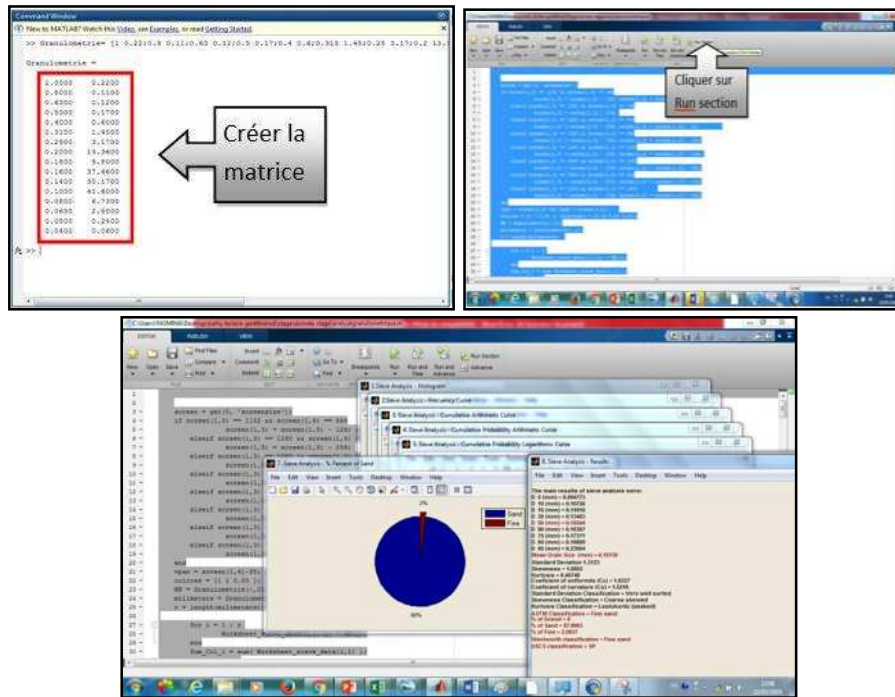


Photo n°12 : Tamiseuse AFNOR



Photo n°13 : Pesé des échantillons

Ces courbes granulométriques sont déterminées à l'aide du logiciel Matlab, ceci en intégrant la matrice suivante ; $[D_1 (\mu m) P (g) , D_2 P_2, \dots]$ pour chaque échantillon, puis on exécute la commande, on aura ainsi toutes les caractéristiques granulométriques de nos sédiments :



II.5.1.3. Résultat et discussion :

II.5.1.3.1. Répartition spatiale de la fraction fine :

La carte de répartition de la fraction fine (**Figure n°29**) est réalisée à partir du pourcentage en petites (fraction inférieure à $40\mu m$) caractéristique pour chaque échantillon. La répartition des pélites révèle que la plus part de nos échantillons présente de faibles teneurs en cette fraction ; ces teneurs varient entre 0.5 et 13 %, cependant on note que des teneurs qui varient entre 30 et 77 % sont enregistrés au niveau de 3 échantillons (Échantillon 3, 6 et 9), ce qui est normal vu que ces échantillons sont prélevés au large (à $-50m$).

Le faible pourcentage enregistré près de la côte indique que les sédiments de cette zone sont en perpétuel remaniement et donc l'hydrodynamisme de la zone est considérable.

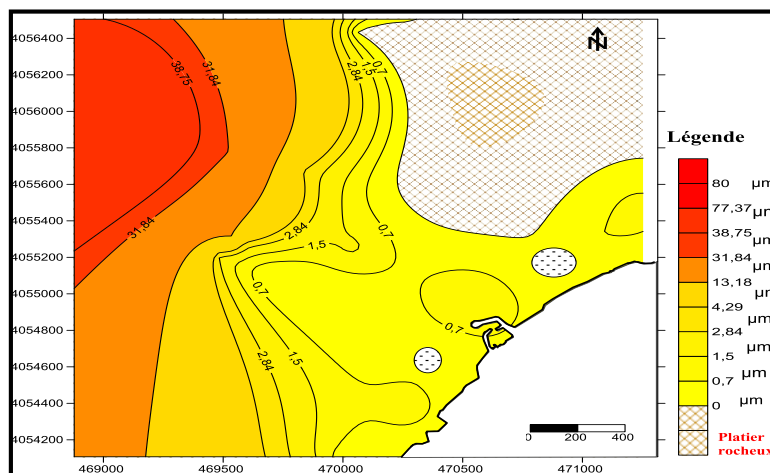


Figure n°29 : Carte de la répartition des pélites dans la région de Khemisti(2016)

II.5.2. Étude bathymétrique :

Pour déterminer la profondeur des fonds marins du site, nous avons effectué deux sorties en mer.

Avant d'entamer les sorties, on a tout d'abord tracé 7 radiales où chaque radiale est distante d'une autre d'environ 200 m, ces dernières sont représentées ci-dessous :

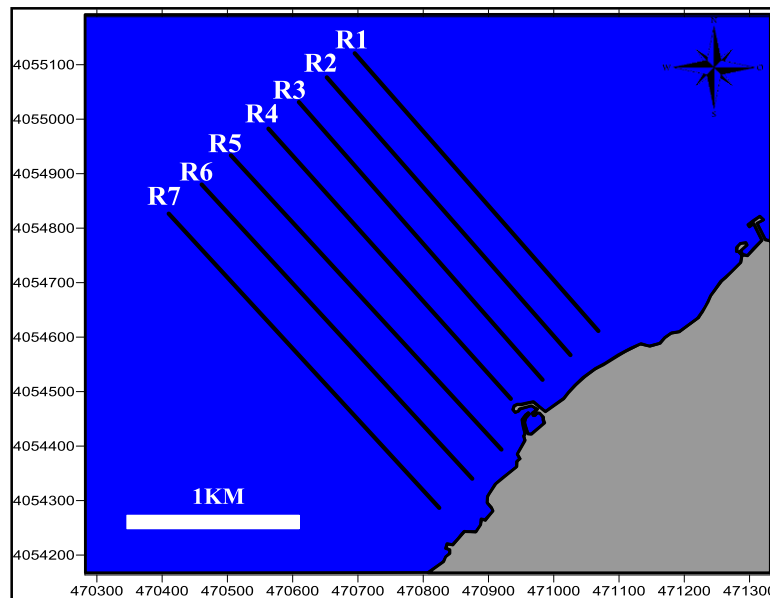


Figure n°32: Situation des radiales pour l'étude bathymétrique dans la région de Khemisti

- La première sortie est effectuée le 09/05/2016, à bord d'une embarcation de 12 m de longueur et 4.5m de largeur, c'est un sardinier qui comprend un sondeur mono-faisceau, dont l'unité de mesure de la profondeur est donnée en bras (1bras=1.8m), pour cette première sortie on a effectué que 3 radiales.
- La deuxième sortie est effectuée le 16/05/2016, à bord d'un sardinier qui comprend aussi uniquement un sondeur mono-faisceau, pour cette deuxième sortie on a effectué des levés bathymétrique selon 4 radiales.
- Il faut noter que pendant les deux sorties la mer était agitée, posant ainsi un souci pour le suivi des radiales d'autant plus que les deux embarcations n'avaient pas de GPS intégré à l'échosondeur, c'est pour cela qu'on a opté pour un positionnement de levés à l'aide du GPS de poche **Garmin**.



Photo n°14: Sondeur mono-faisceau



Photo n°15: GPS de poche **Garmin**

Les données des levés bathymétriques obtenus sont exploitées par le progiciel Mike 21, afin de réaliser la carte bathymétrique suivante :

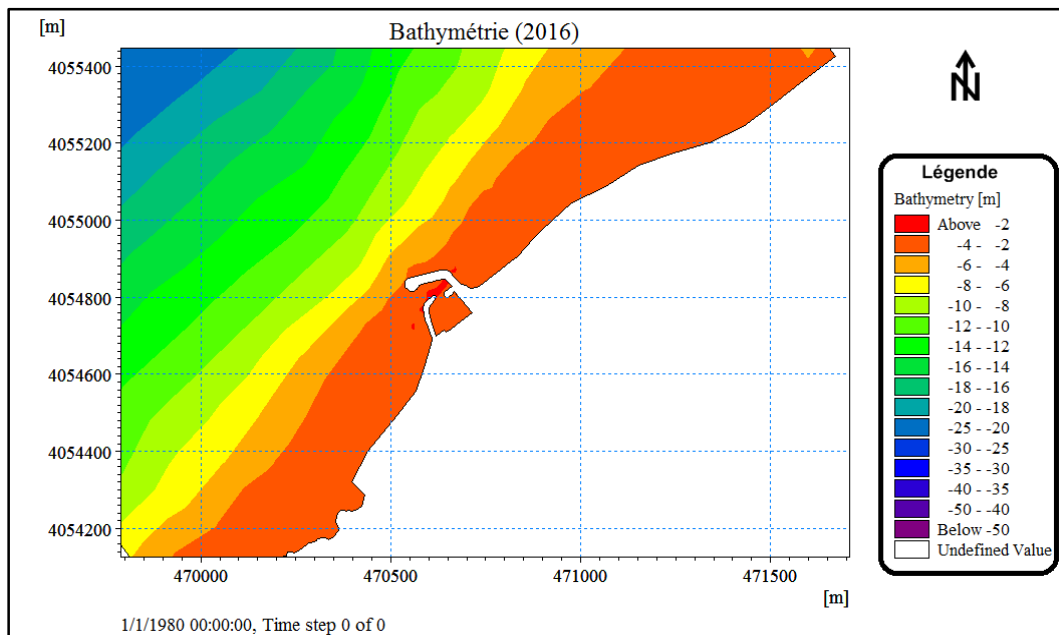


Figure n° 33: Carte bathymétrique de la région de Khemisti (2016) (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21)

La carte bathymétrique (**Figure n°33**) révèle une morphologie sous-marine régulière dans l'ensemble et que le rivage de Khemisti est caractérisé par une pente douce vu que des isobathe de -6 m sont enregistré un peu plus au large (au-delà de la jeté principale du port). Elle révèle aussi qu'au niveau de la passe d'entrée du port la profondeur est très basse (moins de 2m).

II.5.3. Simulation numérique sur Mike 21 Coupled Model/FM :

Pour le cas de l'abri de pêche réaménagé en port de pêche, on a utilisé un mesh file avec un nombre d'éléments de maillage généré automatiquement (**Figure n°34**).

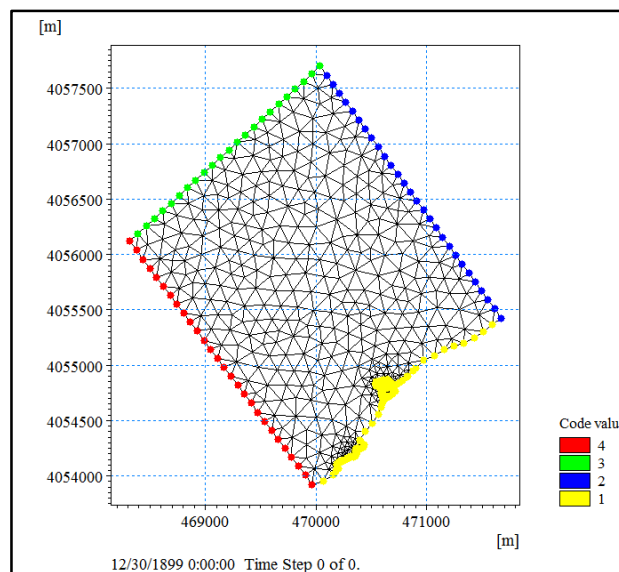


Figure n° 34: Mesh file utilisé pour la simulation du deuxième cas d'étude (Réalisé

II.5.3.1. Action des houles de direction Nord- Est (45°N)

II.5.3.1.1. Réfraction de la houle (Spectral Wave, SW):

La **figure n°35** présente les résultats de l'étude de la réfraction pour une houle de secteur Nord-Est et de période de 8 secondes. La propagation se fait perpendiculairement par rapport au rivage.

Le coefficient de réfraction de la houle est en moyenne égal à 0,55. Donc elle ne conserve que la moitié de son énergie de large. La dissipation de l'énergie se présente par un pivotement des orthogonales en direction Nord-Est à Sud-Est.

En effet à l'approche de la côte, lorsque les vagues commencent à « sentir » le fond, elles subissent des modifications qui affectent leur direction et leurs caractéristiques, ainsi dès que la profondeur devient inférieure à la moitié de leur longueur d'onde, elles sont freinées dans leur propagation, donc leur énergie de propagation et leurs hauteurs diminuent au fur à mesure de son évolution vers la côte.

L'action de ces houles au voisinage du rivage, se traduit par une variation de la hauteur significative de la manière suivante :

À l'Est du port on enregistre une hauteur significative qui varie de 1m à 1.2 m par contre à l'ouest elle varie de 0.5m à 0.9m environ, on a donc des houles plus importantes à l'Est qu'à l'Ouest.

Il est aussi à noter la présence d'un phénomène de diffraction au niveau du musoir de la jetée principale du port, vu qu'à son niveau la hauteur significatives de la houle diminue subitement de 1.4 m à 0.5m environ, de ce fait à l'abri de la jetée on retrouve des hauteurs de houle très faible de l'ordre de 0.003m, qui peut s'interpréter par l'effet de la jetée qui rend les houles de Nord-Est peu énergétique.

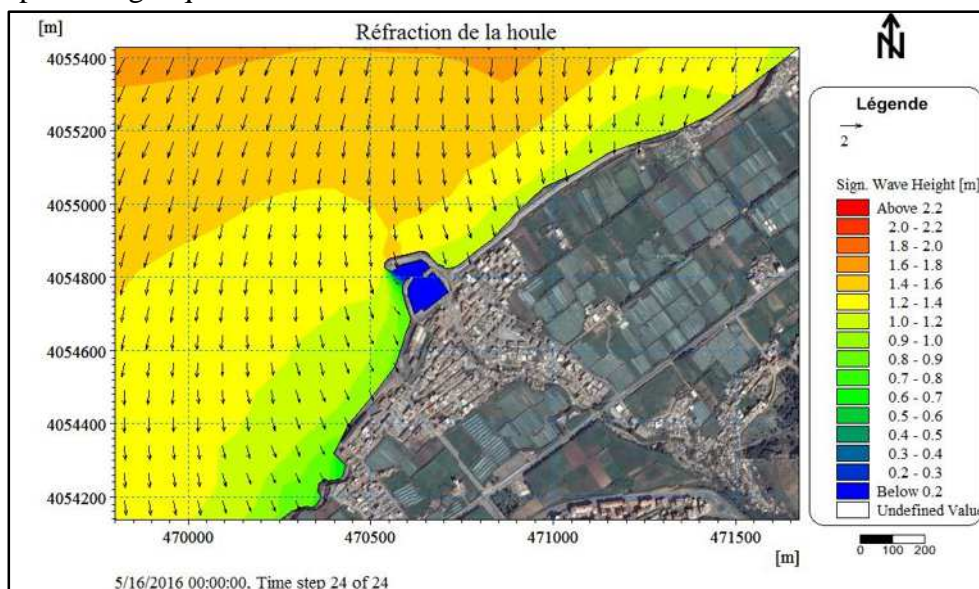


Figure n° 35: Carte de répartition du champ de réfraction de la houle, MWD=45° ; HS =2.56m ; T=8s. (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21)

II.5.3.1.2. Courantologie (Hydrodynamic, HD):

La houle de Nord-Est engendre des courants de dérives littoraux (**Figure n°36**), la direction de ces courants est de **Nord-Est** vers le **Sud-Ouest**, ils évoluent avec une grande intensité

près du rivage et le long de la jetée principale, ce qui implique la naissance d'un courant circulaire dans le sens inverse des aiguilles d'une montre au voisinage de l'entrée de l'abri de pêche.

L'intensité des courants varie au voisinage du rivage de la manière suivante :

À l'Est de l'abri de pêche l'intensité du courant est entre 0.1 et 0.4 m/s, au niveau de la passe d'entrées l'intensité du courant est de l'ordre de 0.1 m/s et à l'Ouest de l'abri elle est entre 0.05 et 0.3 m/s donc les courants d'Est sont plus important par rapport au courant d'Ouest.

Il est également à noter qu'un très faible champ de courant entre à l'intérieur de l'abri de pêche dont l'intensité atteint les 0.01m/s.

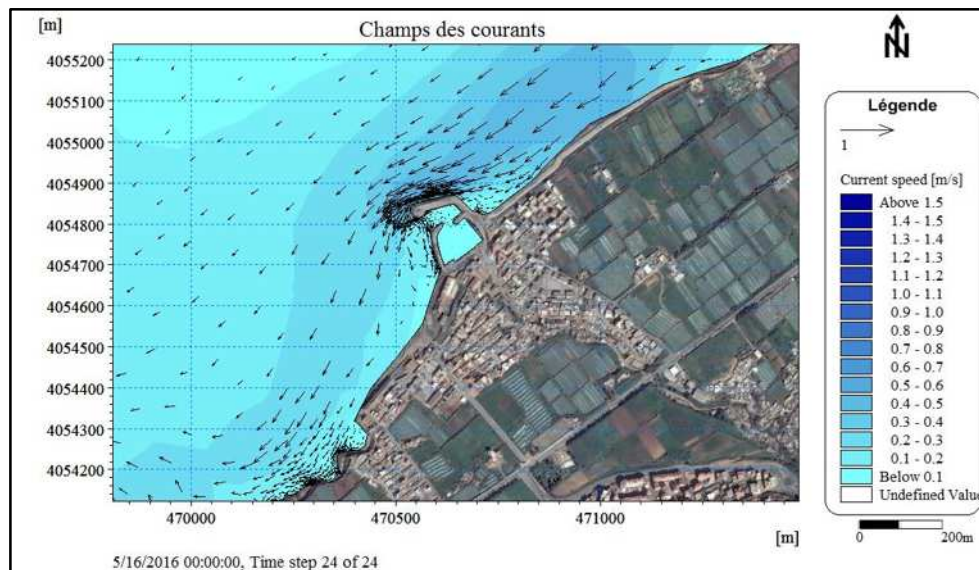


Figure n° 36: Carte de répartition du champ des courants, MWD=45° ; HS =2.56m ; T=8s. (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21)

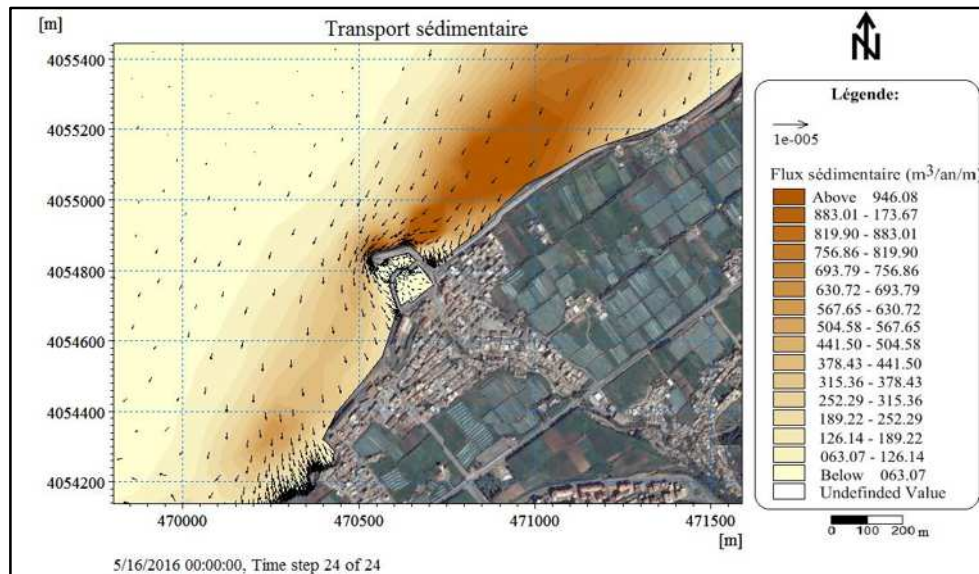
II.5.3.1.3. Transport sédimentaire (Sand Transport, ST):

La capacité du transport sédimentaire engendré sous l'effet des houles de Nord-Est (**Figure n°37**) se traduit par la forte agitation observée au niveau des champs de courant ; En effet la zone littorale située au Nord et à l'Est du port et le long de la jetée principale est le siège d'un transit sédimentaire important, on peut constater que ces houles de Nord-Est dès qu'elle arrivent au niveau du musoir de la jetée principale du port, qui constitue l'extension de l'ancien abri de pêche, dévient le flux sédimentaire à l'intérieur du port.

Les valeurs du flux sédimentaire au voisinage du rivage sont présentées comme suit :

En prenant les valeurs obtenues par le progiciel Mike on obtient ; qu'à l'EST on a un flux sédimentaire varie entre 94.61 et 2049.84 m³/an/m, au Nord de la jetée principale on enregistre un taux de déplacement de sédiment d'ordre 1072.22 m³/an/m par contre au niveau de la passe d'entrée du port on a un flux sédimentaire qui est de l'ordre de 16.4 m³/an/m et un flux entrant à l'intérieur de l'abri de pêche de 14.82 m³/an/m et enfin à l'Ouest on obtient un flux sédimentaire moins important qu'à l'Est dont la valeur est entre 94.61 et 851.47 m³/an/m. Cependant en prenant en considération la fréquence d'apparition annuelle de la houle de direction Nord Est (N 45°) qui de 67 jours par an, on trouvera un flux sédimentaire réel dont les valeurs varient comme suit:

On enregistre un taux du flux sédimentaire variant de 17.37 à 376.27 m³/an/m pour la région Est du site d'étude, un flux de 196.82 au Nord de la jetée principale, au niveau de la passe d'entrée on a un taux de déplacement des sédiments très faible qui est de 3.01 m³/an/m ce qui fait que le taux de sédiment entrant à l'intérieur de l'infrastructure est encore plus faible qui est de l'ordre de 2.72 m³/an/m et enfin un taux de déplacement de sédiment qui varie entre 17.37 et 156.3 m³/an/m est enregistré dans la région ouest du site.



II.5.3.2. Action des houles de direction Ouest (270°N)

II.5.3.2.1. Réfraction de la houle (Spectral Wave, SW) :

La **figure n°38** présente les résultats de l'étude de la réfraction pour une houle de secteur Ouest et de période de 8 secondes. Le coefficient de réfraction est en moyenne de 0.61 ce qui correspond à une faible perte d'énergie lors de la propagation des houles, ces dernières atteignent la côte avec un pivotement des orthogonales de direction Nord-Ouest à Sud-Est.

Les hauteurs significatives des houles débutent avec des valeurs importantes au large et diminuent en allant vers la côte.

L'action de ces houles au voisinage du rivage, se traduit par une variation de la hauteur significative de la manière suivante :

À l'Est du port on enregistre une hauteur significative qui varie de 0.8 m à 1.5 m par contre à l'ouest elle varie de 0.8m à 1.1m environ, on a donc des houles plus importante à l'Est qu'à l'Ouest. Par contre au niveau du musoir de la jetée on enregistre une hauteur significative importante qui est de l'ordre de 1.4m.

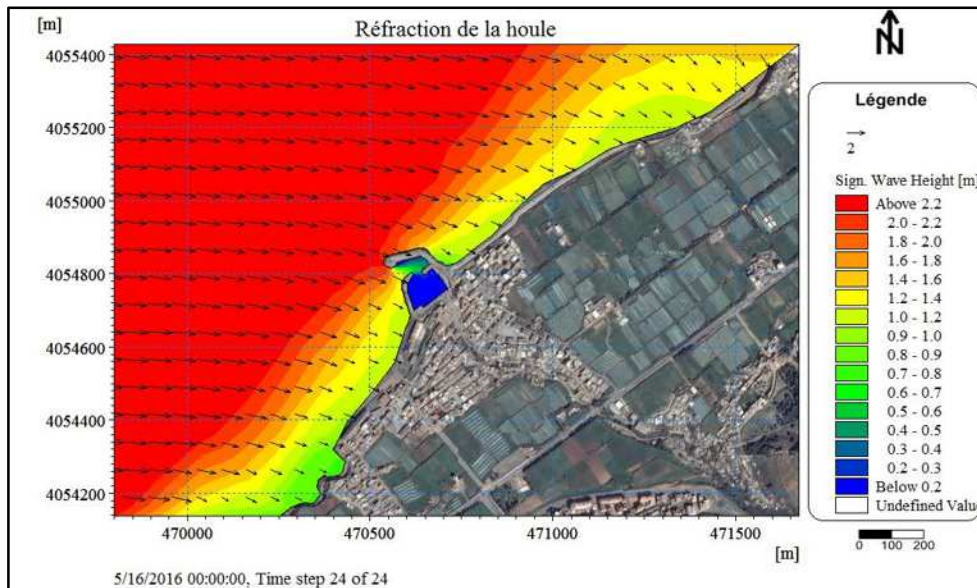


Figure n° 38: Carte de répartition du champ de réfraction de la houle, MWD=270° ; HS =2.67m ; T=8s. (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21)

II.5.3.2.2. Courantologie (Hydrodynamic, HD):

Nous pouvons constater, à partir des résultats de la simulation par le modèle Hydrodynamique (HD), que la houle d'Ouest (**Figure n°39**) engendre des courants de dérives littoraux parallèle à la côte, la direction de ces courants est de **Sud-Ouest** vers le **Nord-Est** du côté Ouest et l'Est de port, ces courants évoluent près du rivage en zone de déferlement en longeant la jetée principale avec une intensité très importante ; ce courant montre une seconde branche qui repart de l'Ouest vers l'Est mais avec une grande intensité et la naissance d'un champ tourbillonnaire à l'Est du port ce qui provoque une mobilisation permanente des sédiments L'intensité des courants est plus importante à l'Est qu'à l'Ouest, qui est de l'ordre de 0.6m/s pour le côté Est et de 0.3m/s pour le côté Ouest. Il est également à noter qu'un champ de courant entre à l'intérieur de port dont l'intensité atteint les 0.2m/s.

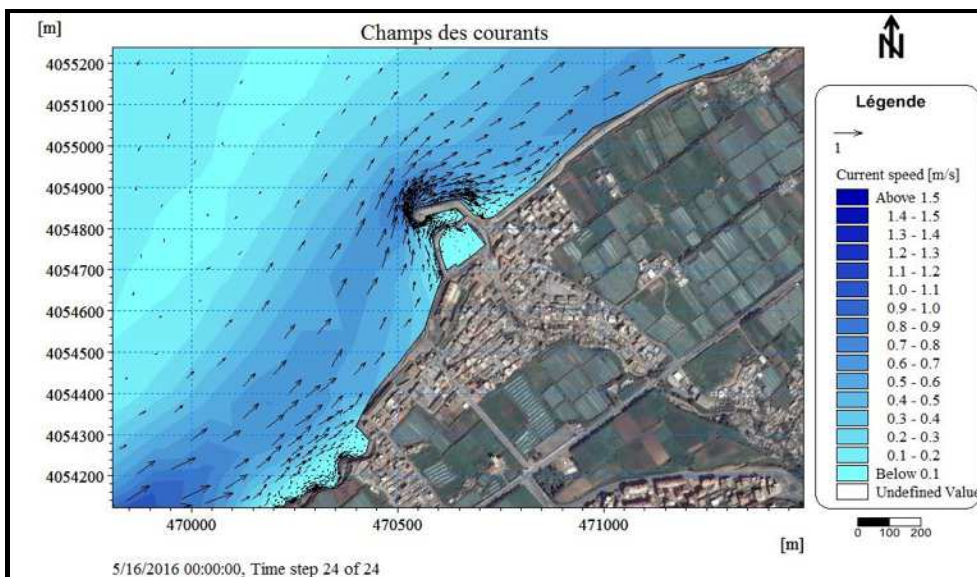


Figure n° 39: Carte de répartition du champ des courants, MWD=270° ; HS =2,67m ; T=8s. (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21)

II.5.3.2.3. Transport sédimentaire (Sand Transport, ST):

La simulation du taux du transport des sédiments non cohésifs est représentée dans la **figure n°40**. Les résultats de cette simulation montrent que le déplacement des sédiments suit le sens et l'intensité des courants, d'où on a un flux sédimentaire très important de direction de **Sud-Ouest à Nord-Est** à proximité de l'infrastructure et du rivage.

Un déplacement de sédiment vers l'intérieur du port est enregistré, on constate donc que les houles de direction Ouest (N270°) jouent un rôle très considérable dans l'ensablement du port, vu que ces houles sont frontales au niveau de la passe d'entrée.

Les valeurs du flux sédimentaire au voisinage du rivage sont présentées comme suit :

En prenant les valeurs obtenues par le progiciel Mike, on constate que plus on s'éloigne du port vers l'EST on obtient un flux sédimentaire qui augmente de 346.89 à 1545.26 m³/an/m, au niveau de la passe d'entrée du port on enregistre un flux sédimentaire d'environ 788.4 m³/an/m et un flux entrant à l'intérieur de l'abri de pêche de 100.92 m³/an/m et enfin à l'Ouest on obtient un flux sédimentaire plus important qui est entre 567.65 et 2428.27 m³/an/m.

Cependant en prenant en considération la fréquence d'apparition annuelle de la houle de direction Ouest (N 270°) qui est de 92 jours par an, on trouvera un flux sédimentaire réel qui augmente vers l'Est de 27.56 à 122.77 m³/an/m pour la région Est du site d'étude, un taux de déplacement de sédiment de 198.72 m³/an/m au niveau de la passe d'entrée et un flux entrant à l'intérieur de l'infrastructure de 25.44 m³/an/m et enfin un flux entre 45.1 et 192.93 m³/an/m est enregistré dans la région ouest du site.

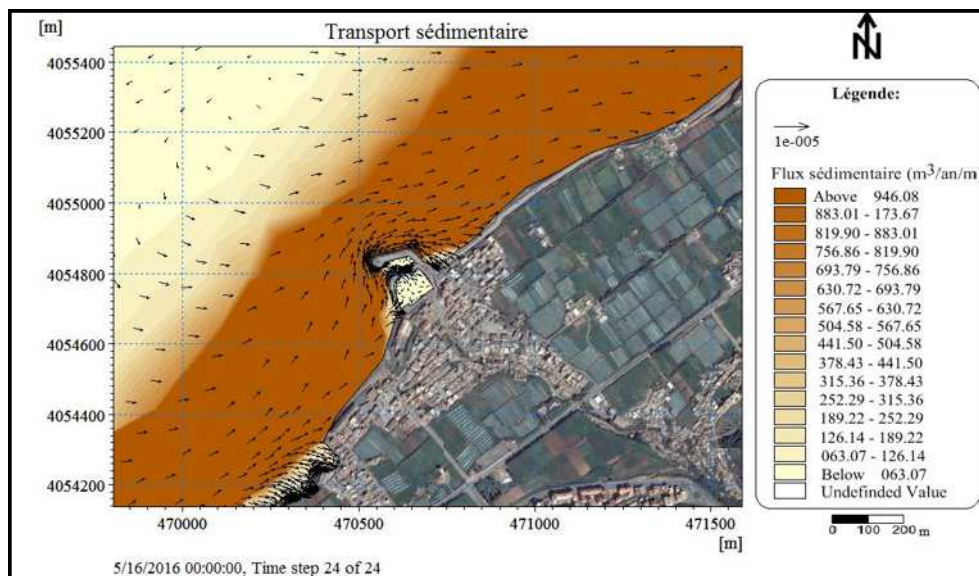


Figure n° 40: Carte de répartition du flux sédimentaire, MWD=270° ; HS =2,67m ; T=8s. (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21)

II.5.3.3. Action des houles de direction Nord- Ouest (315°N)

II.5.3.3.1. Réfraction de la houle (Spectral Wave, SW):

La **figure n°41** présente les résultats de l'étude de la réfraction pour une houle de secteur Nord-Ouest. Comme pour les houles de Nord-Est, la propagation se fait de façon frontale de direction Nord-Ouest à Sud-Est.

Le coefficient de réfraction est en moyenne égal à 0.62, les houles ne perdent que très peu de leur énergie, ces houles atteignent la zone d'étude sans changer de direction.

Concernant la hauteur de la houle, elle diminue en fonction de leurs propagations du large vers la côte, elles sont beaucoup moins importantes que celles des houles de direction Ouest.

L'action de ces houles au voisinage du rivage, se traduit par une variation de la hauteur significative de la manière suivante :

À l'Est du port on enregistre une hauteur significative qui varie de 1.2 m à 0.8 m par contre à l'ouest elle varie de 2 m à 1.1 m environ, on a donc des houles plus importantes à l'Ouest qu'à l'Est.

Il est à noter qu'au niveau de la jetée principale du port, les houles arrivent avec des hauteurs très importantes qui sont en moyenne d'ordre 1.8m. Lorsque la houle tapote la jetée elle subit le phénomène de diffraction, ce qui permet de diminuer son énergie et sa hauteur et de protéger le port, on enregistre d'ailleurs une diminution de hauteur jusqu'à 0.8m au niveau du musoir de la jetée.

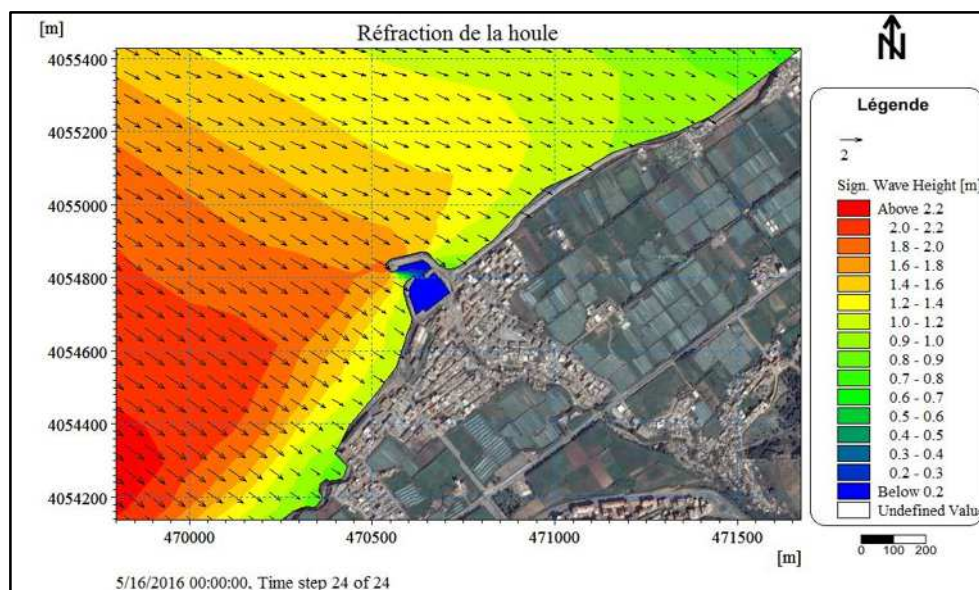


Figure n° 41: Carte de répartition du champ de réfraction de la houle, MWD=315° ; HS =2.64m ; T=8s. (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21)

II.5.3.3.2. Courantologie (Hydrodynamic, HD):

La houle de Nord-Ouest montre des courants de dérives littorales (**Figure n°42**), au large la direction des courants sont déviés de **Nord-Ouest** vers le **Nord-Est** avec une intensité plus ou moins importante, en approchant du rivage l'intensité de ces courants diminue formant ainsi des courants parallèles près des côtes (courant de dérive littoral), la direction de ces courants est

de **Sud-Ouest** vers le **Nord-Est** dont l'intensité est légèrement équitable du côté Est et Ouest du port avec des valeurs qui varient entre 0.1 et 0.4 m/s.

Cependant au niveau de la passe d'entrée un champ de courant entre à l'intérieur du port qui arrive jusqu'à l'ancienne passe de l'abri de pêche avec une intensité qui atteint les 0.24m/s, ce qui crée une importante agitation du plan d'eau menaçant ainsi les navires entrant au port.

On remarque aussi qu'à l'Est près de la jetée principale la formation d'un courant circulaire qui va dans le sens inverse des aiguilles d'une montre.

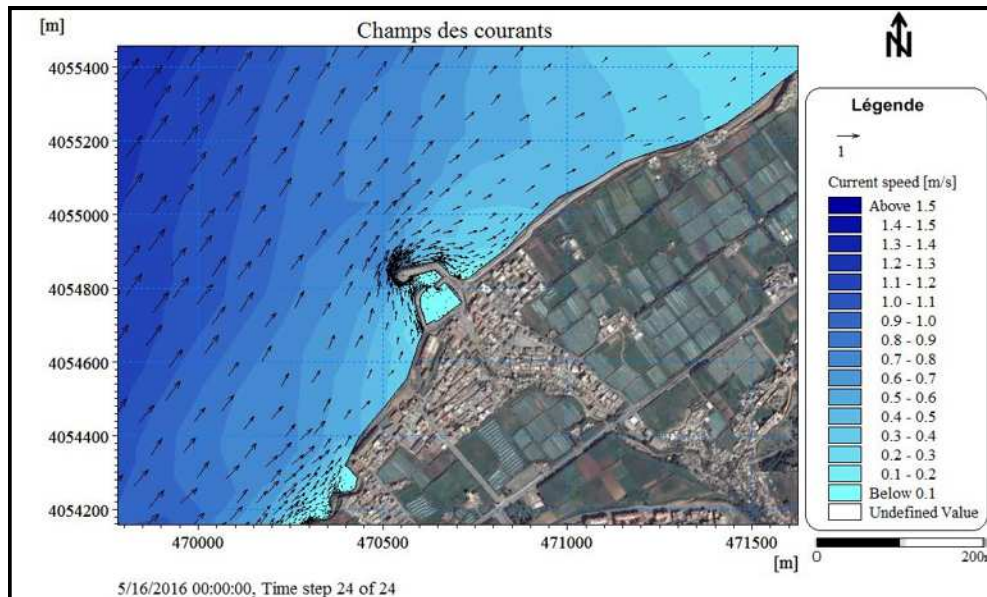


Figure n° 42: Carte de répartition du champ des courants, MWD=315° ; HS =2,64m ; T=8s. (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21)

II.5.3.3.3. Transport sédimentaire (Sand Transport, ST):

Les résultats de la simulation des houles de direction Nord-Ouest (**Figure n°43**) montrent que le transport sédimentaire au niveau du site d'étude suit exactement le sens des courants qu'on a décrit au paragraphe précédent, donc la zone littorale est sujette à un important flux sédimentaire et que les houles de direction Nord-Ouest (N315°) ont un impact direct sur l'ensablement du port.

En effet on remarque la présence d'un transit sédimentaire qui s'effectue parallèlement à la côte de l'Ouest vers l'Est, une partie de ce transit alimente le port et l'autre partie continue vers l'Est.

En effet la zone littorale située au Nord et à l'Ouest de l'abri de pêche et le long de la jetée principale est les sièges d'un transit sédimentaire important comme le montre les valeurs du flux au voisinage du rivage :

En prenant les valeurs obtenues par le logiciel Mike on obtient ; qu'à l'EST on a un flux sédimentaire d'environ 1734.48 m³/an/m à proximité de l'infrastructure, en allant vers l'Est cette valeur diminue progressivement jusqu'à atteindre un taux de l'ordre de 227.05 m³/an/m, au niveau de la passe d'entrée du port on enregistre un flux sédimentaire beaucoup trop important qui est de l'ordre de 1671.41 m³/an/m et un flux entrant à l'intérieure de l'abri de pêche de 305.9 m³/an/m et enfin à l'Ouest on obtient un flux sédimentaire plus important qui est entre 252.29 et 6307.2 m³/an/m.

Cependant en prenant en considération la fréquence d'apparition annuelle de la houle de direction Nord-Ouest (N 315°) qui est de 24 jours par an, on trouvera un flux sédimentaire réel qui varie de 14.93 à 114.04 m³/an/m pour la région Est du site d'étude, un flux de 109.9 m³/an/m au niveau de la passe d'entrée et un flux entrant à l'intérieur de l'infrastructure de 20.11 m³/an/m et enfin un flux qui varie entre 16.58 et 414.72 m³/an/m est enregistré dans la région ouest du site.

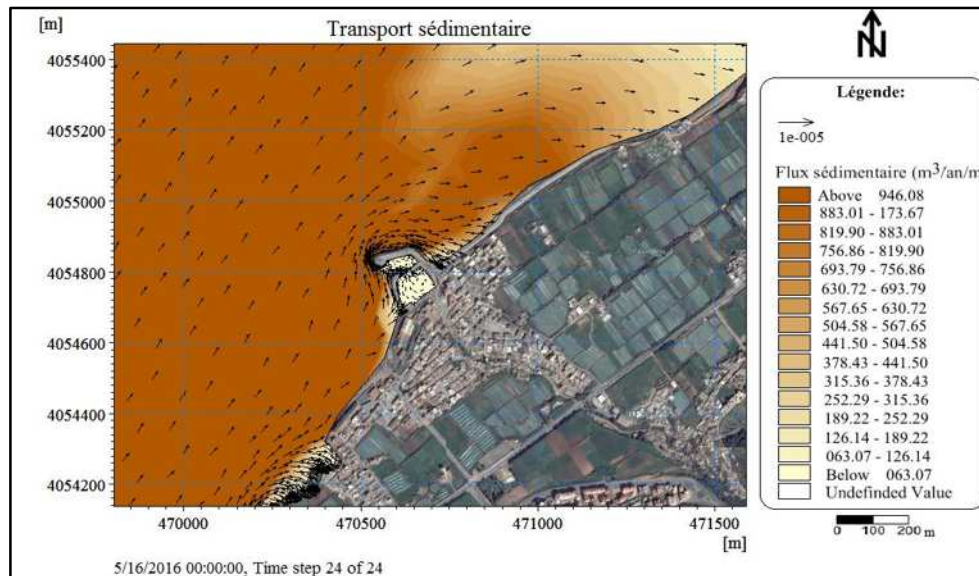


Figure n° 43: Carte de répartition du flux sédimentaire, MWD=315° ; HS =2,64m ; T=8s. (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21)

II.5.3.4. Action des houles de direction Nord (360°N)

II.5.3.4.1. Réfraction de la houle (Spectral Wave, SW) :

La **figure n°44** présente les résultats de l'étude de la réfraction pour une houle de secteur Nord. Globalement la propagation se fait avec un angle semblable à l'angle d'incidence avec une direction Nord à Sud-Sud-Ouest.

Le coefficient de réfraction est en moyenne égal à 0.82, de ce fait ces houles atteignent le trait de côte sans qu'elles changent de direction, donc les houles ne perdent que un peu de leur énergie. Les orthogonales ne pivotent que légèrement à l'approche du rivage.

L'action de ces houles au voisinage du rivage, se traduit par une variation de la hauteur significative de la manière suivante :

À l'Est du port on enregistre une hauteur significative qui varie de 1.06 m à 1.7 m par contre à l'ouest elle varie de 0.5m à 1.2 m environ, on a donc des houles plus importantes à l'Est qu'à l'Ouest.

Comme pour le cas des houles de Nord-Ouest, les houles de Nord arrivent, au niveau de la jetée principale du port, avec des hauteurs très importantes qui sont en moyenne d'ordre 2m. Lorsque cette dernière frappe la jetée elle subit le phénomène de diffraction, ce qui permet de diminuer son énergie et sa hauteur et de protéger ainsi le port, on enregistre d'ailleurs une diminution de hauteur jusqu'à 0.6m au niveau du musoir de la jetée.

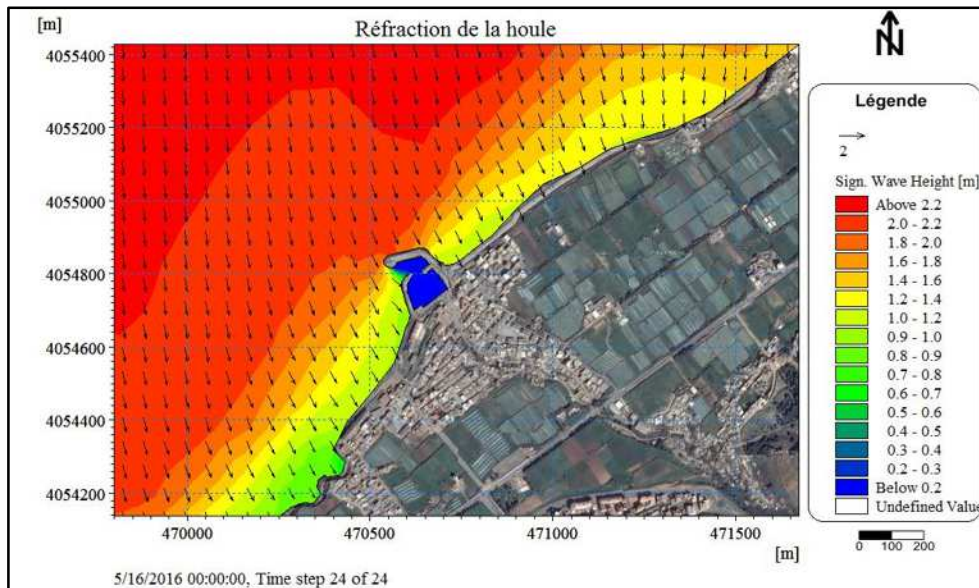


Figure n° 44: Carte de répartition du champ de réfraction de la houle, MWD=360° ; HS =2.67m ; T=8s. (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21)

II.5.3.4.2. Courantologie (Hydrodynamic, HD):

L'étude courantologique concernant la houle de Nord (N360°), montre une répartition des champs des courants sur différentes direction (**Figure n°45**).

Ces courants prennent naissance en offshore avec une intensité faible, puis en s'approchant du rivage l'intensité de ces courants augmente et se dévient, formant ainsi à l'Ouest des courants parallèles par rapport à la côte (longshore), dirigé de **Nord-Est** vers le **Sud-Ouest** avec une intensité qui varie de 0.5 à 0.7 m/s et un autre courant giratoire dans le sens contraire des aiguilles d'une montre au niveau des côtes d'Est avec une intensité plus faible qui varie de 0.1 à 0.5 m/s.

Cependant au niveau de la passe d'entrée un champ de courant entre à l'intérieur de l'abri de pêche qui crée un courant circulaire dont l'intensité atteint les 0.1m/s.

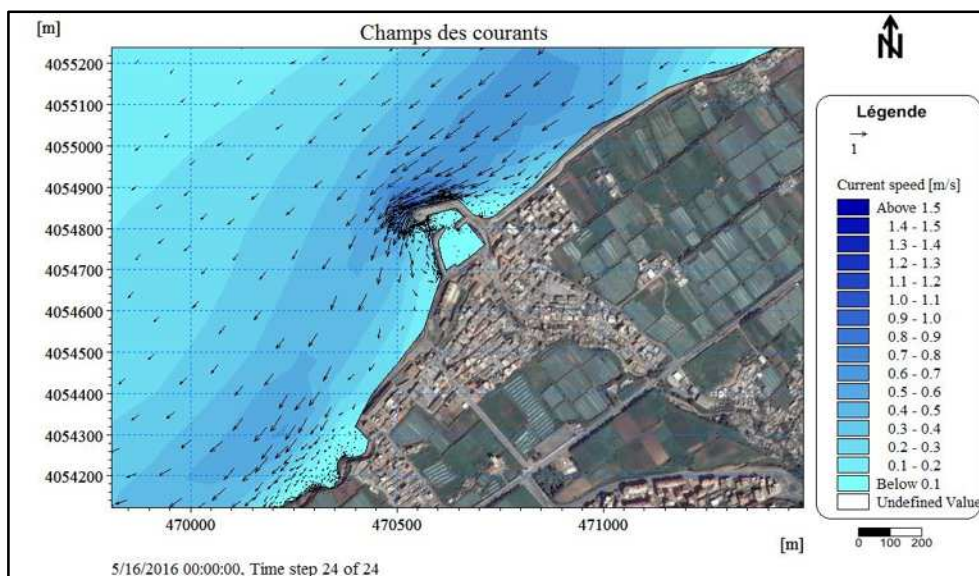


Figure n° 45: Carte de répartition du champ des courants, MWD=360° ; HS =2.67m ; T=8s. (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21)

II.5.3.4.3. Transport sédimentaire (Sand Transport, ST):

Les résultats de la simulation des houles de direction Nord (**Figure n°46**) montrent que le transport sédimentaire au niveau du site d'étude suit le sens des courants qu'on a décrit au pare avant, donc la zone littoral est sujette à un important transit sédimentaire. On note que la houle du Nord joue aussi un rôle important dans l'ensablement de l'abri de pêche.

En effet on remarque la présence d'un transit sédimentaire qui s'effectue parallèlement à la côte de l'Est vers l'Ouest, ce qui peut induire une carence en sédiment du côté Est du port. On note aussi qu'une partie de ce transit alimente le port et l'autre partie continue vers l'Ouest.

Les valeurs du flux sédimentaire au voisinage du rivage sont présentées comme suit :

En prenant les valeurs obtenues par le progiciel Mike on obtient ; qu'à l'EST on a un flux sédimentaire d'environ $1482.19 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$ à proximité de l'infrastructure, en allant vers l'Est cette valeur diminue progressivement jusqu'à atteindre un taux de l'ordre $312.21 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$, au niveau de la passe d'entrée de l'abri de pêche on enregistre un flux sédimentaire d'un taux de $176.6 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$ et un flux entrant à l'intérieur de l'abri de pêche de $72.53 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$ et enfin à l'Ouest on a un flux sédimentaire d'environ $3784.32 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$ à proximité de l'infrastructure, en allant vers l'Ouest cette valeur diminue progressivement jusqu'à atteindre un taux de l'ordre $536.11 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$.

Cependant en prenant en considération la fréquence d'apparition annuelle de la houle de direction Nord ($N 360^\circ$) qui est de 31 jours par an, on trouvera un flux sédimentaire réel qui varie de 27.28 à $125.88 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$ pour la région Est du site d'étude, un flux de $14.99 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$ au niveau de la passe d'entrée et un flux entrant à l'intérieur de l'infrastructure de $8.16 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$. et enfin un flux qui varie entre 45.53 et $321.41 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$ est enregistré dans la région ouest du site.

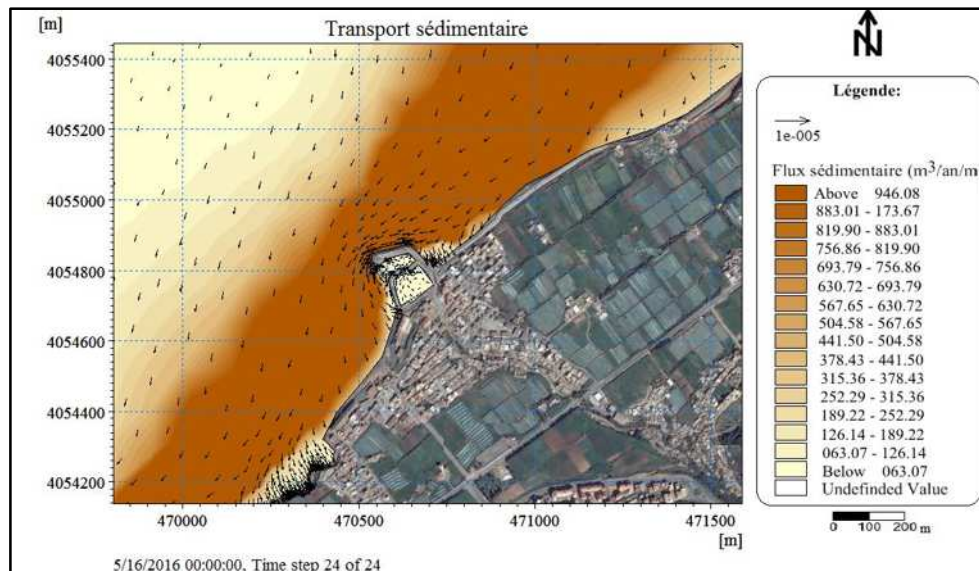


Figure n°46: Carte de répartition du flux sédimentaire, MWD=360° ; HS =2,67m ; T=8s. (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21)

II.5.3.5. Conclusion :

- Pour le deuxième cas où l'abri de pêche est réaménagé en port de pêche, grâce aux résultats de la simulation par le modèle Spectral Waves (SW), on a pu déterminer les houles les plus énergétiques qui attaquent le rivage C'est les houles de secteur **Ouest**, **Nord** et **la Nord-Ouest** qui sont donc les plus importante, ceci a été confirmé par le calcul du coefficient de réfraction, déterminé à partir des résultat de l'extraction de donnée des SW de chaque secteur de houle par l'outil « **Data Extraction** » du progiciel Mike21 (**Tableau n°3**).
- Ces houles vont être prises en compte dans l'étude d'aménagement et de protection qu'on effectuera plus tard dans le chapitre VI.

Tableau n°3: Données moyennes des houles obtenues par direction et par période de la houle annuelle à -10.00m.

Angle d'incidence des houles (°)	Période (s)	Hauteur significatives des houles au large (m)	Hauteur significatives des houles à -10m	Coefficients de réfraction Kr
N 45°	8	2.56	1.41	0.55
N 270°	8	2.67	1.64	0.61
N 315°	8	2.64	1.64	0.62
N 360°	8	2.67	2.18	0.82

- Les résultats de la simulation du taux du transport des sédiments non cohésifs, confirment que le rivage de Khemisti est un siège d'une dynamique sédimentaire active, ainsi un transit littoral dominant du **Sud-Ouest** vers le **Nord-Est**.
On constate que la totalité du rivage de Khemisti est soumis à un débit du transit littoral total annuel moyen de l'ordre de 126.71 m³/an/m, ceci en prenant en considération toutes les directions des houles.
Il faut noter que les quatre directions de houle ont un impact direct sur l'ensablement du port, en particulier la houle de direction **Ouest** avec un taux de flux sédimentaire entrant d'environ 25.44 m³/an/m qui représente 45.04 % de la totalité du flux entrant, mais aussi la direction de **Nord-ouest** engendre un taux de flux entrant d'environ 20.11m³/an/m (35.66% du flux totale entrant) qui représente un flux moins important que celle de la houle de direction d'**Ouest**, certes, mais c'est un flux non négligeable qu'il faut prendre en considération pour la protection et la gestion de notre site d'étude.

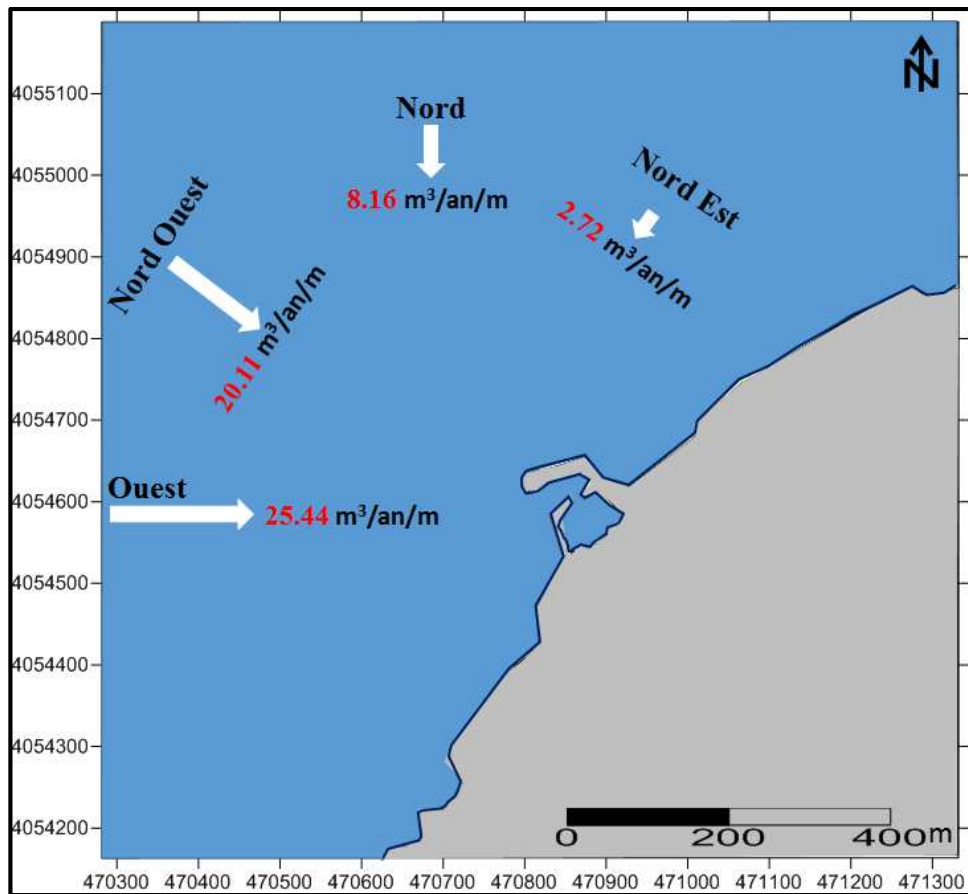


Figure n°47: Carte du flux sédimentaire entrant à l'intérieur du port pour toutes les directions de houle

CHAPITRE III
ETUDE D'IMPACT DE
L'INFRASTRUCTURE PORTUAIRE SUR
LA ZONE

III.1. Introduction :

Après la réalisation de l'extension de l'abri de pêche on a constaté, lors des investigations et à partir des résultats de la simulation, la présence d'un déséquilibre sédimentaire sur le site.

A la lumière de ce constat, et pour une meilleure compréhension de la dynamique sédimentaire, nous allons effectuer une comparaison entre les résultats des deux simulations numériques réalisée précédemment ; à savoir l'étude de la réfraction de la houle, les courants et le transport sédimentaire sur le site en question. Cela nous permettra de mettre en évidence l'impact de l'extension de l'infrastructure portuaire sur le port en lui-même, ainsi que sur l'évolution et la dynamique de la morphologie sous-marine ainsi que celle du trait de côte.

Par la suite nous allons déterminer le degré de risque de chaque segment du trait de côte, en utilisant l'indice de vulnérabilité côtière « CVI ».

III.2. Étude comparative des résultats de la modélisation numérique du système hydro-sédimentaire du rivage de Khemisti des deux cas étudiés:

L'étude de la simulation qu'on a effectuée dans le chapitre II nous a permis de voir l'impact de l'extension de l'abri de pêche sur le site d'étude ainsi que sur l'infrastructure portuaire.

III.2.1 La réfraction de la houle:

La comparaison entre la répartition de la réfraction des houles pour les deux cas d'étude, a montré que l'installation de la jetée principale a un impact positif vu qu'elle a permis de diminuer l'énergie de la houle au niveau du bassin de l'abri de pêche, mais cette diminution reste insuffisante du moment que la houle pénètre toujours à l'intérieur du port avec une hauteur assez importante.

Pour bien visualiser l'impact de l'installation de la jetée, on prend l'exemple des houles les plus significatives « les houles de Nord-Ouest » dans les deux cas d'étude (**Figure n°48 et n°49**).

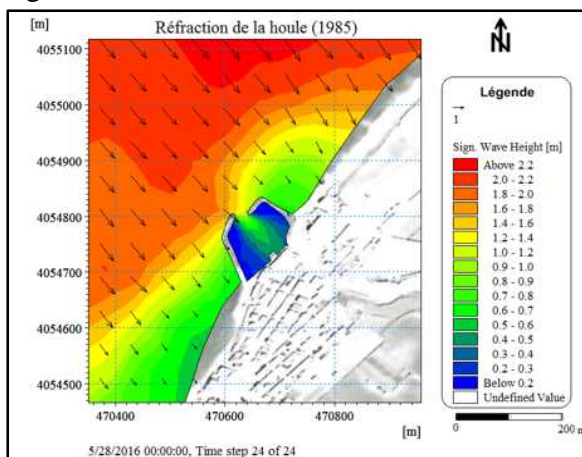


Figure n°48 : Zoom sur l'abri de pêche (Réfraction de la houle N 315°, T 8s)

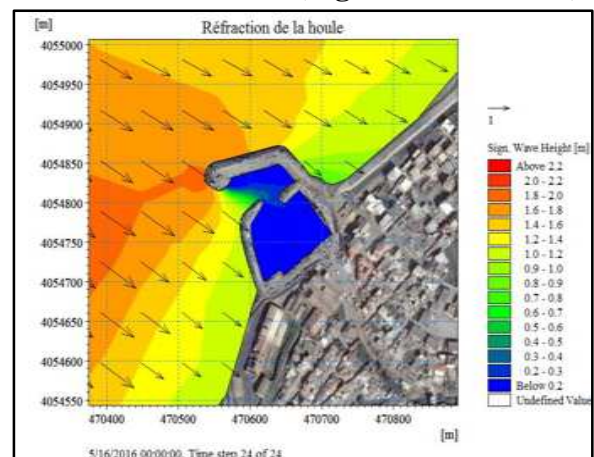


Figure n°49: Zoom sur le port de pêche (Réfraction de la houle N 315°, T 8s)

En effet d'après les figures ci-dessus on remarque que l'énergie de la houle de **Nord-Ouest** a diminué en 2016 à l'intérieur du port, c'est ce qui a été confirmé en calculant le coefficient de réfraction sur le même point pour les deux cas d'étude, on a donc trouvé un coefficient de 0.64 pour l'étude de l'abri de pêche sans extension et de 0.53 concernant le port de pêche actuel, mais toujours est-il la hauteur de la houle à l'intérieur du port au niveau du nouveau bassin reste plus ou moins importante qui est de l'ordre de 0.52m.

III.2.2. Les courants:

On constate après comparaison de l'étude courantologique des deux cas, que globalement la jetée principale a permis de protéger le bassin contre les courants frontaux, qui créent une agitation importante à l'intérieur de l'abri de pêche, d'où on a un bassin actuel plus calme.

Cependant un autre impact, mais négatif, est à constater au niveau de la passe d'entrée, c'est la formation des courants circulaires due à la réfraction des courants venant du Nord-Est au musoir de la jetée principale, cela est remarqué pour les houles de directions Nord-Est et Nord.

Pour les directions les plus dominante « **Nord-Ouest et Ouest** » c'est des courants semi-circulaire qui sont créés, ces dernier entre à l'intérieur du port jusqu'à atteindre le deuxième bassin formé après extension et en sort longeant la jetée principale.

On déduit donc que les courants créent toujours une certaine agitation du port même après l'extension, ceci est bien visualisé au niveau de l'exemple de la houle de Nord-Ouest présenté ci-dessous :

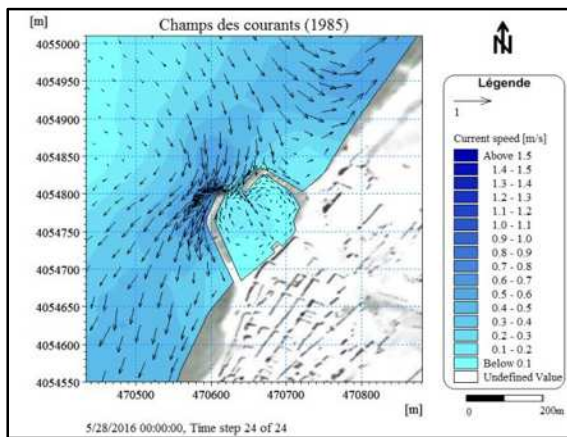


Figure n°50 : Zoom sur l'abri de pêche (Champs des courants N 315°, T 8s)

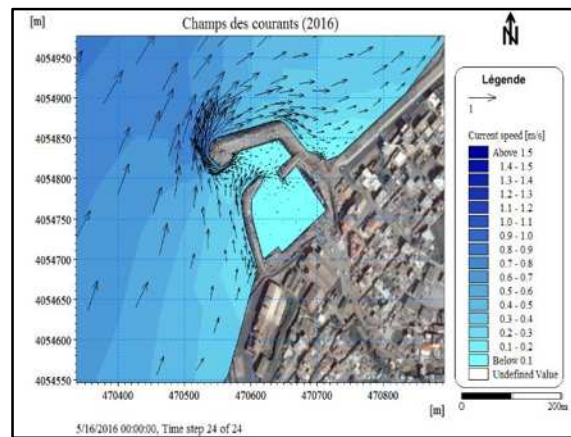


Figure n°51 : Zoom sur le port de pêche (Champs des courants N 315°, T 8s)

III.2.3. Le transport sédimentaire:

À partir des résultats obtenus de la modélisation du transport sédimentaire (**Figure n°52 et n°53**), on constate que l'ensablement persiste toujours malgré que l'extension de l'abri de pêche ait pour rôle d'éliminer définitivement l'ensablement, ceci est confirmé lors des calculs du taux de sédiment entrant à l'intérieur du port, pour les houles de directions Nord-Ouest qui sont parmi les houles les plus importante dans les deux cas d'étude, où on enregistre un taux de $29.63\text{m}^3/\text{an}/\text{m}$ pour le premier cas et un taux de $22.2\text{m}^3/\text{an}/\text{m}$ actuellement. Cette sédimentation va donc faire diminuer le niveau du tirant d'eau perturbant ainsi la circulation des navires.

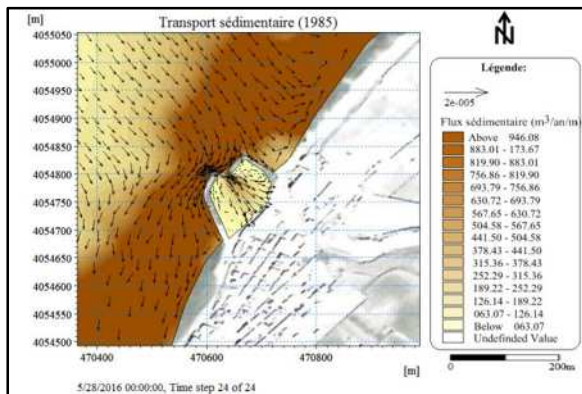


Figure n°52: Zoom sur l'abri de pêche (Flux sédimentaire N 315°, T 8s)

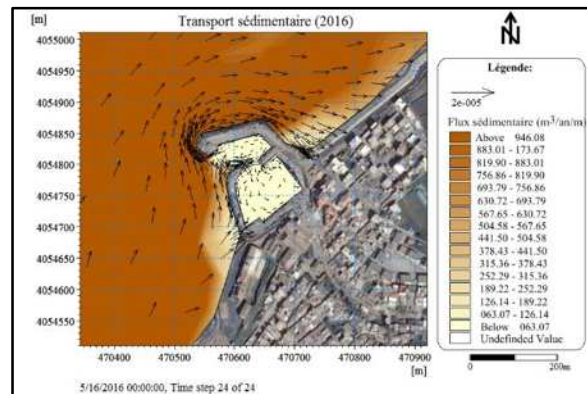


Figure n°53: Zoom sur le port de pêche (Flux sédimentaire N 315°, T 8s)

Concernant la partie Est, à proximité du port on remarque la présence d'un transit sédimentaire qui s'effectue vers le Nord-Est cela pour les houles de Nord-Ouest et Ouest arrachant ainsi les sédiments de la côte ce qui va créer une érosion. Les houles de Nord n'épargnent pas cette zone vu qu'elles engendrent aussi un transit sédimentaire important vers le Sud-Ouest, ce transit arrache aussi des sédiments de la côte d'Est, par contre pour les houles de direction Nord-Est elle effectue aussi un transit sédimentaire vers l'Ouest mais qui s'avère négligeable en le comparant aux transits engendré par les autres houles.

On peut supposer que cet impact a débuté juste après la réalisation de l'extension c'est pour cela que le laboratoire d'étude maritime a opté pour la mise en place d'enrochement dans la parties Est du port afin de protéger le rivage contre l'érosion marine.

III.3. L'évolution de la morphologie sous-marine:

Afin de déceler les changements survenus sur la frange sous-marine de notre site d'étude à savoir si les fonds se sont abaissés (phénomène d'érosion) ou se sont rehaussés (phénomène de sédimentation), on va optée pour une analyse des deux levés bathymétriques suivant :

- Un levé bathymétrique effectué en 1985 par le laboratoire d'étude maritime.
- Un levé bathymétrique actuel qu'on a effectué en mai 2016.

On effectue cette analyse par la réalisation de 6 profils ; le profil n°1 et le profil n°2 situés dans la partie Ouest du port, le profil n°3 située au niveau de la jetée principale et les profils n°4, n°5 et n°6 situés dans la partie Est, ces derniers sont réalisées par le logiciel MIKE 21. la localisation de ces profils est présenté sur les **Figures 54**.

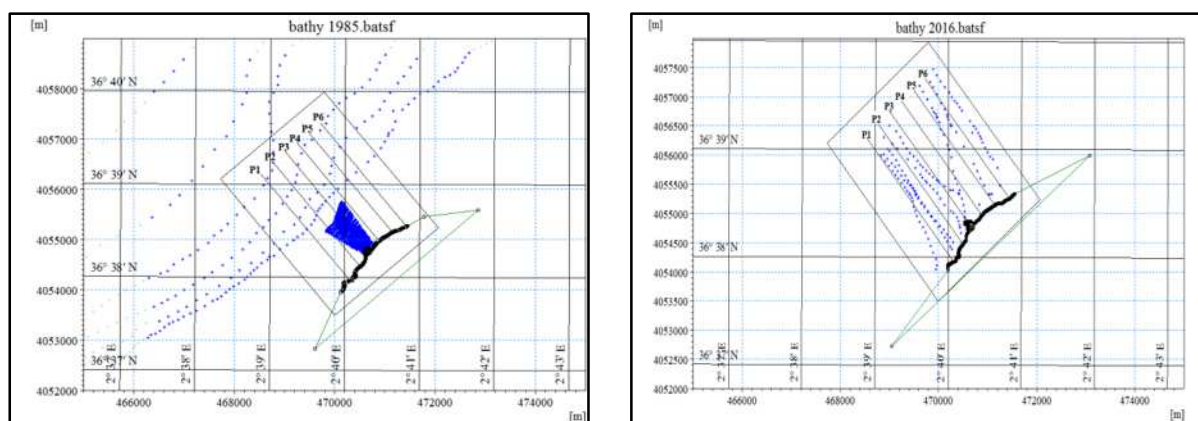


Figure n°54: Localisation des 6 profils transversaux à étudié, tracés sur la bathymétrie de 1985 et de 2016 (réalisée par le logiciel Mike 21).

Les profils issus des deux bathymétries seront par la suite superposés par l'extension de Mike 21 « **Plot Composer** » de sorte que le profil n°1 de la bathymétrie 1985 se superpose avec le profil n°1 de celle de 2016 et ainsi de suite pour les autres profils, on aura donc 6 résultats qui montrent l'évolution du profil sous-marin (**Figure 55, 56, 57, 58, 59 et 60**).

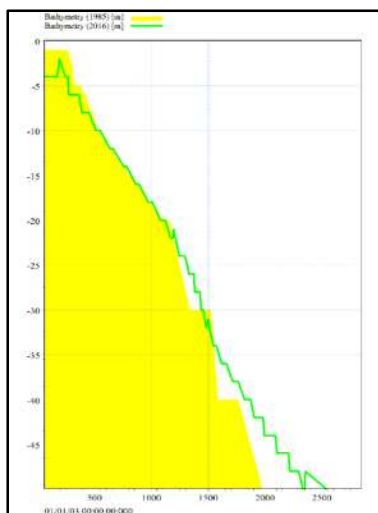


Figure n°55: Évolution du profil de la frange sous-marine : Cas du profil Ouest n°1

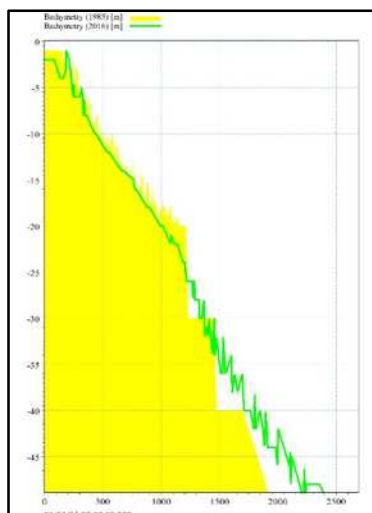


Figure n°56: Évolution du profil de la frange sous-marine : Cas du profil Ouest n°2

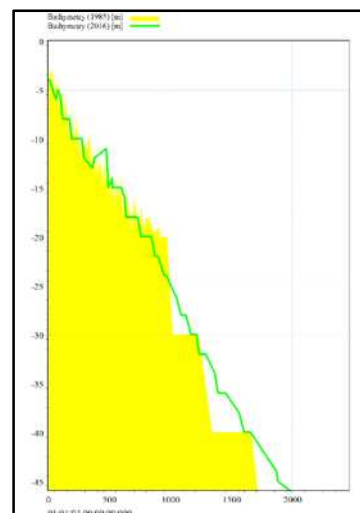


Figure n°57: Évolution du profil de la frange sous-marine : Cas du profil Centre n°3



Figure n°58: Évolution du profil de la frange sous-marine : Cas du profil Est n°4

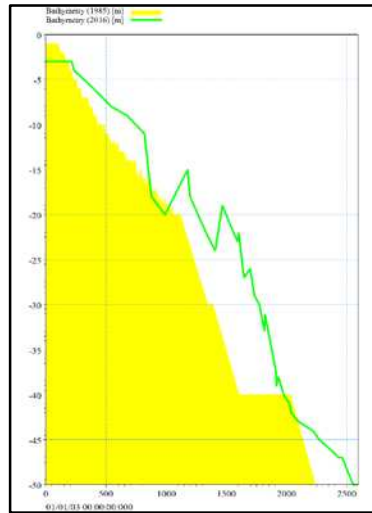


Figure n°59: Évolution du profil de la frange sous-marine : Cas du profil Est n°5

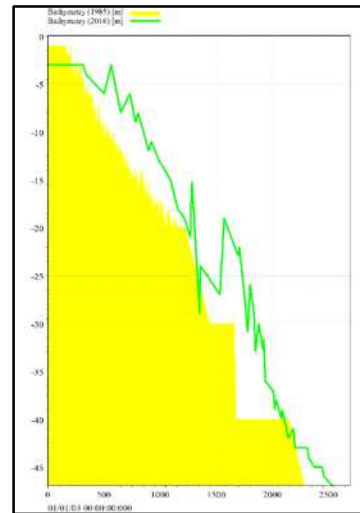


Figure n°60: Évolution du profil de la frange sous-marine : Cas du profil Est n°6

Commentaire :

- Partie Ouest du port :

La comparaison des profils (n°1) de 1985 et 2016, montre que le fond marin subit une faible érosion proche de la côte de 0 à -10m, par la suite le fond devient plus stable et régulier à la profondeur de -10m jusqu'à -20m, au-delà de -20m on constate que le fond s'est engraisés de l'ordre de 1 à 2m qui pourrai être à cause du déplacement des sédiments de la côte vers le large. Cependant pour le cas du profil (n°2) entre -10m et -20m on enregistre une érosion et non un engraissement du fond, on peut expliquer cela par la destruction de la posidonie, qui se trouve

à la sortie du port, due à une forte pollution par les métaux lourds. On peut rajouter qu'à partir de -20m le fond commence à être plus accidenté comparant au profil de 1985.

- Partie centre (devant la jetée principale) :

Au niveau de cette partie on remarque que pour les deux profils (n°3) de 1985 et 2016, le fond présente une irrégularité plus ou moins importante qui persiste jusqu'à atteindre les grandes profondeurs. Une différence entre ces deux profils est à noter, celle d'un faible engraissement des fonds actuel ainsi qu'une élévation de l'ordre de 2m pour le cas du profil 2016 au niveau de la profondeur de -12m, cette élévation peut être expliquée par le déplacement des sédiments érodés de la côte vers le large ainsi ceux qui proviennent du transit sédimentaire de direction Nord-Est à Sud-Ouest, ces sédiments sont donc bloqués par les rochers présents sur cette partie de la frange sous-marine.

- Partie Est du port :

Le profil n°4 présente une évolution du fond marin plus ou moins stable à partir de l'isobathe de -5m jusqu'à -20m, par contre au-delà de cette profondeur le fond s'est rehaussé.

À ce niveau de cette partie on remarque que les profils n° 5 et 6 présentent tous des irrégularités très importantes du fond, cela est dû au fait que ce secteur est caractérisé par la présence de plusieurs platiers rocheux. En plus de cette irrégularité on enregistre un engraissement à partir des profondeurs de -5m jusqu'à -20m ceci confirme que la plage d'extrême Est s'est érodée, les sédiments arrachés à cette plage sont donc transportés vers la plage sous-marine.

- Pour conclure, l'évolution des profils entre 1985 et 2016 est relativement importante et représente bien les tendances évolutives des fonds dans la zone d'étude et cela est dû à l'implantation de la jetée principale qui a complètement modifié le transit sédimentaire de la zone.

III.4. L'évolution du trait de côte :

Dans le rivage de Khemisti, les travaux de construction et d'extension du port ont modifié l'équilibre sédimentaire, ce qui a été démontré par l'étude comparative qu'on a effectuée au préalable, le déséquilibre dans le budget sédimentaire donne un aspect évolutif au rivage, ce qui entraîne des modifications dans la configuration de la côte. Notre objectif est d'analyser l'évolution de la côte après l'extension en se basant sur une étude diachronique.

III.4.1. Variation de la ligne du trait de côte:

L'étude des changements passés d'un littoral peut se faire par différentes méthodes d'analyse. L'interprétation de photographies aériennes, l'analyse de cartes (historiques, topographiques et hydrographiques), l'étude des images satellitaires, des relevés sur le terrain et des enquêtes auprès des gens du milieu constituent autant de sources d'information pour étudier le trait de côte (**Grenier et Dubois, 1990, in, Jamal Eddine EL ABDELLAOUI et André OZER, 2007**).

Les données disponibles qu'on a utilisées pour analyser l'évolution passée et actuelle du trait de côte sont des images prises pendant la saison estivale:

- Trait de côte de 1958 issu de la photo aérienne de l'Institut National de cartographie.
- Les traits de côtes issus des images satellitaires extraites de Google Earth de 2009 et 2016.

La digitalisation de la ligne du rivage sur les images a permis la superposition des tracés des années 1958, 2009 et 2016 ; le résultat obtenu est présenté ci-dessous :

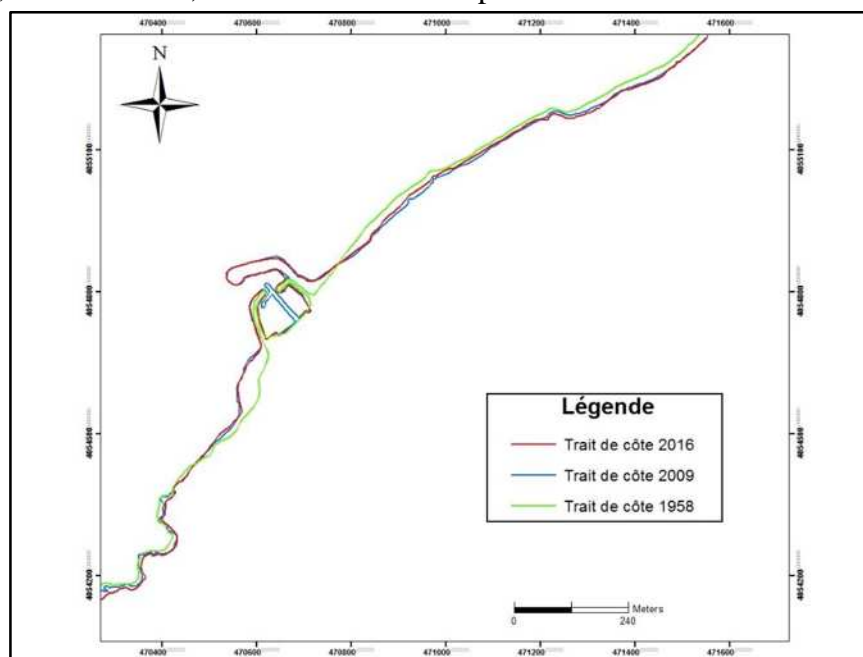


Figure n° 61: Carte d'évolution de la ligne du rivage dans la région de Khemisti durant les années 1958, 2009, 2016 (réalisée à l'aide d'ARCGIS)

Commentaire :

L'étude de l'évolution de la ligne du rivage de Khemisti entre 1958 et 2016 montre une nette érosion à l'Est du port surtout au niveau de la plage d'extrême Est, ainsi qu'à l'ouest au niveau des petites criques présentes sur la côte.

Entre 2009 et 2016, on remarque une petite avancé du trait de côte à l'Est du port, ce qui est du à la mise en place d'enrochement pour protéger le rivage et la rue de dessus, cependant la plage d'extrême Est continue toujours à s'éroder vu qu'aucune protection n'est prise en compte. Il faut noter que l'accumulation qu'on retrouve juste à l'ouest du port n'est pas une accumulation naturelle mais plutôt une artificialisation de la côte par des enrochements naturels.

III.4.2. Évaluation du taux d'évolution de la ligne du rivage :

Il est important de rappeler que le processus de numérisation, de redressement et de géo-référencement des photographies puis de digitalisation du trait de côte génère une marge d'erreur dont il faut tenir compte dans l'analyse et l'évaluation du taux d'évolution de la ligne du rivage, la somme des erreurs engendrées par cette méthode d'analyse est estimée à $\pm 10\text{m}$ entre deux clichés successifs (AL SIDCHIKH, S., 2011).

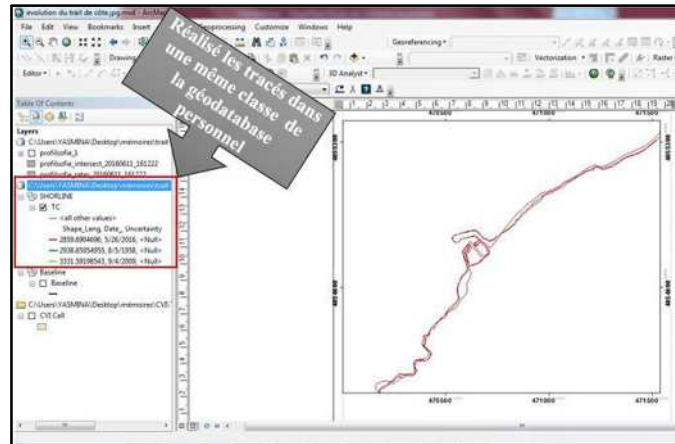
Pour estimer le taux d'évolution du trait de côte, on a utilisé l'outil DSAS d'Arc Gis qui permet de réaliser un calcul statistique des taux d'accrétion et d'érosion pour les traits de côte de 1958, 2009 et 2016, pour cela il est nécessaire d'effectuer une superposition de ces traits de côte.

Cette méthode géomatique et statistique a été utilisée car elle s'est révélée fiable dans la majorité des cas d'utilisation (permettant de reproduire l'évolution passée du littoral), elle est rapidement et facilement opérationnelle et elle permet une grande traçabilité des différentes

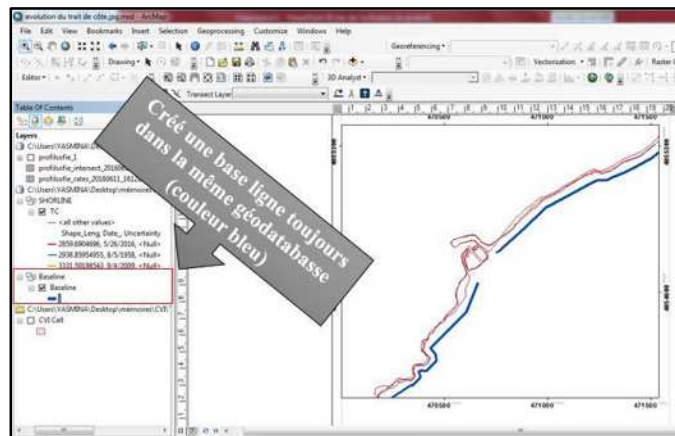
étapes de construction des traits de côte futurs (AUBIE, S., MALLET, C., FAVENNEC, J. et HOAREAU, A., 2011).

Pour ce faire on a suivi les étapes suivantes :

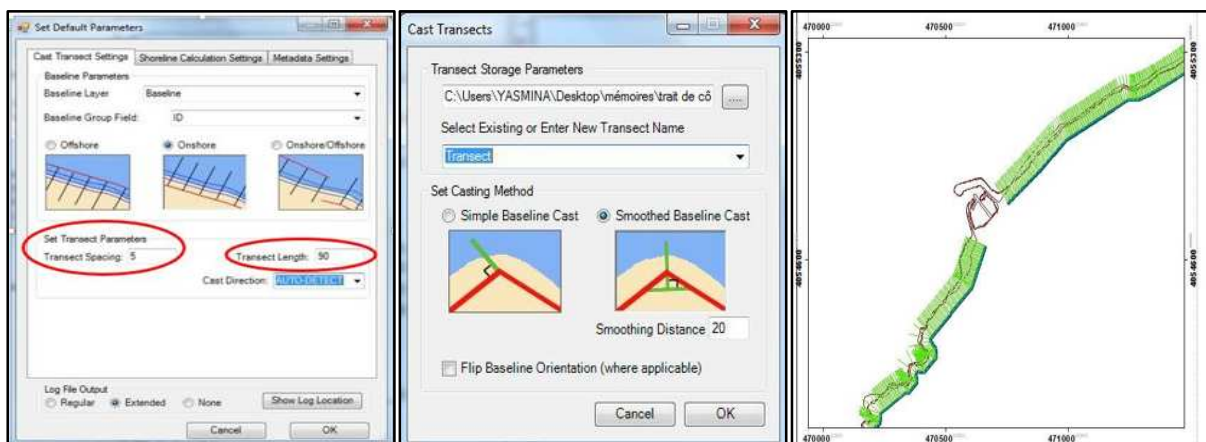
- Avant d'entamer l'outil « DSAS », il faut créer une géodatabase personnel dont laquelle doit résider les différents tracés du rivage issu de la digitalisation.



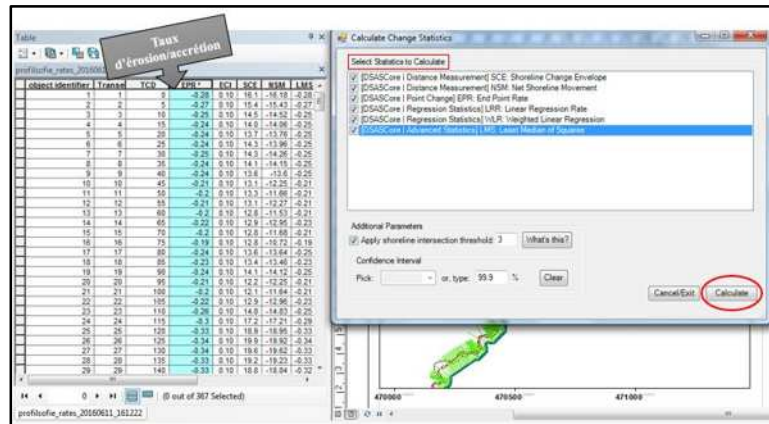
- Une fois cette géodatabase créé on passe à la réalisation d'une base ligne du côté terre des rivages (Onshore), cette dernière est utilisé comme référence de mesure, elle sert donc comme le point de départ pour tous les transects qu'on effectuera par la suite.



- On créer ensuite des transects séparé de 5m et de 90m de longueur.



- Puis on passe au calcul du taux d'évolution de la ligne du rivage, ceci en utilisant l'outil de DSAS « Calculate Change Statistics », par la suite on aura comme résultat deux tableau, un concernant les taux d'accrétion et d'érosion et l'autre concerne la distance entre chaque deux tracé du rivage.



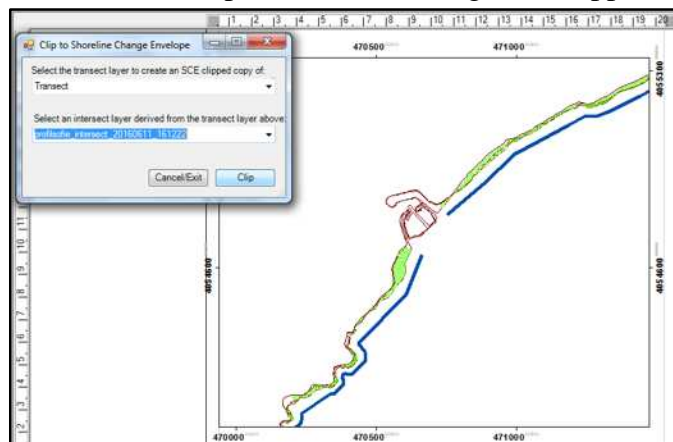
- Cette dernière étape nous a permis d'avoir le taux total d'érosion et d'accrétion en m^2/an en prenant en considération les années de 1958,2009 et 2016, (**Tableau n°4**).

Tableau n°4: Bilan des taux d'érosion et d'accumulation du littoral de Khemisti entre 1958 et 2016.

Période	Taux d'érosion par an (m^2/an)	Taux d'accrétion par an (m^2/an)	Bilan de l'état d'évolution (m^2/an)
1958-2009-2016	(-) 2201.7125	538.7041	(-) 1663.0084

À partir du tableau ci-dessus, le bilan général de l'état d'évolution des surfaces est estimé à une perte de $96\ 454.4872\ m^2$, durant une période de 58 ans.

- Pour mieux visualiser cette évolution nous allons réaliser une carte représentatif du taux d'érosion et d'accrétion ; Pour ce faire on est obligé de passer par une étape qui consiste à couper nos transects afin d'avoir les données d'évolution du rivage juste entre nos trait de côte, pour cela on utilise l'outil « Clip to shoreline change envelope ».



- On obtient donc la carte du taux d'évolution du rivage de Khemisti suivante :

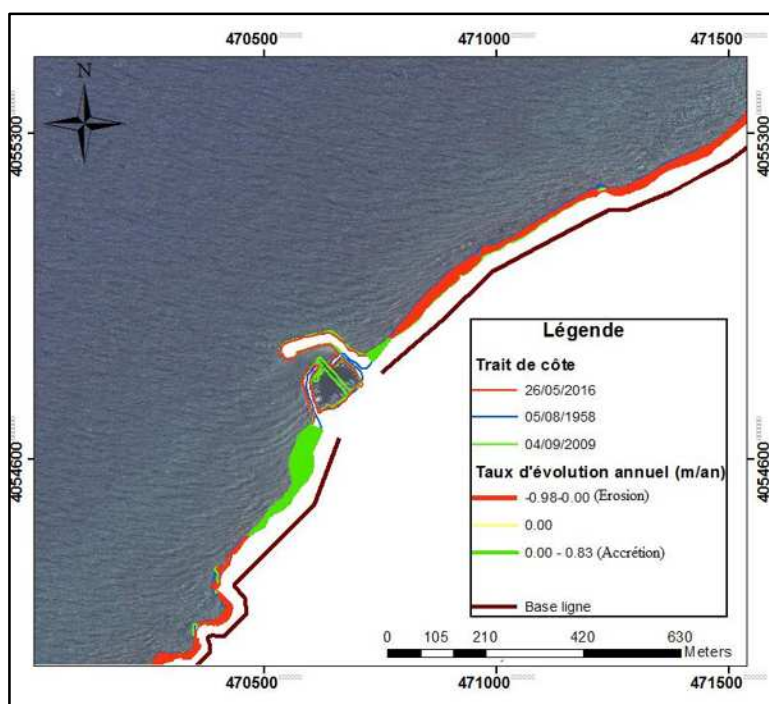


Figure n°62: Taux d'évolution du rivage (réalisé par Arc gis)

Cette carte montre d'une façon synthétique que, dans notre zone d'étude, l'érosion a pris l'avantage sur l'engraissement, en effet l'évolution du trait de côte au niveau de l'extrême Est du port est marqué par une érosion plus intense, ceci pourrait bien être expliqué par le fait qu'à ce niveau les houles sont beaucoup plus énergétiques provoquant une dynamique sédimentaire importante surtout après la mise en place de l'extension de l'abri de pêche, c'est ce qui a été décelé au niveau de l'étude comparative des résultats de la simulation effectuée pour les deux cas d'étude.

III.5. Étude de vulnérabilité côtière:

D'après l'analyse des résultats de la simulation, les impacts auxquels survient notre côte font de cette dernière une côte vulnérable, cependant pour évaluer cette vulnérabilité on va utiliser une méthode basée sur les indices « l'indice de vulnérabilité côtière (CVI) », qui est à la fois facile et robuste et qui donne des résultats fiables permettant d'identifier les secteurs à risque et ceux les plus exposés à une élévation du niveau des eaux marines.

Afin de mieux évaluer ces zones à risque, nous allons utiliser les SIG/Arc gis, surfer ainsi que le Mike, permettant la cartographie de la vulnérabilité côtière.

III.5.1. Méthodologie :

Pour réaliser les cartes de CVI de la zone, on va suivre la méthode de **THIELER & HAMMAR-KLOSE**, 2001 (qui est une amélioration de la méthode de **GORNITZ**).

Afin de déterminer cette vulnérabilité sur chaque segment du rivage on a opté pour l'utilisation d'une échelle régionale qui permet la segmentation de notre site d'étude en 55 cellules de dimension **25m X 25m**.

III.5.1.1.Choix des variables:

Le calcul de cet indice nécessite une compilation d'une base de données, à l'origine cette base de données est beaucoup plus complexe, donc pour simplifier la manipulation lors de l'analyse de la vulnérabilité on va employer justes six variables physiques relatives aux risques sélectionné en raison de leur utilisation dans la mesure du risque pour le littoral, il s'agit de :

- La géomorphologie,
- la pente côtière,
- le taux de variation du trait de côte,
- la vitesse de l'élévation relative du niveau de la mer,
- les amplitudes moyennes de la marée,
- les amplitudes moyennes de la houle.

III.5.1.2.Quantification et attribution d'un score pour chaque variable:

On attribue pour chaque variable des valeurs relatives de risque basée sur l'importance potentielle de sa contribution aux changements physiques sur chaque segment de la côte. Ces valeurs sont classées selon une échelle linéaire de 1 à 5, et suivant un ordre de vulnérabilité croissant dû à la montée du niveau de la mer: la valeur 1 correspondrait à un risque très faible, et 5 au plus élevé (**THIELER & HAMMAR-KLOSE, 2001 in Djouder et Smaoun, 2011**). Pour chaque variable les résultats seront présentés sous formes de cartes de vulnérabilité côtière.

Tableau n°5 : Les six variables physiques utilisées pour la détermination de l'index côtier de vulnérabilité (d'après **THIELER & HAMMAR-KLOSE, 2001**)

Variables	Classe de l'indice côtier de vulnérabilité				
	Tres bas	Bas	Modéré	Elevé	Tres élevé
	1	2	3	4	5
Géomorphologie	falaise et Côte rocheuse	Falaise moyenne et baie	Falaise basse Dépôt glaciaire Plaine alluviale	Plage à galet Estuaire Lagune	Flèche, plage sableuse, marais, dépôt vaseux, delta, récifs à coraux et mangroves
Pente côtière (%)	>12	12 - 9	9 - 6	6 - 3	<3
Remontée relative du niveau de la mer (mm/an)	< 1,8	1,8-2,5	2,5-3,0	3,0-3,4	>3,4
Recul / avancée du trait de côte (m/an)	> (+2,0) Accr	(+1,0)-(+2,0) étion	(-1,0)- (+1,0) Stable	(-1,1- -2,0) Ero	< (-2,0) sion
Amplitude moyenne de la marée	>6,0	4,1-6,0	2,0-4,0	1,0-1,9	<1,0
Amplitude moyenne de la houle (m)	<0,55	0,55-0,85	0,85-1,05	1,05-1,25	>1,25

III.5.1.2.a. Géomorphologie:

À partir des investigations faites lors des sorties sur le site d'étude ainsi que de la géomorphologie du site décrite par Grimes S (2010), on a déterminé le type de côte de point de vue géomorphologique de chaque segment.

À l'Ouest du port le rivage de Khemisti est considéré comme étant une zone rocheuse à falaise moyenne plus en moins abruptes, taillées dans des grès quaternaires assez friables et sensibles à l'érosion. On classe donc le secteur comme une zone à risque bas selon **THIELER & HAMMAR-KLOSE 2001**), avec un score quantifié par la valeur 2.



Photos n°16 et n°17 : Photos présentant la partie ouest du port de Khemisti

Par contre à l'EST du port on a la présence d'une petite plage à galet, classant donc le secteur comme étant une zone à risque élevé selon **THIELER & HAMMAR-KLOSE** (2001) avec un score quantifié par la valeur 4.



Photos n°18 et n°19 : Photos présentant la partie Est du port de Khemisti

- On retrouve au niveau des deux extrémités (le côté EST et Ouest) du port des segments de côte artificialisés par des enrochements mis en place pour la protection. Comme la géomorphologie naturelle du site est complètement détruite par ces enrochements, on classe le site comme une zone à risque très élevé avec un score quantifié par la valeur 5.



Photo n°20 : Photographie présentant la partie EST



Photo n°21: Photographie présentant la partie Ouest

La cartographie de la vulnérabilité côtière selon la variable géomorphologie, est présentée ci-dessous :

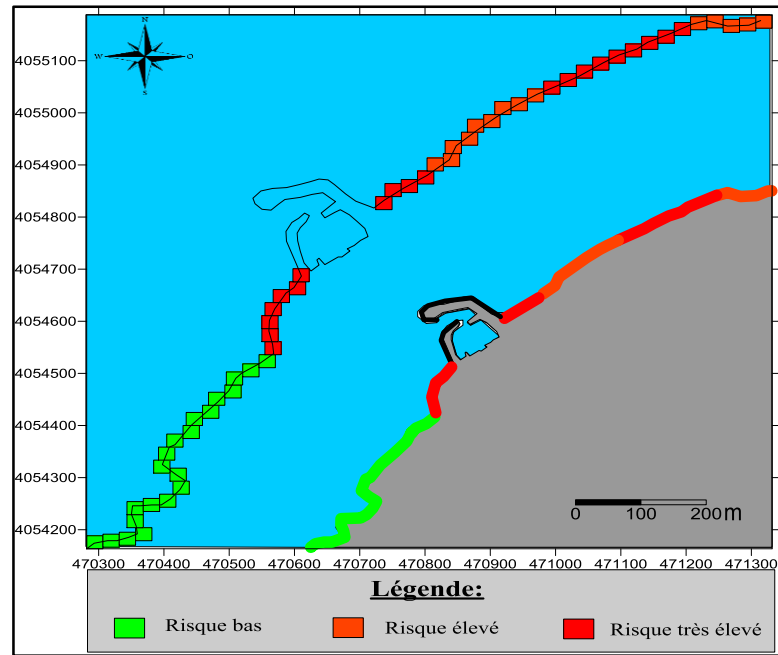


Figure n°63: Carte de vulnérabilité côtière selon la variable géomorphologie

III.5.1.2. b. La pente côtière (l'élévation moyenne):

La pente côtière permet une évaluation non seulement du risque relatif à la rapidité potentielle du recul du trait de côte, mais également du risque d'inondation car les régions côtières à pente faible devraient régresser plus rapidement que les zones à déclivité plus raide (**Pickey et Davis, 1987 in Djouder et Smaoun, 2011**).

Pour obtenir la pente côtière en pourcentage sur chaque segment ou cellule de la côte on a utilisé le logiciel Surfer.

Pour cela on a tout d'abord cartographié les données topographiques et bathymétriques issu du LEM datant de 2009, puis on a superposé nos cellules sur la carte topo-bathy des zone EST et OUEST obtenu (**Figure n°64**).

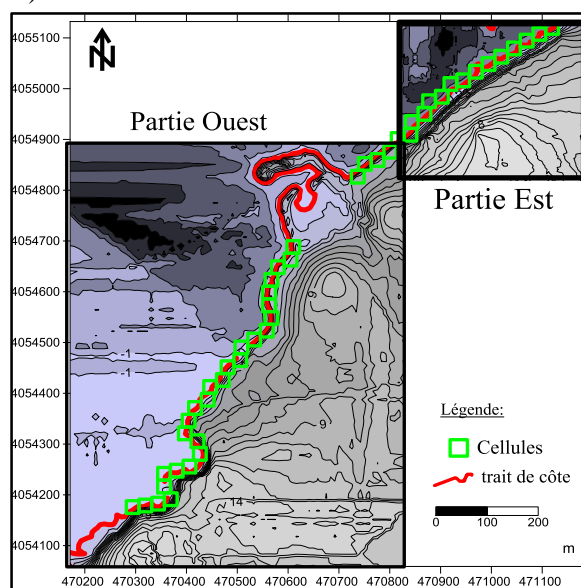


Figure n°64: Carte topo-bathy de Khemisti (réalisée à l'aide du logiciel Surfer).

Ensuite on a réalisé des profils au niveau de chaque cellule où on a extrait l'élévation correspondant à une distance de 5m par rapport au rivage à 0m d'élévation (**Figure n°65**) et enfin à l'aide de la formule ci-dessous on calcule la pente en pourcentage au niveau de chaque cellule;

$$\text{Pente (\%)} = (\text{Élévation/Distance}) * 100$$

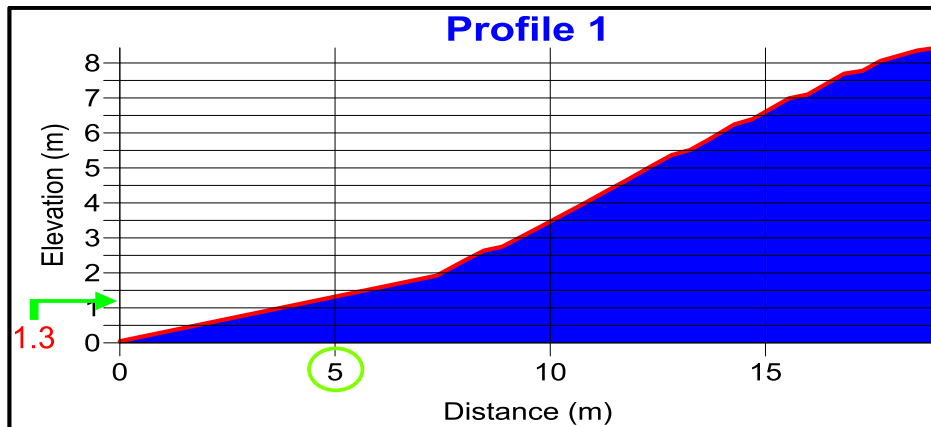


Figure n°65: Profil d'élévation correspondant à la 1^{ère} cellule (Réalisé à l'aide de Surfer)

La cartographie du degré de risque de notre site d'étude par rapport à la variable pente côtière est présentée ci-dessous :

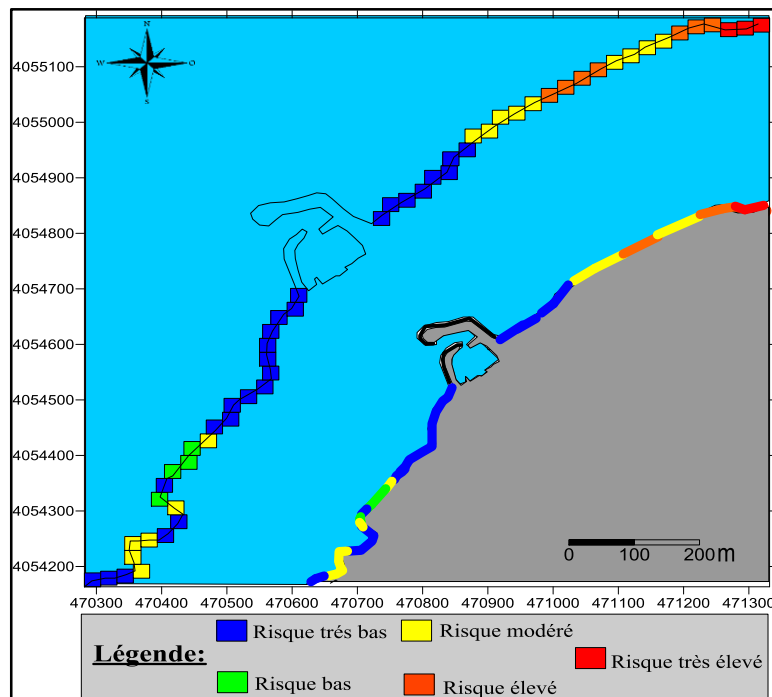
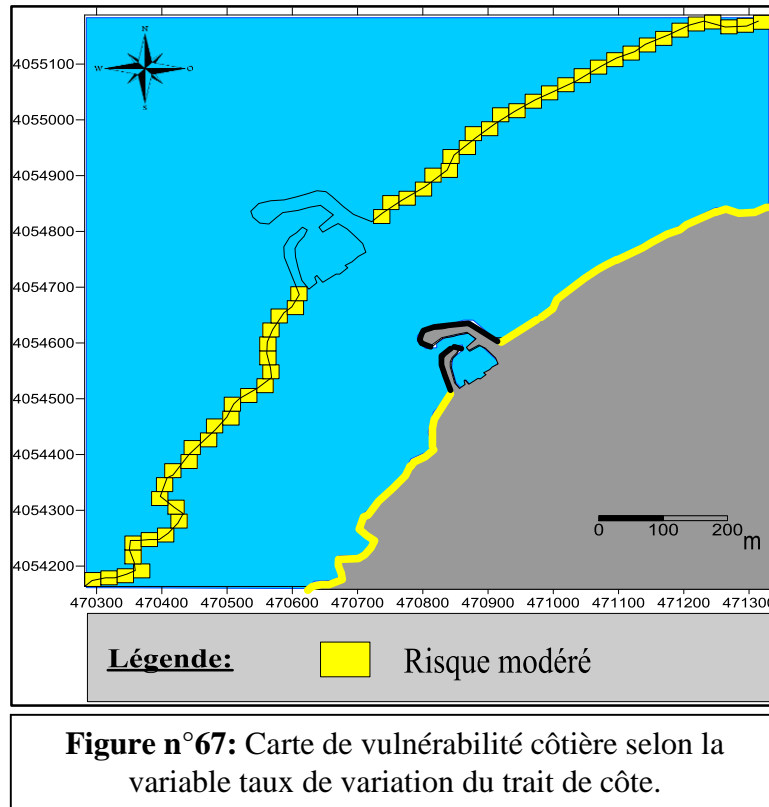


Figure n°66: Carte de vulnérabilité côtière selon la variable Pente côtière.

III.5.1.2.c. Le taux de variation du trait de côte:

Pour cette variable, on utilisera les résultats obtenus dans l'étude d'évolution du trait de côte effectué précédemment.

Selon donc les résultats obtenus on classe notre site d'étude comme zone à risque modéré avec un score quantifié par la valeur de 3.



Ainsi d'après **THIELER & HAMMAR-KLOSE** notre zone côtière est plutôt stable vu que tous les taux d'érosion et d'accrétion sont compris entre -1 et +1 m/an.

III.5.1.2.d. La vitesse de l'élévation relative du niveau de la mer :

Le processus d'élévation du niveau de la mer semble en cours. En raison de cette augmentation, les vagues déferlent plus près de la ligne de rivage, libèrent leur énergie plus haut sur l'estran et modifient le profil des plages; ces dernières démaigrissent et disparaissent totalement si de nouveaux apports ne viennent compenser les pertes (**Paskoff, 1994 in SAIDA, 2007**), c'est pour cela que c'est primordial d'intégrer cette variable pour le calcul du CVI.

Selon les données globales, estimées par l'altimétrie satellitaire Topex/Poseidon et Jason-1 entre 1993 et 2006. Elles considèrent une élévation relative actuelle du niveau marin dans la zone côtière de la Méditerranée occidentale de 2.5 mm/an (**SAIDA, 2007**).

On classe donc notre site d'étude comme zone à risque modéré avec un score quantifié par la valeur de 3.

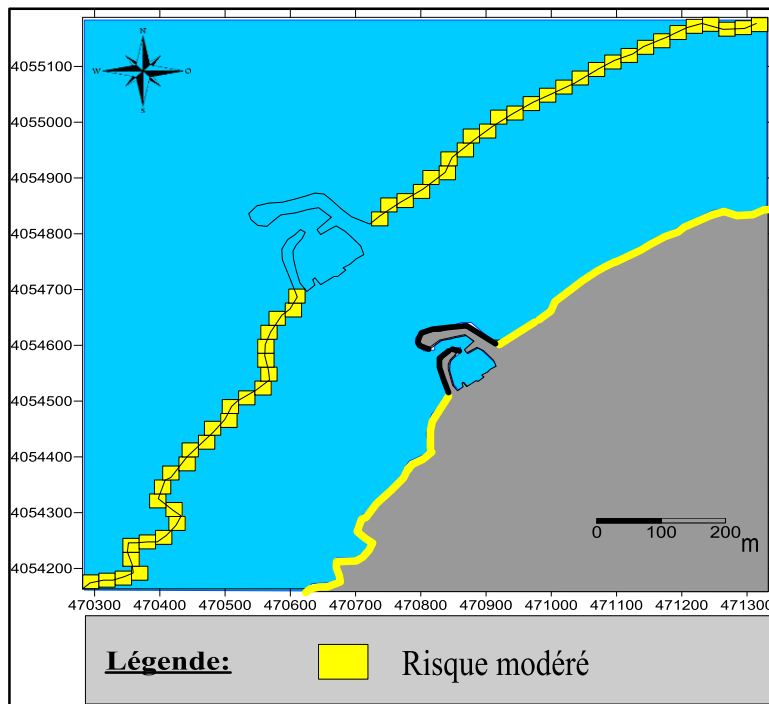


Figure n°68: Carte de vulnérabilité côtière selon la variable élévation relative du niveau de la mer.

III.5.1.2.e. Les amplitudes moyennes de la marée:

Au niveau des côtes algérienne la marée est très faible, d'ailleurs elle dépasse rarement les 35 cm avec des périodes d'environ 12h à 24h. Elle est donc de type microtidal, et rend notre littoral à risque très élevé selon la base de données de **THIELER & HAMMAR-KLOSE, 2001**, on attribue alors la valeur de 5 pour tous les segments de notre zone d'étude.

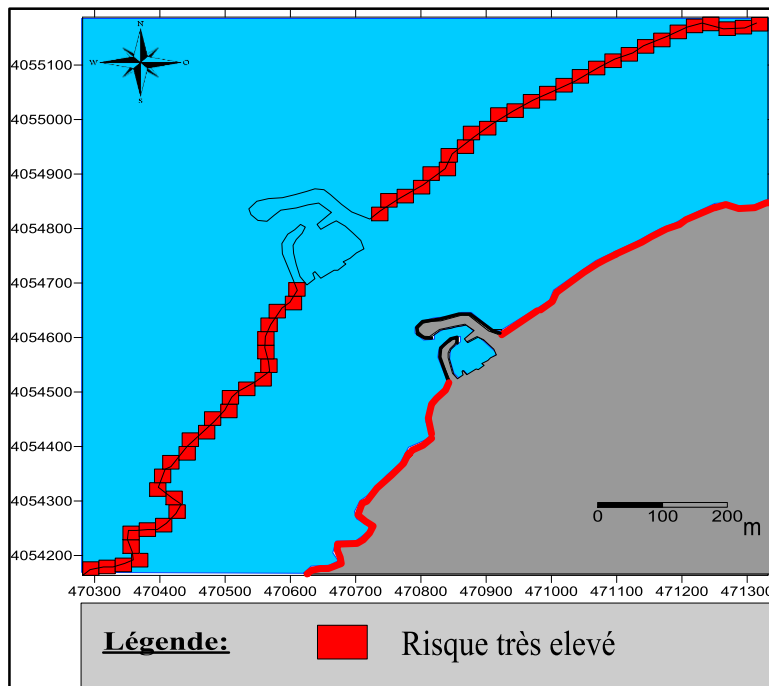


Figure n°69: Carte de vulnérabilité côtière selon la variable amplitude moyennes de la marée

III.5.1.2.f. Les amplitudes moyennes de la houle:

La connaissance des caractéristiques de la houle est très importante pour connaître le degré d'exposition de notre zone d'étude à l'énergie hydrodynamique. En utilisant les résultats de l'étude de la réfraction de la houle effectuée au part-avant (SW), on va estimer l'amplitude moyenne à la côte, tenant compte de toutes les directions des houles.

À l'aide de l'extension **Data Extraction FM** du logiciel MIKE (**figure n°70**) on a pu extraire les hauteurs significatives correspondant à chaque direction (N, NE, NW, N, W) de la côte pour une période de 8s, à partir de là on a calculé la hauteur moyenne pour chaque segment de la côte.

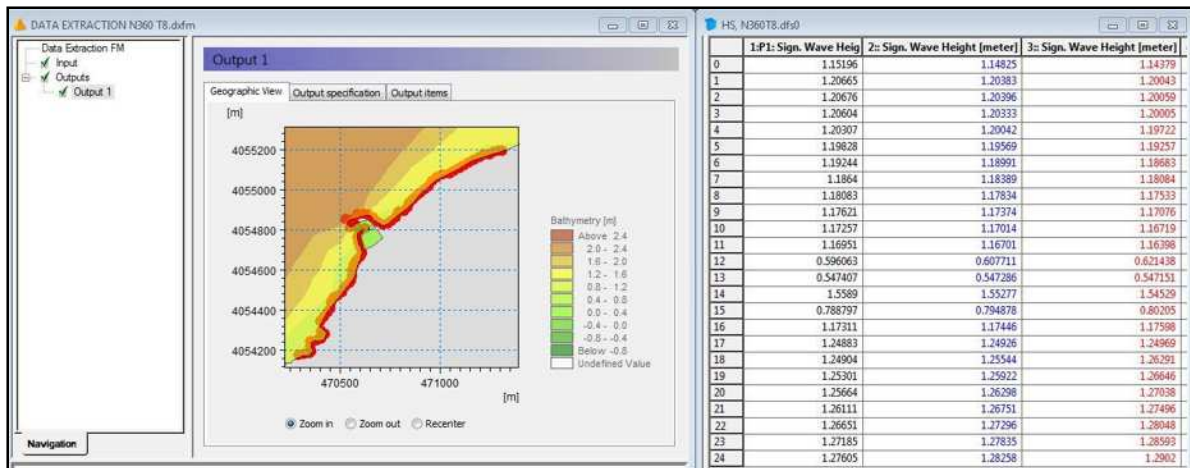


Figure n°70: Exemple d'extraction des hauteurs significatives des houles pour la direction

La classification du degré de risque de notre site d'étude par rapport à la variable amplitude moyenne des houles est présentée ci-dessous :

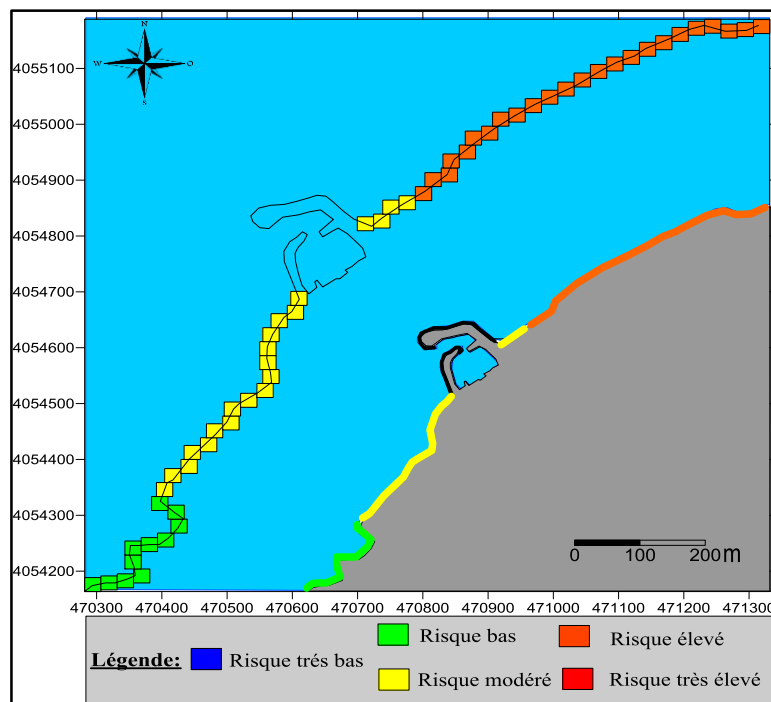


Figure n°71: Carte de vulnérabilité côtière selon la variable amplitude moyennes des houles

III.5.1.3. Calcul et représentation de l'indice de vulnérabilité côtière (CVI):

- Après avoir déterminé tous les degrés de risque pour chaque variable, on passe au calcul du CVI par la combinaison de toutes ces variables, ceci selon la formule suivante : Racine carré de la moyenne du produit définie comme suit :

$$CVI = ((a*b*c*d*e*f)/6)^{1/2}$$

Avec :

- a : Géomorphologie,
- b : la pente côtière,
- c : le taux de variation du trait de côte,
- d : la vitesse de l'élévation relative du niveau de la mer,
- e : les amplitudes moyennes de la marée,
- f : les amplitudes moyennes de la houle.

On retrouve donc des valeurs de CVI qui varient entre 5.48 et 24.29 (**Tableau n°1 en ANNEXE II**) avec une valeur moyenne de 15.

- Puis on détermine les classes de CVI et leur centre ainsi que la fréquence cumulé (**Tableau n°6**).

Tableau n°6: Détermination des classes de CVI et calcul des fréquences cumulées

CVI				
Classe	Centre de classe	Effectives	Fréquence (%)	Fréquences cumulées (%)
[0-2]	1	0	0.00	0.00
[2-4]	3	0	0.00	0.00
[4-6]	5	3	5.45	5.45
[6-8]	7	0	0.00	5.45
[8-10]	9	5	9.09	14.55
[10-12]	11	18	32.73	47.27
[12-14]	13	3	5.45	52.73
[14-16]	15	6	10.91	63.64
[16-18]	17	0	0.00	63.64
[18-20]	19	6	10.91	74.55
[20-22]	21	6	10.91	85.45
[22-24]	23	0	0.00	85.45
[24-26]	25	8	14.55	100.00

- Par la suite on trace la courbe des fréquences cumulée en fonction des centres de classe (**Figure n°72**) afin de déterminer les classes de risque (**Tableau n°7**).



Figure n°72: Courbe des fréquences cumulées en fonction des centres de classe

Tableau n°7 : Classes des risques

Classes de risque	Type de risque	Type de couleur relative au risque
[0 - 9.4]	Risque très faible	Verte
[9.4 - 10.4]	Risque faible	Bleu
[10.4 - 12.25]	Risque modéré	Jaune
[12.25 - 18.7]	Risque élevé	Orange
[18.7 - 25]	Risque très élevé	Rouge

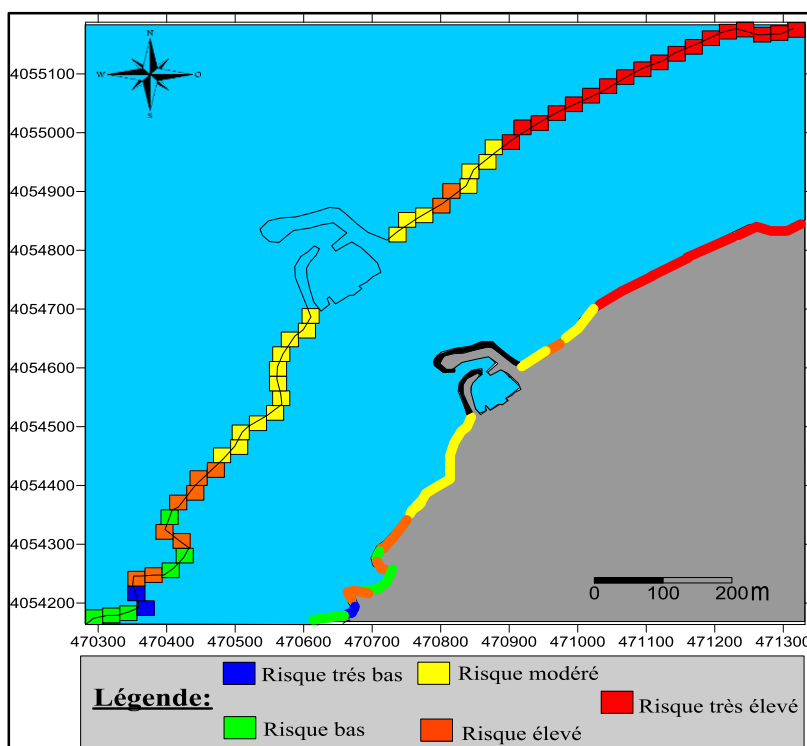


Figure n°73: Carte de vulnérabilité côtière du rivage de

- La carte de vulnérabilité côtière du littoral de Khemisti révèle une vue d'ensemble sur les régions où il serait possible que les changements physiques relatifs à une érosion côtière et aux inondations se produisent suite à la future montée du niveau de la mer (**Figure n° 73**). Les valeurs les plus élevées de l'indice côtier de vulnérabilité où les effets physiques de l'élévation du niveau de la mer pourraient être les plus grandes correspondraient au rivage Est de ce littoral, particulièrement la plage d'extrême Est. C'est ce que confirme la représentation graphique du CVI, où près de **34.55%** de la portion littoral de Khemisti est soumise à un risque élevé.

III.6.Conclusion:

À partir de l'étude comparative ainsi que l'étude de la frange sous-marine du rivage de Khemisti et de l'évolution du trait de côte, on peut constater que l'extension portuaire, qui avait pour but d'agrandir le bassin de l'abri de pêche et de bloquer son alimentation en sédiments, n'a pas abouti à un résultat satisfaisant vu que l'ensablement persiste toujours avec un flux sédimentaire entrant plus ou moins important, ce flux perturbe les voies de navigation des navires et nuit au bon fonctionnement du port, il est aussi à noter que le nouveau bassin créé après l'extension n'est pas exploitable vu que son tirant d'eau est réduit à quelques centimètres.

On constate aussi que la portion littorale d'Est est une zone fragile et très vulnérable qui subit l'effet de houles plus énergiques à son niveau qu'à l'Ouest, ces houles attaquent le rivage en arrachant des particules sédimentaire provoquant ainsi l'érosion de la plage à galet et de la plage sableuse située à l'extrême Est, c'est ce qui a été confirmé par l'étude de la vulnérabilité côtière par le calcul de l'indice de vulnérabilité où il s'est avéré que **34.55%** de la portion littoral de Khemisti, qui constitue la partie Est du site d'étude, est soumise à un risque élevé par rapport à l'élévation du niveau moyen des mers.

À cela, une intervention au niveau du port ainsi qu'au niveau du rivage est plus que nécessaire pour traiter le problème d'ensablement et d'érosion qui perturbe le système hydro-sédimentaire du rivage de Khemisti.

CHAPITRE IV
ETUDE DE PROTECTION ET
D'AMENAGEMENT

IV.1 Introduction :

La modélisation numérique du système hydro-sédimentaire du rivage de Khemisti ainsi que l'étude d'impact nous a permis de mettre en évidence les facteurs hydrodynamiques à l'origine de l'ensablement du port et de l'érosion de la plage d'extrême Est, il est clair que les courants littoraux constituent la force motrice du transit sédimentaire suivant le sens dominant des houles incidentes.

La recherche d'un dispositif de lutte contre ce phénomène d'ensablement ainsi que de l'érosion revient à agir directement sur ces courants littoraux générés par la houle. À cet effet nous allons proposer des variantes de protection qui permettront d'atténuer l'action des houles et des courants qui par la suite protégeront le port contre le phénomène d'ensablement d'une part et le rivage contre l'érosion d'autre part.

IV.2 Proposition de variantes d'aménagement et de protection :

IV.2.1 Variante 1 :

Afin de diminuer le transit sédimentaire entrant au port ou carrément l'éliminer, on va effectuer une étude d'aménagement et de protection en se basant sur les houles les plus destructrices à savoir les houles d'Ouest et de Nord-Ouest.

Vu que ces houles engendrent un flux sédimentaire considérable, entrant à l'intérieur du port qui est de l'ordre de $25.44 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$ pour les houles de Ouest et de $20.11 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$ pour les houles de Nord-Ouest, on a décidé d'implanter une autre jetée principale à l'Ouest du port, d'une longueur de 638 mètre linéaire et d'une largeur de 40 mètre linéaire, cette jetée a pour objectif de bloquer le transit sédimentaire venant de l'ouest pour le transporter en dehors de la zone portuaire, dans cette variante la passe d'entrée est orienté vers le Nord-Est avec une ouverture de 86 mètre linéaire (**Figure n°74 et n°75**).

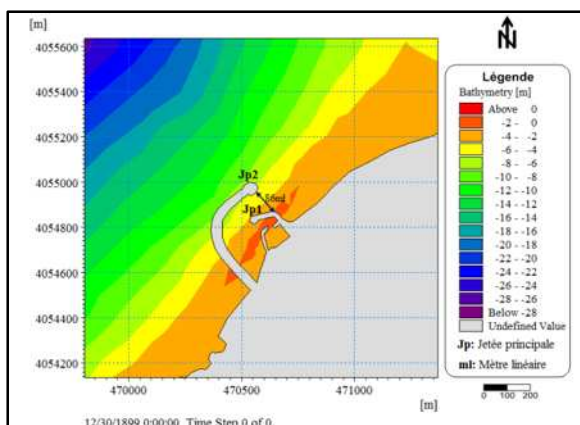


Figure n°74 : Plan de masse de la variante 1 présenté en deux dimensions

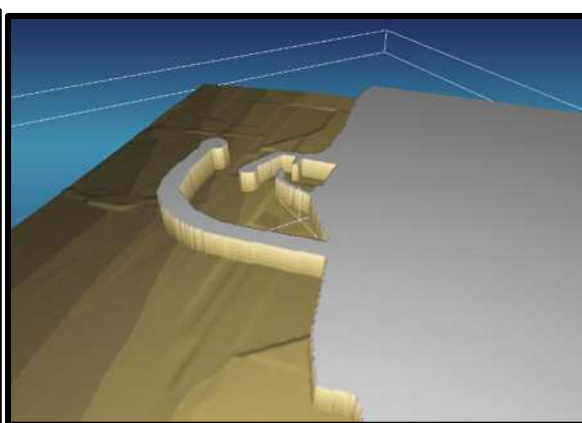


Figure n°75 : Représentation de la variante 1 en trois dimensions

Pour savoir si la variante aboutit à un résultat positif qui protège le port contre l'ensablement, on va effectuer une simulation numérique par le modèle Mike21 en prenant en considération les quatre directions de houles (Ouest, Nord-Ouest, Nord et Nord-Est), les résultats de la simulation sont présentés ci-dessous :

IV.2.1.1. Houles du secteur Ouest (N270°) :

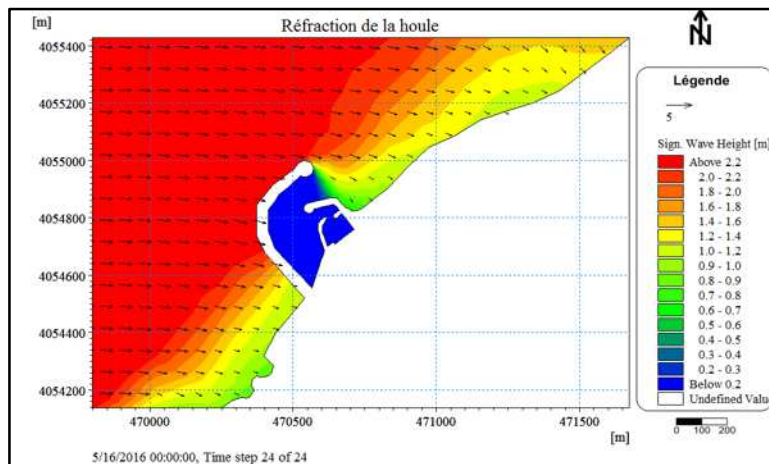


Figure n°76 : Carte de répartition des champs de réfraction de la houle, MWD=270° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante1

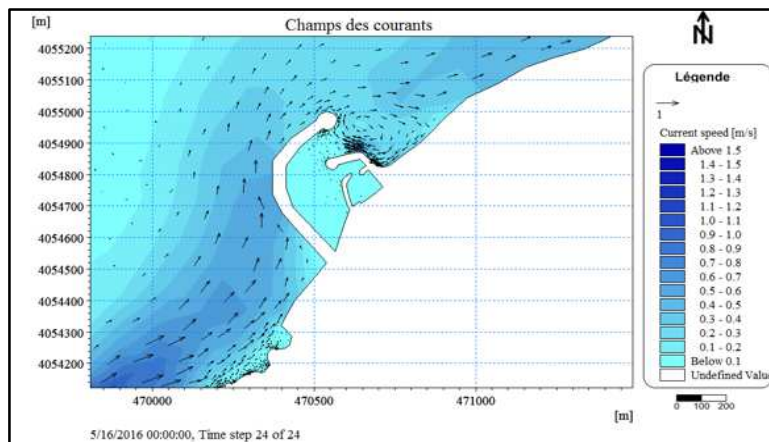


Figure n°77 : Carte de répartition du champ des courants, MWD=270° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante1

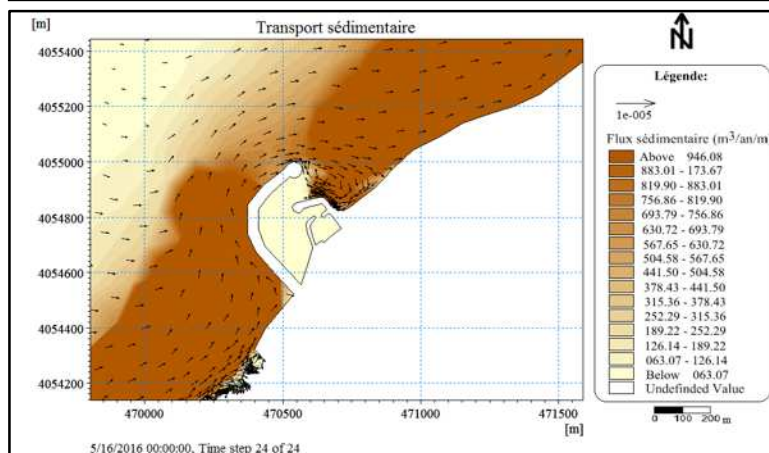


Figure n°78 : Carte de répartition du flux sédimentaire, MWD=270° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante1

IV.2.1.2. Houles du secteur Nord-Ouest (N315°) :

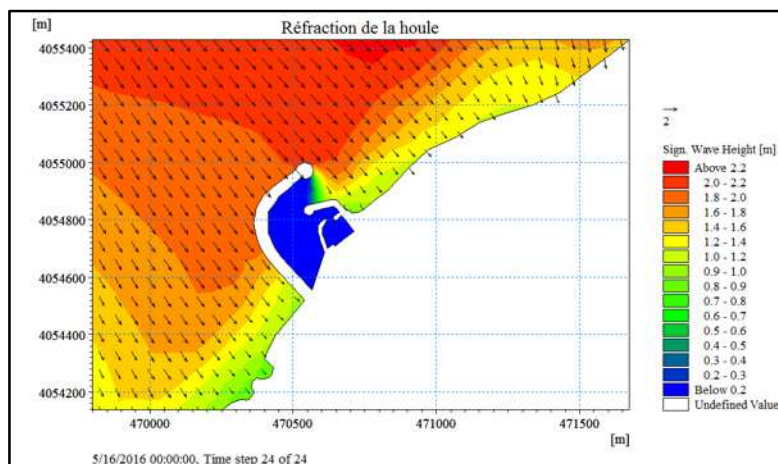


Figure n°79 : Carte de répartition des champs de réfraction de la houle, MWD=315° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante1

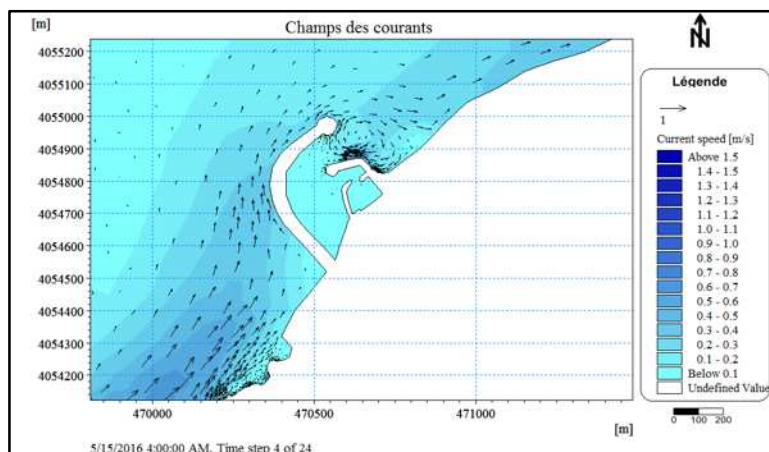


Figure n°80: Carte de répartition du champ des courants, MWD=315° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante1

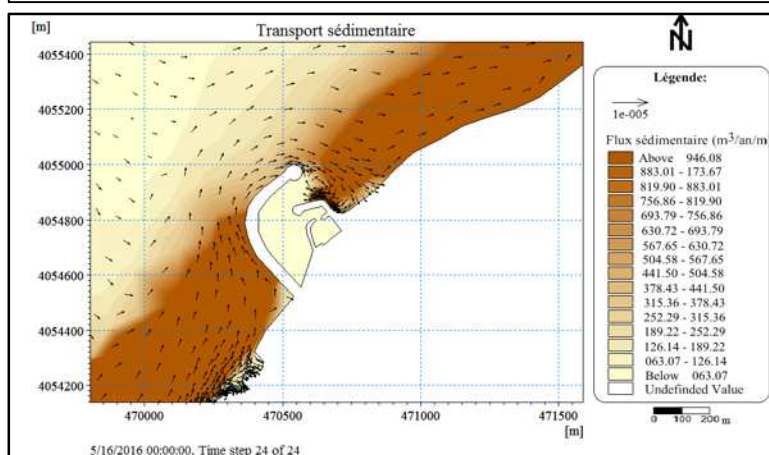


Figure n°81 : Carte de répartition du flux sédimentaire, MWD=315° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante1

IV.2.1.3. Houles du secteur Nord (N360°):

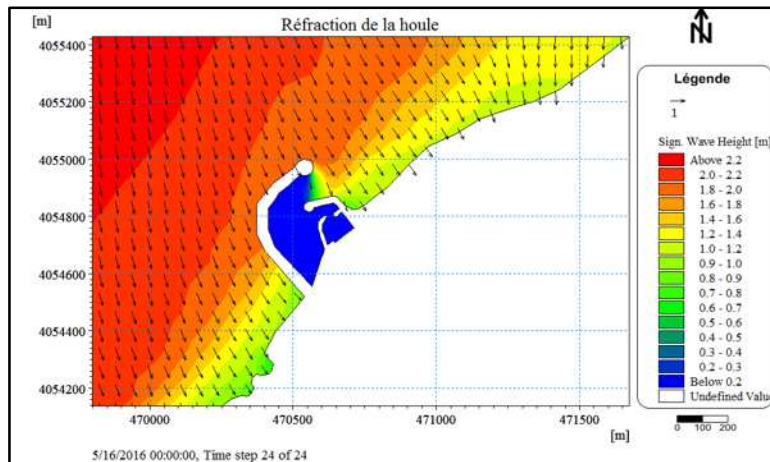


Figure n°82: Carte de répartition des champs de réfraction de la houle, MWD=360° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante1

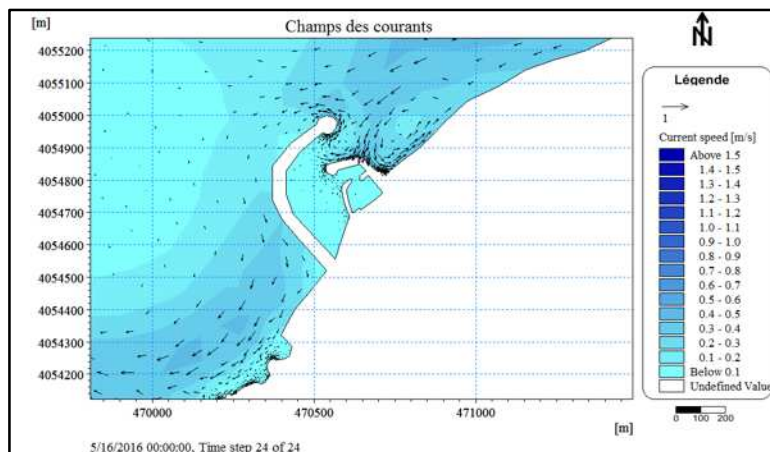


Figure n°83 : Carte de répartition du champ des courants, MWD=360° ; HS =2,67m ; T=8s ; variante 1

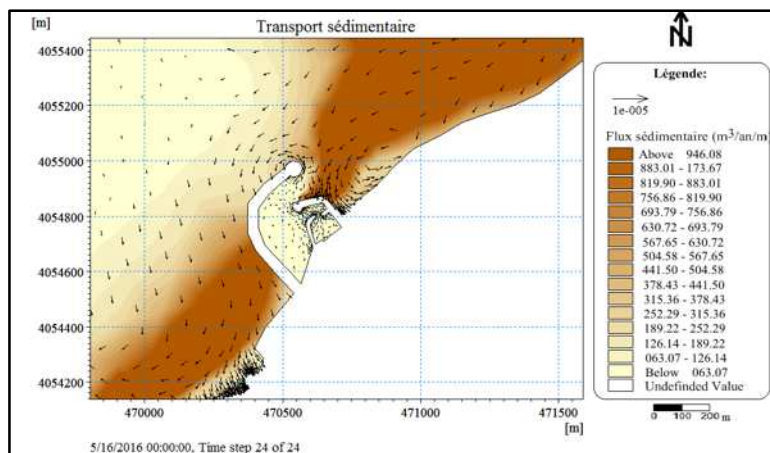


Figure n°84: Carte de répartition du flux sédimentaire, MWD=360° ; HS =2,67m ; T=8s ; variante1

IV.2.1.4. Houles du secteur Nord-Est (N45°) :

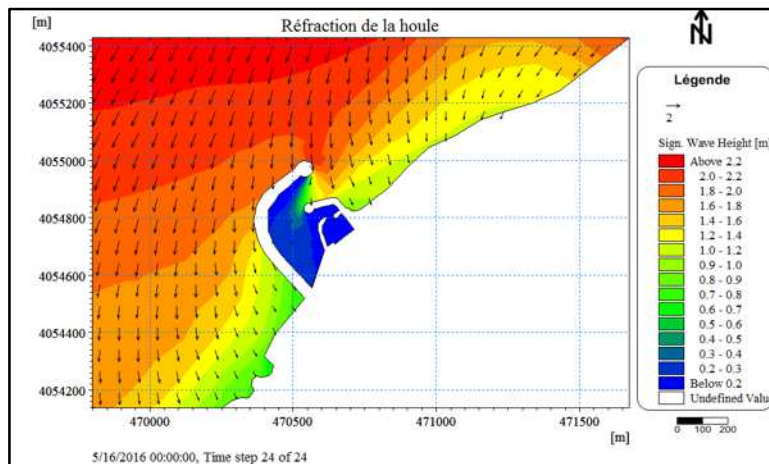


Figure n°85: Carte de répartition des champs de réfraction de la houle, MWD=45° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante1

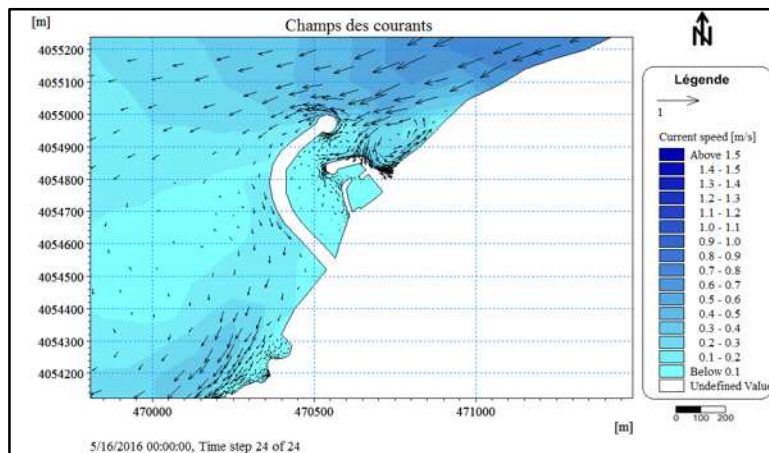


Figure n°86: Carte de répartition du champ des courants, MWD=45° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante1

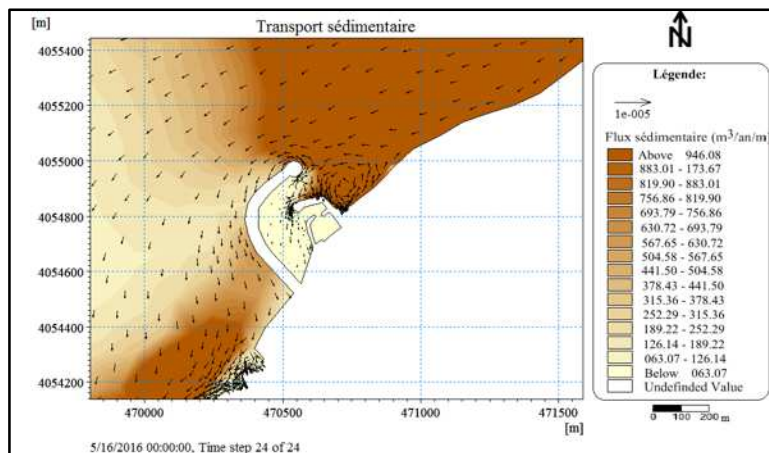


Figure n°87: Carte de répartition du flux sédimentaire, MWD=45° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante1

- Les résultats de la simulation pour **les houles de Nord-Ouest et Ouest**, montrent que l'implantation de la deuxième jetée principale a un effet positif sur la propagation de la houle qui se traduit par l'apparition d'une zone calme aux abords immédiats du port, en effet à l'intérieur du port la hauteur significatif des houles est très faible qui est de l'ordre de 0.05m en moyenne pour les deux directions de houles.

Concernant la circulation des courants, l'implantation de l'ouvrage a pour effet de bloquer les courants venant de l'ouest du port, donc une nette atténuation de la vitesse des courants à l'entrée de l'infrastructure est enregistrée, ces courants sont ensuite déviés vers l'Est. Cependant on note l'apparition des courants tourbillonnaire du côté Est du port (**Figure n°77 et n°80**).

Du point de vu transport sédimentaire le flux à l'intérieur du port est quasiment nul (**Figure n°78 et n°81**). Dans cette variante la 2^{ème} jetée principale joue un rôle très important dans la déviation du flux sédimentaire vers l'Est, de ce fait atténuent considérablement les apports vers le port.

- Par contre pour **les houles de Nord-Est et Nord**, l'introduction de la deuxième jetée principale a un impact négatif sur la propagation de la houle, vu qu'on enregistre un champ de houles à l'intérieur du port d'une hauteur moyenne de 0.3m (**Figure n°82 et n°85**), ce qui peut provoquer une perturbation importante du plan d'eau.

Pour la répartition des champs des courants, on remarque la présence d'un courant tourbillonnaire au Nord de la première jetée principale ainsi qu'à sa proximité Est qui est en moyenne de 0.25m/s, ces courants transportent donc les sédiments à l'intérieur du port ce qui fait le port reste toujours ensablé (**Figure n°84 et n°87**), on note un flux réel d'environ 26.63 m³/an/m pour la houle de Nord Est et d'environ 9.11 m³/an/m pour la houle de Nord.

VI.2 .2 Variante 2:

Les résultats obtenus lors de la simulation pour la variante1 montrent que les houles de Nord-Est et Nord contribuent fortement à l'ensablement du port, malgré qu'elles ne sont pas parmi les houles dominantes, c'est pour cela qu'une protection contre ces houles est nécessaire afin d'équilibrer le transport sédimentaire et d'éliminer l'ensablement.

On a donc opté pour un prolongement vers le large de la jetée principale proposer dans la variante 1 et de rajouté une autre jetée d'une longueur de 298ml et d'une largeur de 30ml à l'Est du port avec une ouverture de la passe d'entrée de 55ml orienté vers le Nord-Est (**Figure n°88 et n°89**), cette dernière a pour principale objectif d'empêcher le flux sédimentaire venant de l'Est d'entrer à l'intérieur du port.

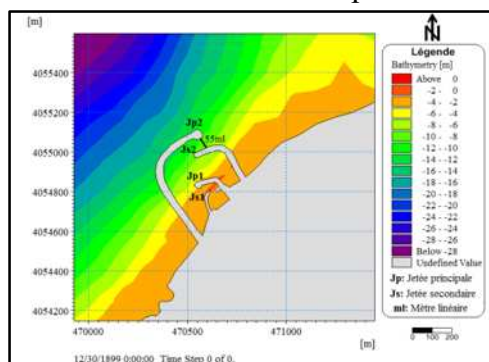


Figure n°88: Plan de masse de la variante 2 en deux dimensions

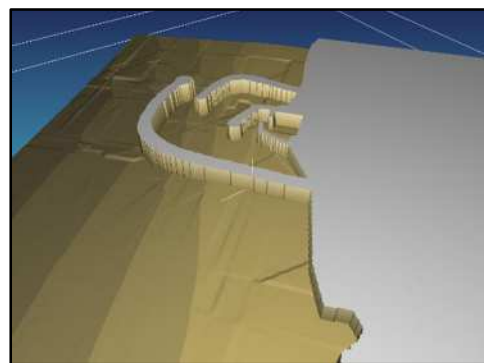


Figure n°89: Représentation de la variante 2 en trois dimensions

On va donc effectuer une simulation numérique par le modèle Mike21 en prenant en considération les quatre directions de houles (Ouest, Nord-Ouest, Nord et Nord-Est), pour déterminer si l'ouvrage répond positivement à l'objectif de départ, les résultats de la simulation sont présentés ci-dessous :

IV.2 .2.1. Houles du secteur Ouest (N270°) :

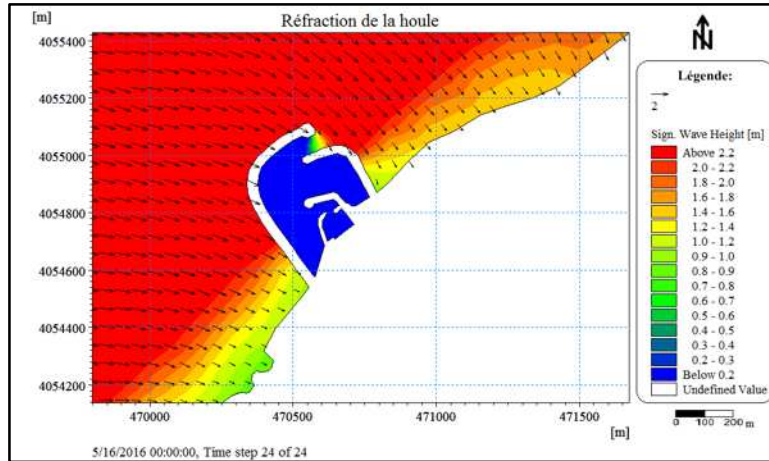


Figure n°90: Carte de répartition des champs de réfraction de la houle, MWD=270° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante2

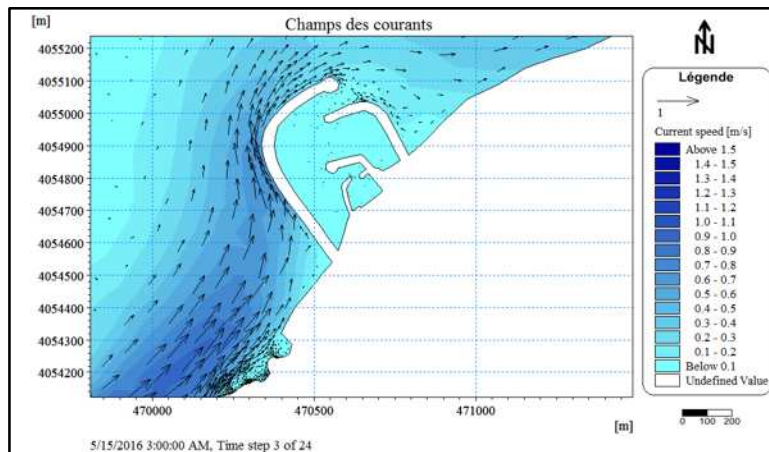


Figure n°91: Carte de répartition du champ des courants, MWD=270° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante2

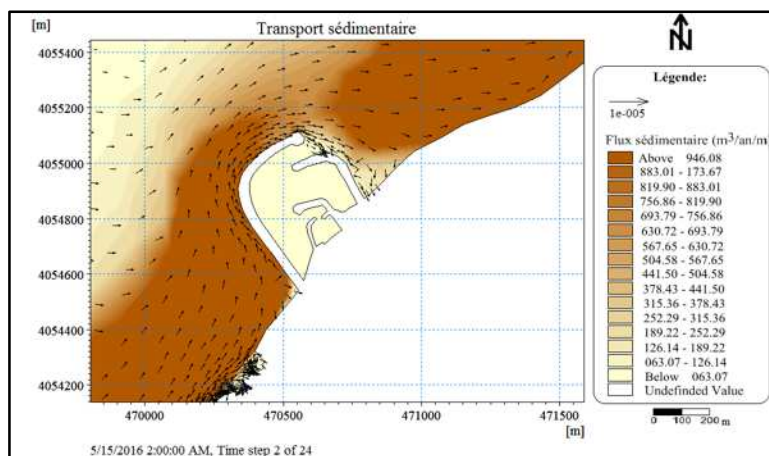


Figure n°92: Carte de répartition du flux sédimentaire, MWD=270° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante2

IV.2.2.2. Houles du secteur Nord-Ouest (N315°) :

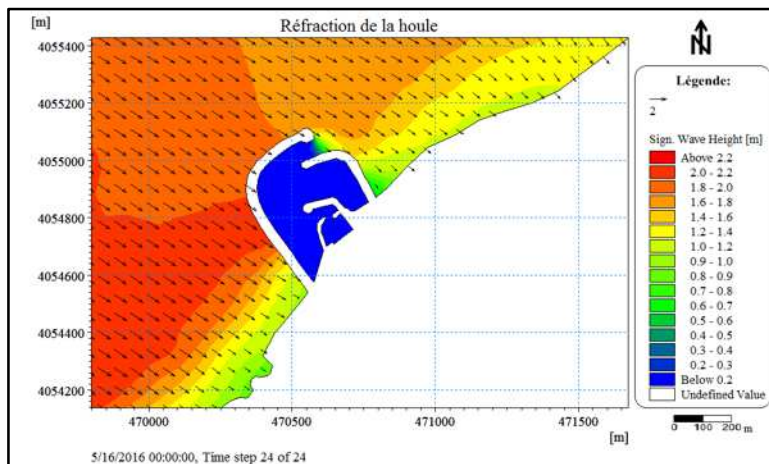


Figure n°93: Carte de répartition des champs de réfraction de la houle, MWD=315° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante2

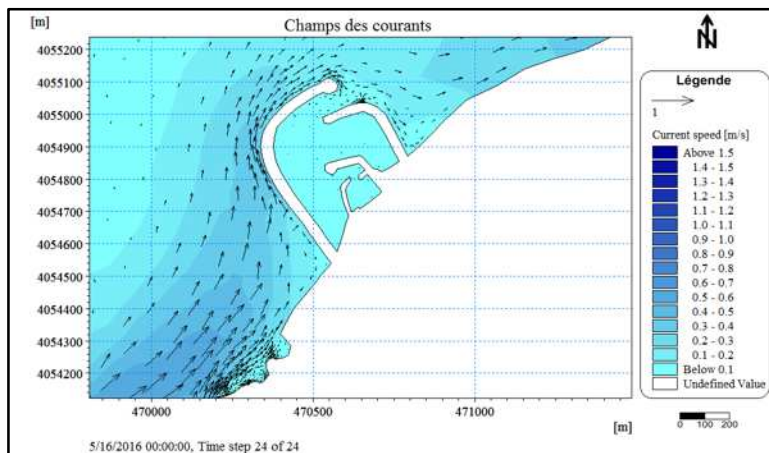


Figure n°94: Carte de répartition du champ des courants, MWD=315° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante2

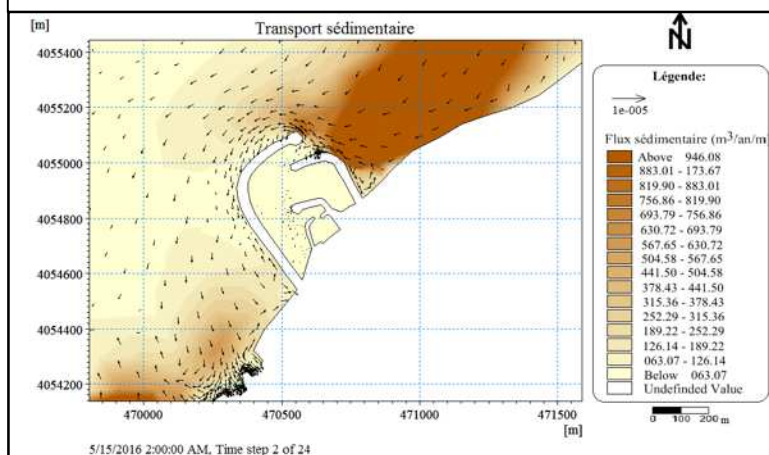


Figure n°95: Carte de répartition du flux sédimentaire, MWD=315° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante2

IV.2 .2.3. Houles du secteur Nord (N360°):

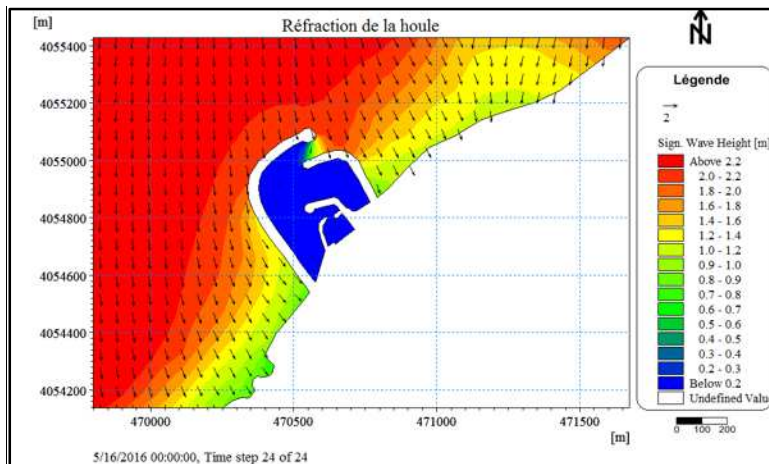


Figure n°96: Carte de répartition des champs de réfraction de la houle, MWD=360° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante2

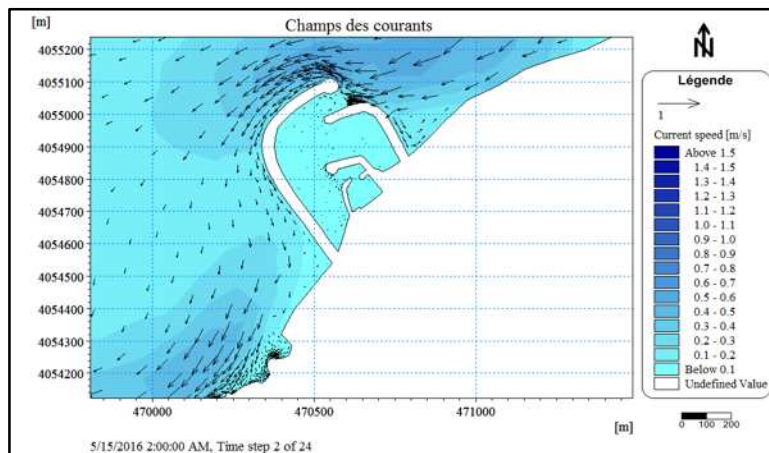


Figure n°97: Carte de répartition du champ des courants, MWD=360° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante2

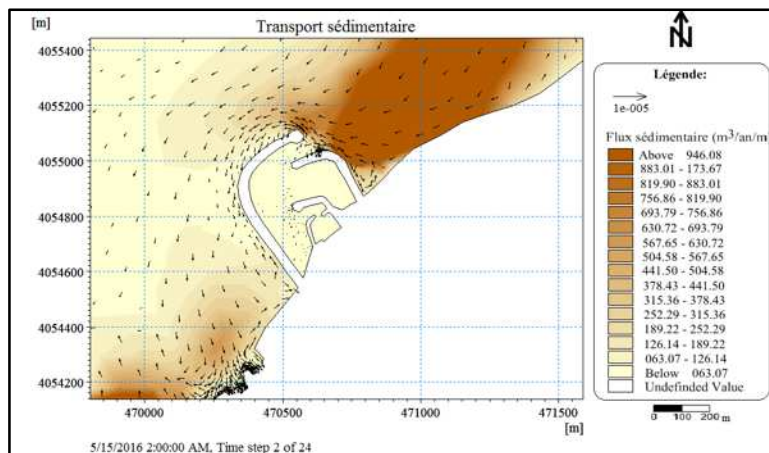


Figure n°98: Carte de répartition du flux sédimentaire, MWD=360° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante2

IV.2.2.4. Houles du secteur Nord-Est (N45°):

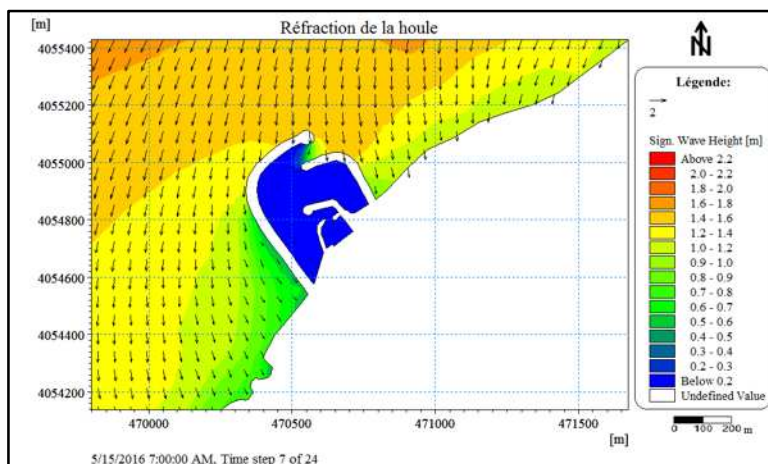


Figure n°99: Carte de répartition des champs de réfraction de la houle, MWD=45° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante2

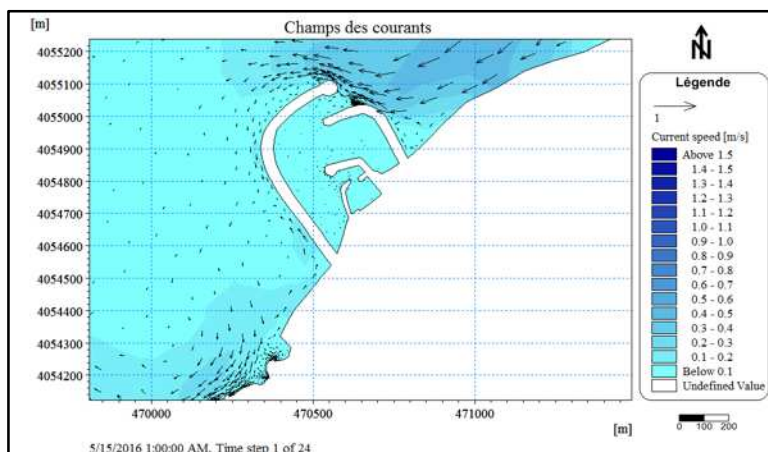


Figure n°100: Carte de répartition du champ des courants, MWD=45° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante2

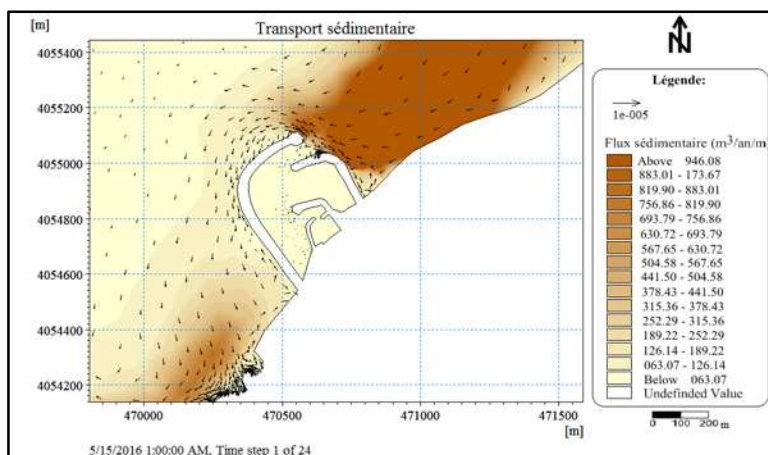


Figure n°101: Carte de répartition du flux sédimentaire, MWD=45° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante2

D'après les résultats de la simulation on remarque que l'implantation de la jetée d'Est a permis d'arrêter le flux sédimentaire engendré par les houles de Nord-Est et Nord, cette variante permet donc de protéger le port contre l'ensablement pour toute direction de houle, on peut donc conclure que ces deux jetées arrêtent définitivement le transit sédimentaire qui s'effectue à l'intérieur du port.

Il est à noter que cette variante permet non seulement de protéger le port contre l'ensablement mais aussi d'agrandir le port de pêche, en passant d'un plan d'eau d'une superficie de 1.2ha à une superficie de 9.9ha. Ce nouveau port permet donc d'accueillir 94 unités de sardiniers et 290 unités de petits métiers en plus.

Tableau n° 8: Tableau de comparaison entre la superficie et la flottille du port actuel et du port projeté.

	Superficie (ha)	Nombre d'unité par type d'embarcation	
		Sardinier	Petits métiers
Port actuel	1.2	13	40
Port projeté (Variante 1)	9.9	107	330

VI.2.3 Variante 3:

Les variantes proposées précédemment permettent de protéger seulement le port contre l'ensablement, mais elles ne protègent pas la partie Est du port contre l'érosion.

Pour éliminer donc l'érosion et reconstituer la plage Est on a opté pour la combinaison entre la variante 1 et l'implantation d'un épi de 288m de longueur et 17m de largeur.

Pour savoir si cette combinaison sera efficace et protégera le port contre l'ensablement d'une part et contre l'érosion d'autre part par rapport à toutes les directions de houle, on effectuera une simulation numérique par le progiciel Mike 21, les résultats sont présentés ci-dessous.

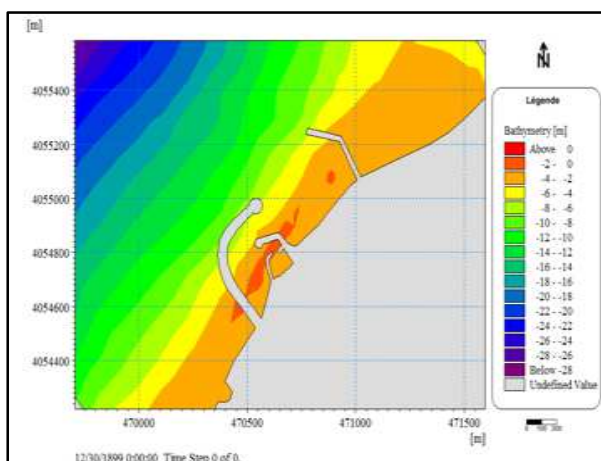


Figure n°102 : Plan de masse de la variante 3 en deux dimensions

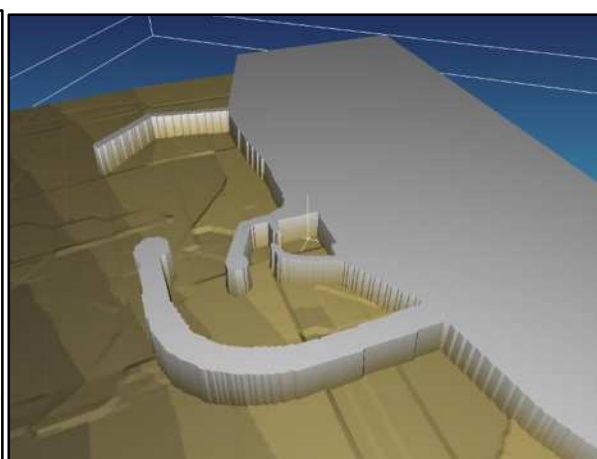


Figure n°103: Plan de masse de la variante 3 en trois dimensions

IV.2.3.1. Houles du secteur Ouest (N270°) :

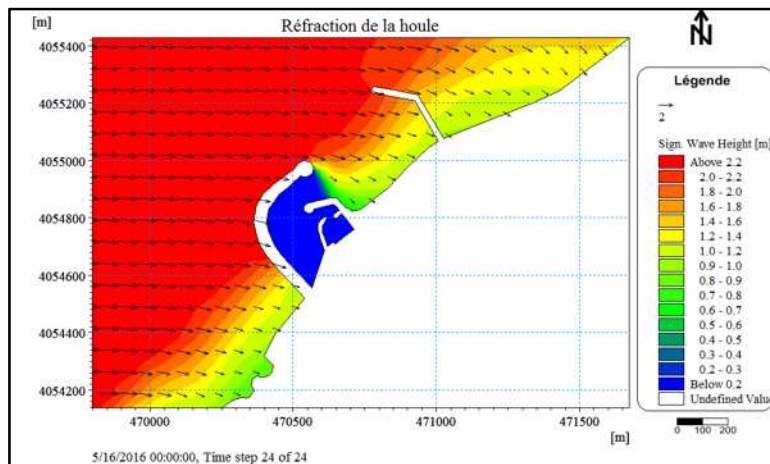


Figure n°104: Carte de répartition des champs de réfraction de la houle, MWD=270° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante3

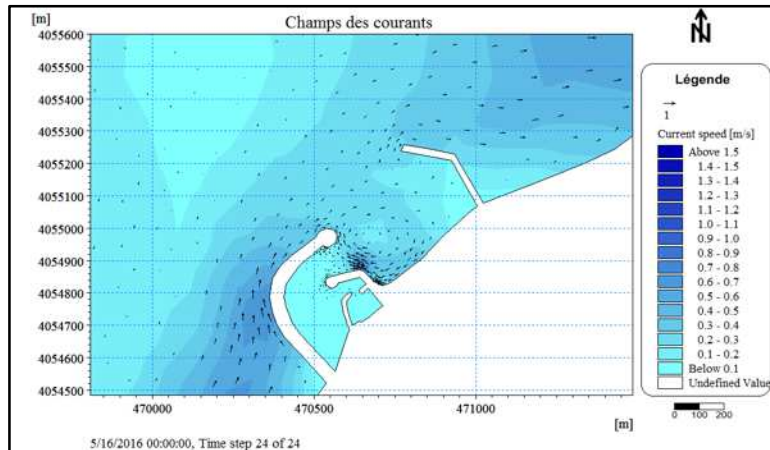


Figure n°105: Carte de répartition du champ des courants, MWD=270° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante3

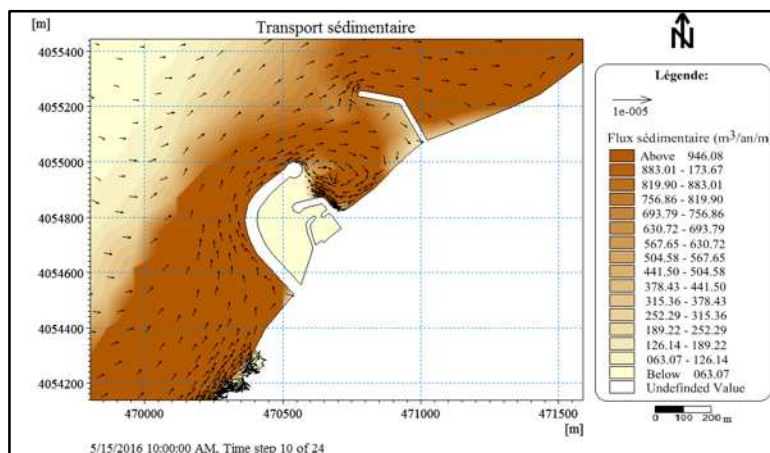


Figure n°106: Carte de répartition du flux sédimentaire, MWD=270° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante3

IV.2.3.2. Houles du secteur Nord-Ouest (N315°) :

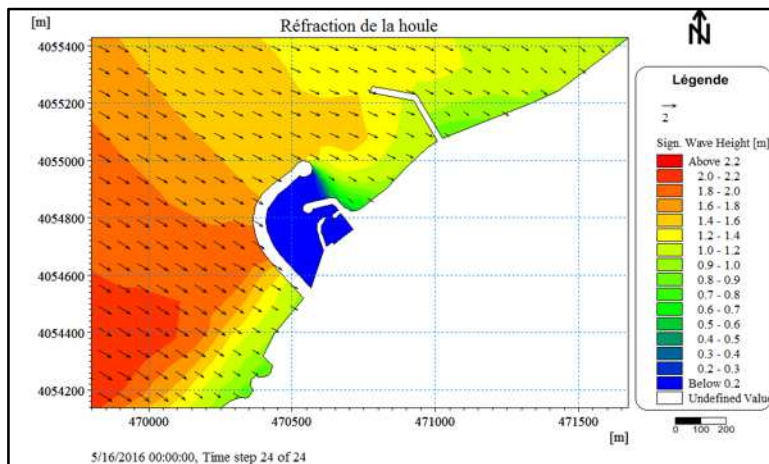


Figure n°107: Carte de répartition du champ de réfraction de la houle, MWD=315° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante3

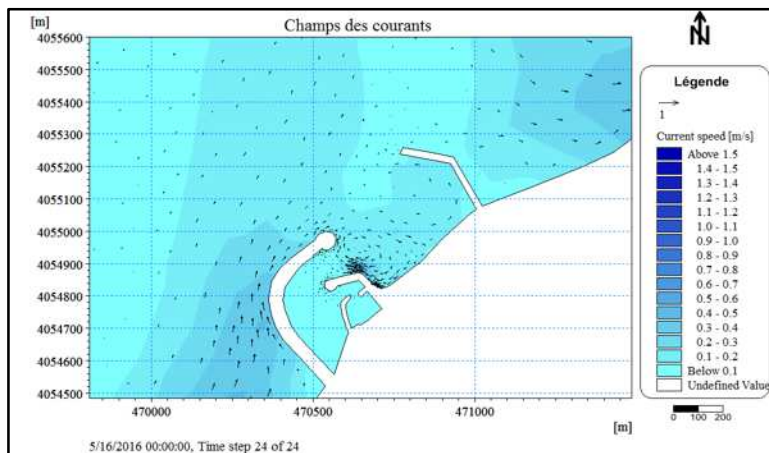


Figure n°108: Carte de répartition du champ des courants, MWD=315° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante3

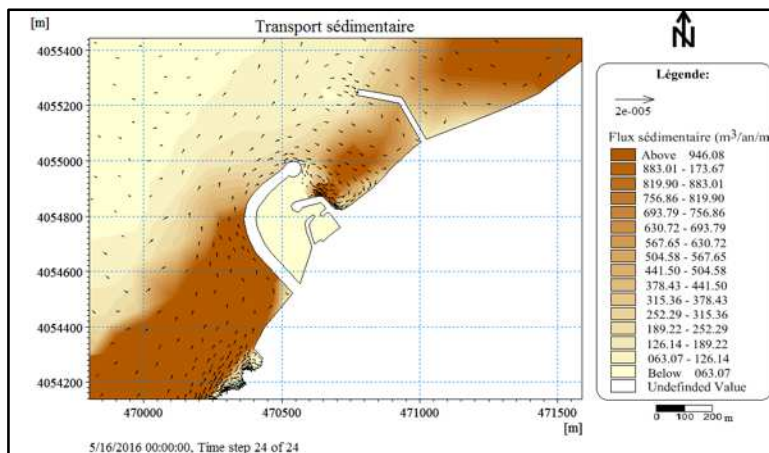


Figure n°109: Carte de répartition du flux sédimentaire, MWD=315° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante3

IV.2.3.3. Houles du secteur Nord (N360°) :

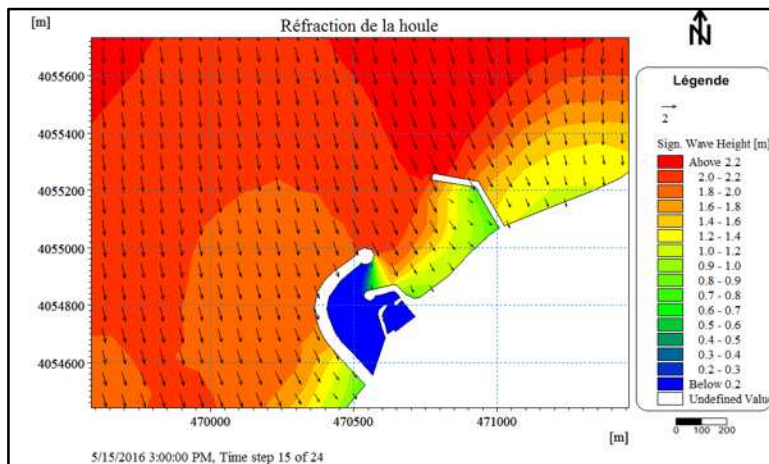


Figure n°110: Carte de répartition des champs de réfraction de la houle, MWD=360° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante3

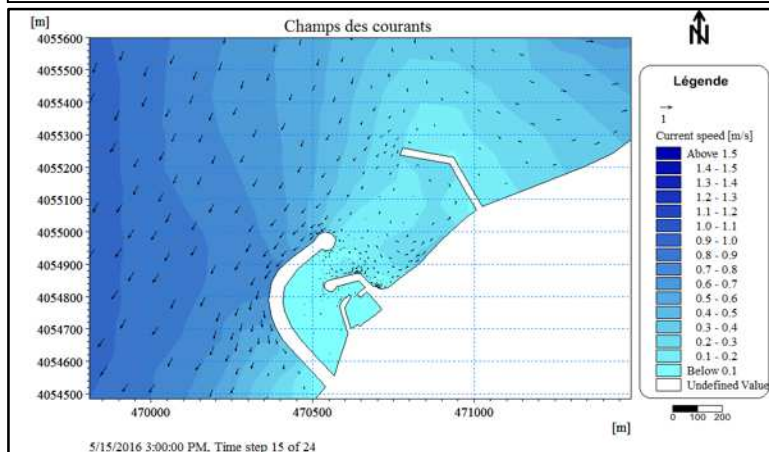


Figure n°111: Carte de répartition du champ des courants, MWD=360° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante3

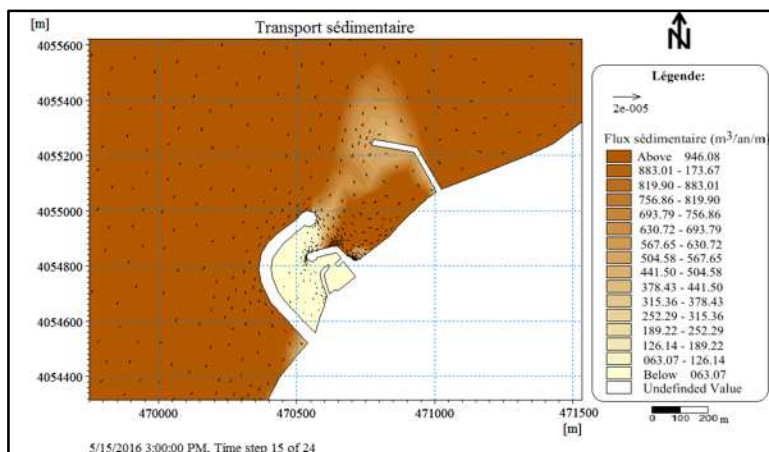


Figure n°112: Carte de répartition du flux sédimentaire, MWD=360° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante3

IV.1.3.4. Houles du secteur Nord-Est (N45°) :

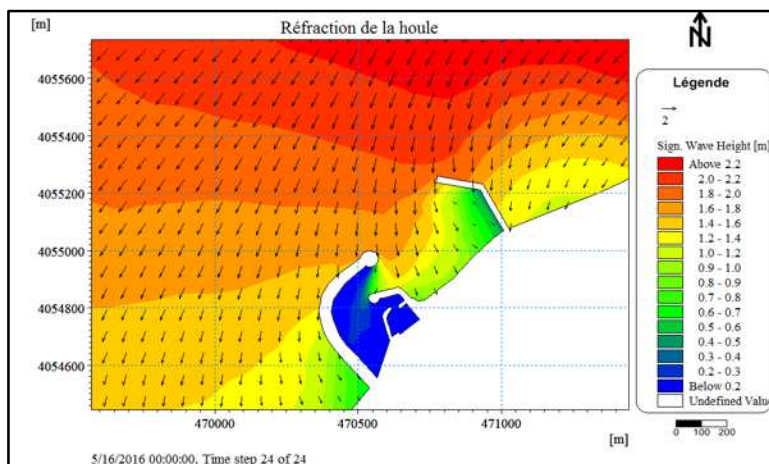


Figure n°113: Carte de répartition des champs de réfraction de la houle, MWD=45° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante3

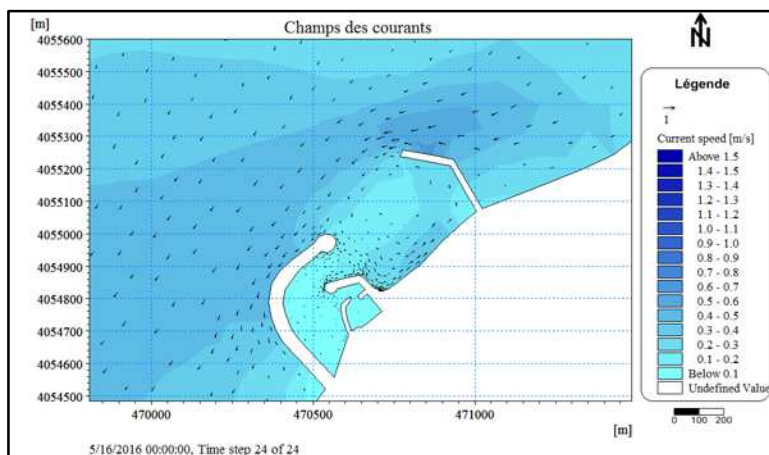


Figure n°114: Carte de répartition du champ des courants, MWD=45° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante3

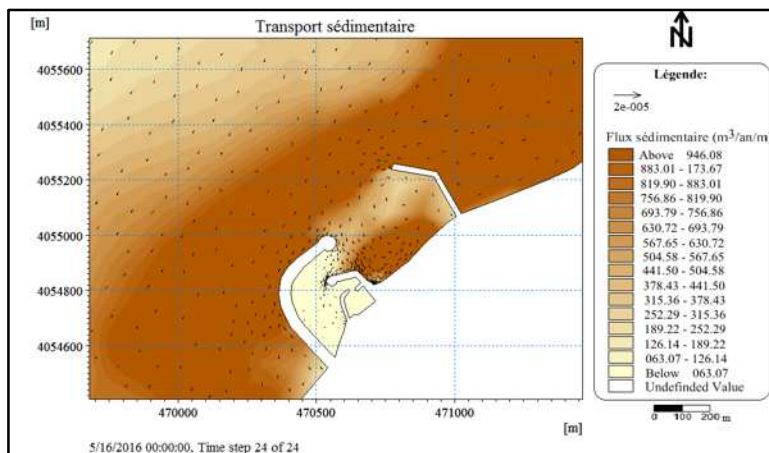


Figure n°115: Carte de répartition du flux sédimentaire, MWD=45° ; HS =2,67m ; T=8s, Variante3

- Suite à la simulation numérique des directions Ouest, Nord-Ouest, Nord et Nord-Est, nous avons constaté que l'implantation de l'épi n'a pas d'effet négatif concernant les houles de direction Ouest et Nord-Ouest, on remarque d'ailleurs que les résultats de la simulation sont semblables à ceux obtenus pour la variante 1. En effet pour ces deux directions le port est totalement protégé contre l'ensablement (**Figure n°106 et n°109**).
- Par rapport aux houles de Nord-Est et Nord, Cet ouvrage bloque un important flux sédimentaire venant de l'Est qui est en moyenne de l'ordre de $134.82 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$, permettant donc la reconstitution de la plage d'Est. Cet épi contribue aussi à une atténuation considérable des apports en sédiments vers le port, malgré cela on a enregistré au niveau du bassin un faible flux sédimentaire qui est d'environ $20.84 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$ pour la houle de Nord-Est et de $5.89 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$ pour la houle du Nord.
Ainsi pour éliminer totalement l'ensablement, on a préféré rajouter des récifs artificiels disposés et accrochés sur le fond, constitués de sacs en géotextiles remplis de sable, chaque récifs est d'une hauteur de 1 m et pèse environ 500kg, ces derniers permettent de piéger les sédiments venant de l'Est diminuant ainsi le transit qui s'effectue dans la direction du port, en même temps ils favorisent la réduction de l'énergie des vagues par la réflexion et la dissipation par déferlement, apportant ainsi une protection directe pour la plage d'Est et d'extrême Est (**Figure n°116**).
- On note que cette variante apporte un autre avantage, celui d'agrandir le port de pêche et d'augmenter la capacité d'accueil des embarcations. En effet le plan d'eau s'est agrandi à une superficie de l'ordre de 4.88ha accueillant ainsi 162 embarcations de sardinier et de petit métier en plus.

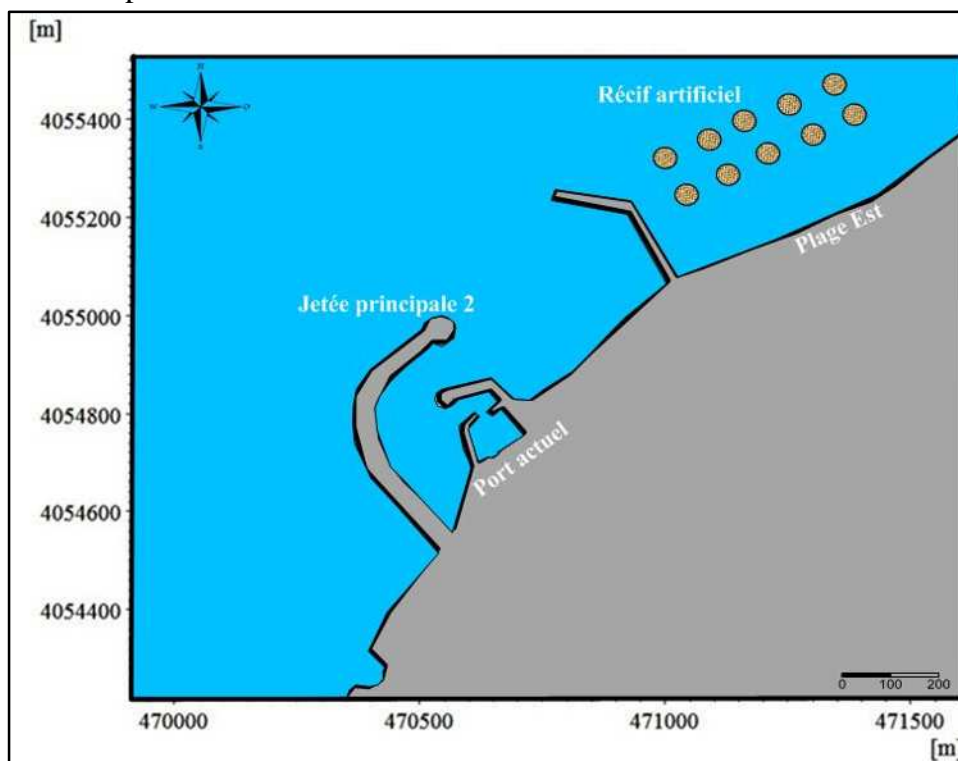


Figure n°116 : Schéma représentatif de la variante 3 combiné avec l'implantation des récifs artificiels

IV.2.4. Variante 4:

Dans la quatrième variante on propose une méthode dite souple, c'est le By passing hydraulique, cette méthode basé sur le concept de la résilience côtière, est conçus pour travailler avec la nature, elle intègre la dynamique naturel du littoral et la mobilité du trait de côte (**Jean-Louis Borloo, 2011**).

Le fonctionnement du by-passing, appelé aussi pendage sédimentaire, consiste à déplacer les matériaux des zones en accrétion vers les zones érodées. Ce système met en œuvre le transport du sable par voie hydrique par pompage et refoulement en aval. On note que la limite principale de cette technique concerne le coût de la réalisation et surtout d'entretien et de mise en œuvre annuelle qui est très important, ce type d'installation n'est donc justifier que lorsqu'il y a une menace sr l'activée économique, touristique et portuaire, cas du port de Khemisti, la mise en place de ce type de structure pourrait être une meilleure solution contre l'ensablement et l'érosion au niveau du rivage de Khemisti.

Dans le cas de notre étude la pompe est enterrée à l'ouest du port, vu que le transit sédimentaire dominant s'effectue de l'Ouest vers l'Est, le point de rejet est effectué au niveau de la plage d'Est. Ce système jouera donc deux rôle de protection, il permettra de recréer artificiellement la plage en transférant le sable piégé par l'implantation du port de l'Ouest vers l'Est, tout en empêchant le transit sédimentaire de direction Ouest-Est d'alimenter le port.

Vu que les sédiments au niveau de cette zone sont fins avec un diamètre moyen de 150 micromètre, on opte pour l'ajout des récifs artificiels, tel que les blocs en pierre (**Figure n°117**), qui maintiendront les sédiments refoulés.

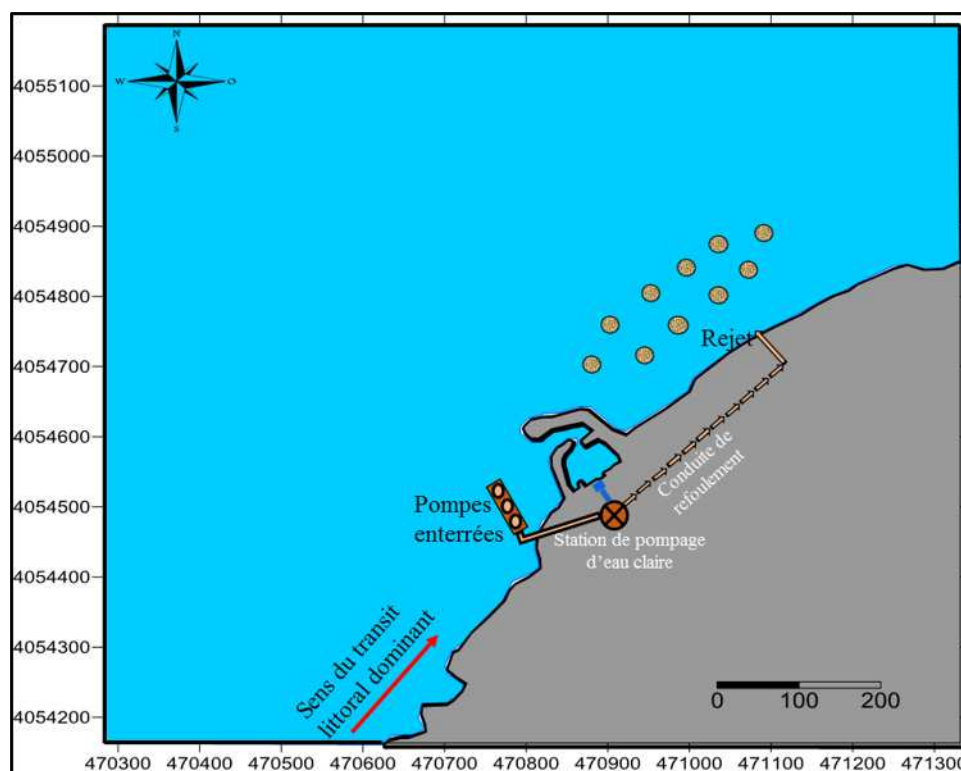


Figure n°117: Principe de fonctionnement du by-passing hydraulique dans la région de Khemisti

IV.3. Conclusion :

Dans ce chapitre, on a pu modéliser l'action de la houle et analyser son impact sur le port de Khemisti en vue de protéger ce dernier contre le flux sédimentaire enregistré ; les courants et de contrôler l'agitation portuaire, ainsi que de protéger la plage d'Est contre l'érosion marine. On a donc proposé trois variantes d'aménagement dites rigides dont on a pu appliquer un modèle de simulation numérique pour voir leurs impacts, ainsi qu'une variante dite souple.

Après l'étude comparative de ces variantes, on recommande la variante 3 malgré que la variante 4 (By-passing hydraulique) soit une méthode plus souple et plus respectueuse de la nature. En effet la variante 3 est la plus approprié à la problématique du déséquilibre sableux au voisinage du port et au niveau de la plage d'extrême Est. On considère cette dernière comme étant la variante optimale, du fait qu'elle est moins chère par rapport à la variante 4 et qu'elle offre une extension du port comme un avantage en plus.

Conclusion générale :

Dans ce travail, on a pu modéliser l'action de la houle provenant de toutes les directions sur l'ouvrage portuaire avant et après extension. Les résultats de la modélisation confirment que le rivage de Khemisti est un siège d'une dynamique sédimentaire active avec un sens dominant du transit littoral qui s'effectue du **Sud-Ouest** vers le **Nord-Est**, dont le taux du transport est d'environ **45.55 m³/an/m** ce qui représente 80.7 % du flux totale de la zone. A partir de là on a pu visualiser l'impact de l'extension sur le port ainsi que sur le rivage de Khemisti.

L'étude comparative ainsi que l'étude de la frange sous-marine du rivage de Khemisti et de l'évolution du trait de côte, nous a permis de constater que l'extension portuaire, qui avait pour but d'agrandir le bassin de l'abri de pêche et de bloquer son alimentation en sédiments, n'a pas abouti à un résultat satisfaisant vu que l'ensablement persiste toujours avec un flux sédimentaire entrant plus ou moins important, on constate aussi que la portion littorale d'Est est une zone fragile et très vulnérable qui subit l'effet de houles plus énergiques à son niveau qu'à l'Ouest, ces houles attaquent le rivage en arrachant des particules sédimentaire provoquant ainsi l'érosion de la plage à galet et de la plage sableuse situé à l'extrême Est, c'est ce qui a été confirmé par l'étude de la vulnérabilité côtière par le calcul de l'indice de vulnérabilité où il s'est avéré que **34.55%** de la portion littoral de khemisti, qui constitue la partie Est du site d'étude, est soumise à un risque élevé.

De ce fait on peut déduire que l'implantation de la jetée principale est mal conçu, en effet la passe d'entrée est orienté directement en face du transit dominant favorisant ainsi l'ensablement du port. En plus de cela le bassin rajouté dans le but d'agrandir la capacité d'accueil des embarcations du port s'avère inutile, vu que la jetée n'est pas implanter suffisamment loin au large. D'ailleurs actuellement on ne retrouve aucune flottille qui accoste à son niveau, du moment que le plan d'eau du bassin n'est de quelque centimètre de profondeur.

À cela, on a effectué une étude d'aménagement et de protection au niveau du port ainsi qu'au niveau du rivage, où on a proposé 3 variantes de type rigide et une variante dite souple qui protège le port contre l'ensablement et la côte contre l'érosion. Nous avons pu à travers une étude comparative de ces variantes opter pour une variante optimale (variante 03), du point de vue technique et économique.

La variante choisie est ainsi la plus appropriée à la problématique du déséquilibre sableux au voisinage du port. En effet, le port sera contre les flux sédimentaires et les courants, défavorables aux conditions d'exploitation, et ce quelle que soit la direction de la houle, et la plage d'Est sera protégé contre l'attaque frontale des houles qui arrachent les sédiments.

Néanmoins, cette variante a été optimisée par l'introduction des récifs artificiels (Sac en géotextile remplie de sable) mis en place du côté Est de l'épi. Ces derniers jouent un rôle de stabilisateur des sédiments bloquant ainsi le transport sédimentaire qui s'effectuent vers le port d'une part, et d'autre part d'atténuateur de l'énergie des houles protégeant ainsi la plage d'Est contre l'érosion.

Cependant pour une protection à long terme, il est indispensable de prendre en compte les changements climatiques et donc l'élévation du niveau moyen des mers, pour cela il nécessaire d'élaborer des stratégies d'adaptation qui ne pourront être efficaces que dans le cadre du plus global d'une gestion intégrée des zones côtières (**GIZC**) qui présente un outil incontournable pour le développement durable des littoraux algériens en général et celui de Khemisti en particulier.

Références bibliographiques :

- ABDELKADER, L. (2012).** *Structure et évolution du bassin offshore de Bou Ismail.* Mémoire de master. Géorressources. Tlemcen : Université Abou Beker Belkaid, 102 p.
- AL SID CHIKH, S., LAINSER, K. (2008).** *Baie de Bou-Ismaïl et baie d'El Djamila: paramètres océanographiques, gestion littorale et imagerie bathymétrique.* Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Delly Ibrahim : ENSSMAL, 98 p.
- AL SID CHIKH, S. (2011).** *Étude de protection de la plage de Palm Beach-Azur contre l'érosion recours à la modélisation numérique et physique.* Thèse de magister. Aménagement du littoral. Delly Ibrahim : ENSSMAL, 189 p.
- AOUDJ, C., BOUAZIZ, T. (2014).** *Fonctionnement et dynamique morpho-sédimentaire du littoral Est de Bejaïa.* Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Delly Ibrahim : ENSSMAL, 150 p.
- ASSASSI, C., OTMANI, H. (2010).** *Étude de protection de la zone de club des Pins.* Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Delly Ibrahim : ENSSMAL, 109 p.
- BACHOUCHE, S. (2010).** *Les ports d'Alger et de Bouharoun : étude des paramètres, granulométriques, biologiques et de pollution dans les sédiments et l'eau en vue d'une opération de dragage.* Thèse de magister. Pollution marine et écotoxicologie. Delly Ibrahim : ENSSMAL, 182 p.
- BAKALEM, A. (2008).** *Contribution à l'étude des peuplements benthiques du plateau continental Algérien.* Thèse de doctorat. Océanographie. Bab Ezzouar : USTHB, 678 p.
- BENRAHMOUN, M., BERKANE, N. (2015).** *Évaluation de la vulnérabilité des côtes du littoral centre (cas : la baie d'El Djamila).* Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Delly Ibrahim : ENSSMAL, 67 p.
- BOUALILI, N. (2015).** *Analyse statistique de l'évolution morphodynamique du littoral de Boumerdès.* Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Delly Ibrahim: ENSSMAL, 131 p.
- BRAIK, D. (1998).** *Étude de la dynamique sédimentaire devant Bou-Ismaïl: Morphologie, sédimentologie, problème d'érosion littoral.* Thèse de Magister. Géologie marine. Bab Ezzouar : USTHB, 160 p.
- DAHMANI, H. (2012).** *Étude hydro-sédimentaire en domaine bidimensionnel d'un milieu côtier par un progiciel de calcul (mike 21 et litpack).* Mémoire de magister. Science de l'eau. Alger : ENP, 228 p.
- DJOUDER, F., SMAOUN, A. (2011).** *Évaluation de la vulnérabilité à l'élévation du niveau de la mer dans la partie Ouest du golfe de Béjaïa, entre Cap Carbon et Cap Aokas.* Mémoire de master. Aménagement du littoral. Alger : USTHB, 71 p.
- EMILIE, M. (2007).** *Incertitudes de mesures bathymétriques : évaluation, validation et application sur les levés bathymétriques de la Seudre et sur les bancs ostréicoles du bassin de Marennes-Oléron.* Mémoire de master professionnel. Génie des anthroposystèmes littoraux. Rochelle : Université de la Rochelle, 56 p.
- FADHELA, B., KHADIDJA, S. (2015).** *Étude d'extension de l'abri de pêche de Khemisti en port de pêche (wilaya de Tipasa) : étude sur modèle réduit physique.* Mémoire d'ingénieur. Hydraulique. Alger : ENP, 170 p.

- FRANCOIS, S. (2001).** *Fonctionnement et dynamiques morpho-sédimentaire du littoral du delta du Rhone*. Thèse de doctorat. Géographie. Marseille : Université Aix-Marseille I, 274 p.
- GRIMES, S. (2010).** *Peuplements benthiques des substrats meubles de la côte Algérienne: taxonomie, structure et statut écologique*. Thèse de doctorat. Biologie et pollution marines. Oran : Université d'Oran, 360 p.
- KHADIDJA, S. (2015).** *Étude de réfraction de la houle du port de Khemisti avec le logiciel swan*. Mémoire de master. Hydraulique. Alger : ENP, 80 p.
- MAS, V. (2004).** *Processus sédimentaires et conditions environnementales enregistrées sur la pente continentale du Golfe de Gascogne: étude de l'éperon Delesse (marge armoricaine)*. Mémoire de master. Sciences de l'eau. Bordeaux : Université de Bordeaux I, 41 p.
- NECHENACHE, F.** *Etude géomorpho-sédimentaire de la zone côtière du parc national de Taza (wilaya de Jijel)*. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Delly Ibrahim : ENSSMAL, 138 p.
- OTMANI, H. (2014).** *Impact des infrastructures maritimes sur le littoral : cas du port de Cap Djinet*. Thèse de magister. Gestion et surveillance de l'environnement marin et littoral. Delly Ibrahim : ENSSMAL, 178 p.
- SAIDA, N. (2007).** *Evaluation des impacts des changements climatiques et de l'élévation du niveau de la mer sur le littoral de Tétouan (Méditerranée occidentale du Maroc): Vulnérabilité et Adaptation*. Thèse de doctorat. Changements climatiques et zones côtières. Maroc : Université Mohammed V-Agdal, 296 p.

ANNEXE I

Les résultats de la simulation de l'abri de pêche pour les houles de N45

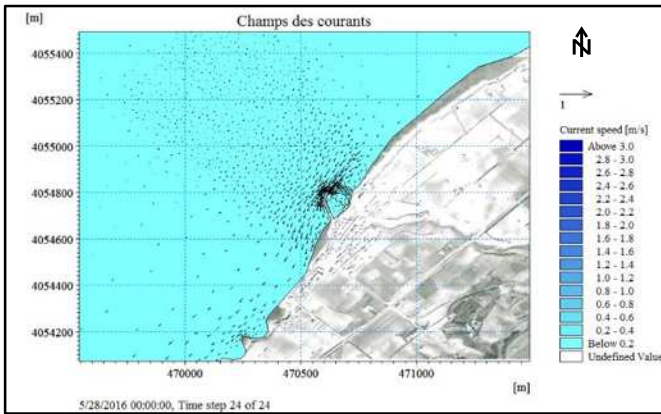


Figure n°1: Répartition du champ des courants littoraux pour les conditions de houle : (MWD=45° ; HS =1.09m ; T=6s)

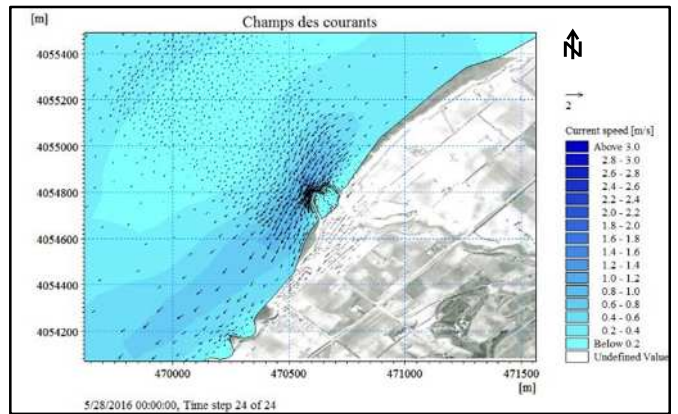


Figure n°2 : Répartition du champ des courants littoraux pour les conditions de houle: (MWD=45° ; Hs =5.05m ; T=10s)

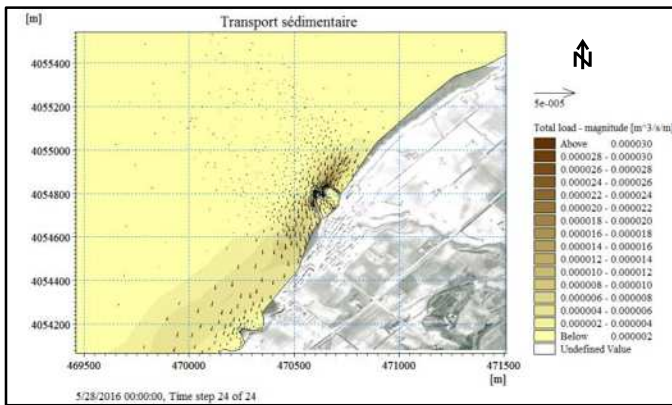


Figure n°3: carte de répartition du flux sédimentaire pour les conditions de houle: (MWD=45° ; Hs =1.09m ; T=6s)

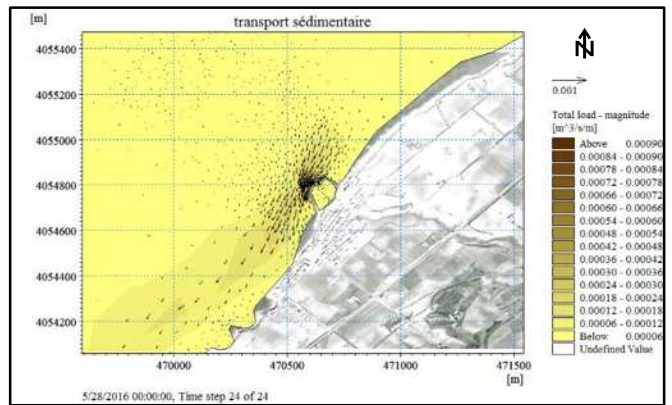


Figure n°4 : carte de répartition du flux sédimentaire pour les conditions de houle: (MWD=45° ; Hs =5.05m ; T=10s)

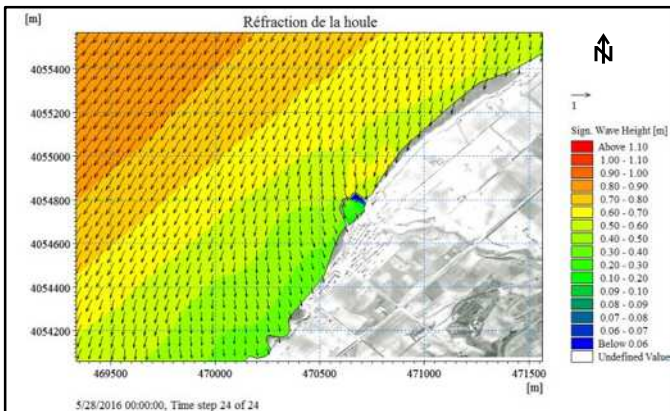


Figure n°5: Répartition du champ de réfraction de la houle : (MWD=45° ; Hs =1.09m ; T=6s)

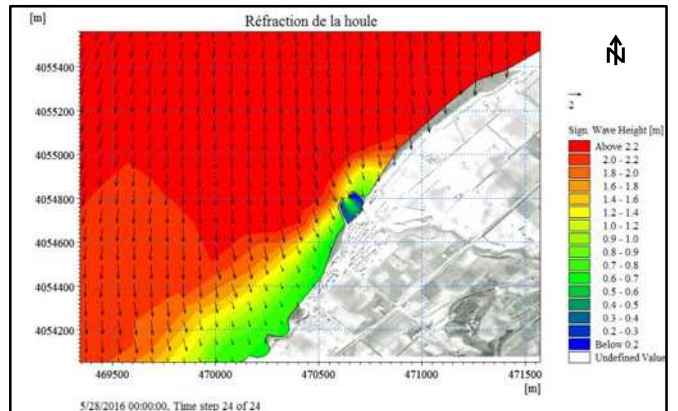


Figure n°6: Répartition du champ de réfraction de la houle : (MWD=45° ; Hs =5.05m ; T=10s)

Les résultats de la simulation de l'abri de pêche pour les houles de N270

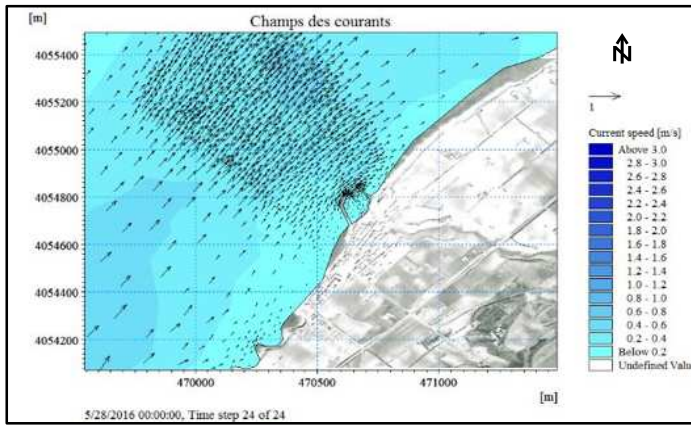


Figure n°7: Carte de la répartition du champ des courants littoraux pour les conditions de houle : (MWD=270° ; HS =1.19m ; T=6s)

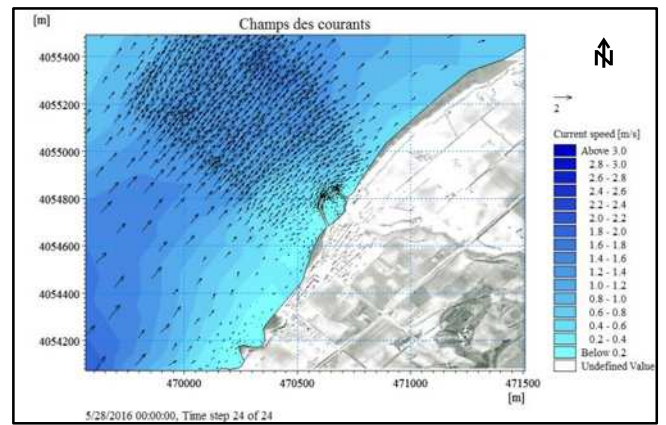


Figure n°8: Carte de la répartition du champ des courants littoraux pour les conditions de houle : (MWD=270° ; HS =5.54m ; T=10s)

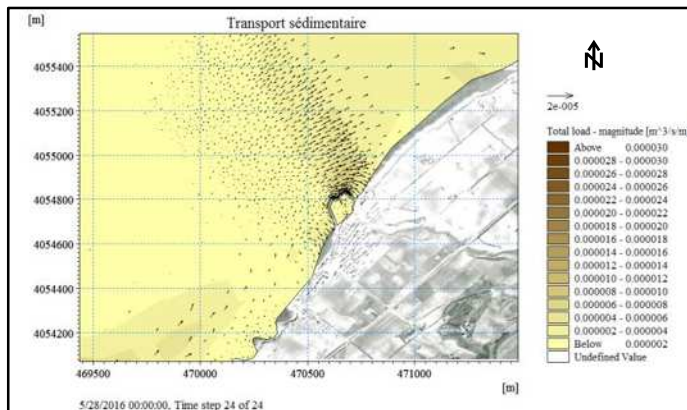


Figure n°9: carte de répartition du flux sédimentaire pour les conditions de houle: (MWD=270° ; HS =1.19m ; T=6s)

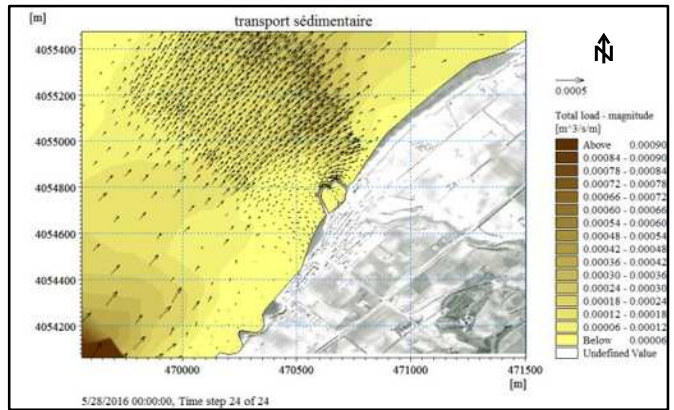


Figure n°10: carte de répartition du flux sédimentaire pour les conditions de houle: (MWD=270° ; HS =5.54m ; T=10s)

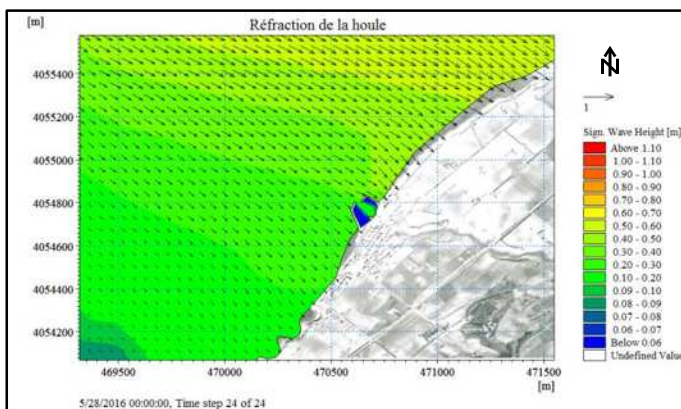


Figure n°11: Carte de la répartition du champ de réfraction de la houle : (MWD=270° ; HS =1.19m ; T=6s)

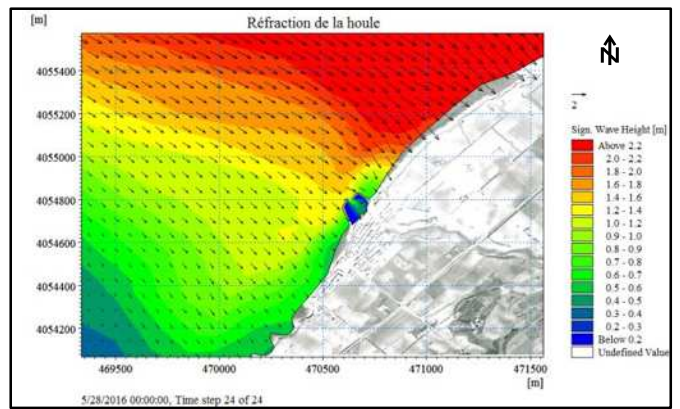


Figure n°12: Carte de la répartition du champ de réfraction de la houle : (MWD=270° ; HS =5.54m ; T=10s)

Les résultats de la simulation de l'abri de pêche pour les houles de N315

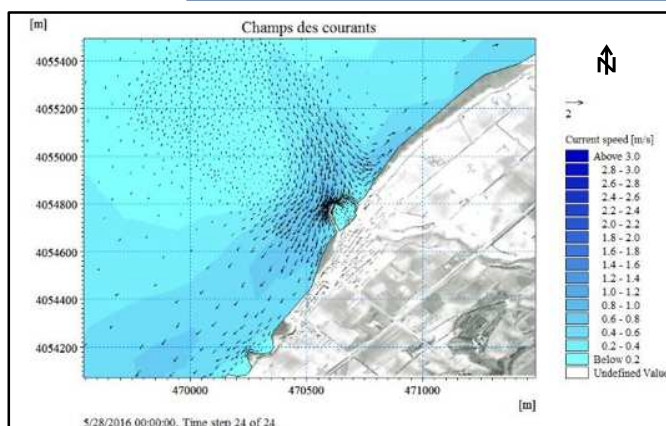


Figure n°13: Carte de la répartition du champ des courants littoraux pour les conditions de houle : (MWD=315° ; HS =1.1m ; T=6s)

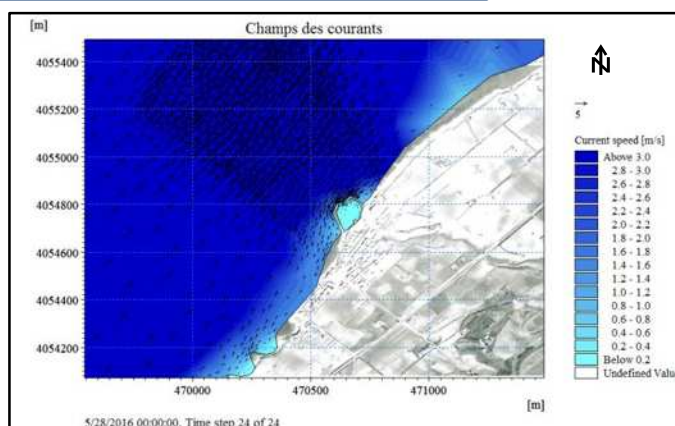


Figure n°14: Carte de la répartition du champ des courants littoraux pour les conditions de houle : (MWD=315° ; HS =4.53m ; T=10s)

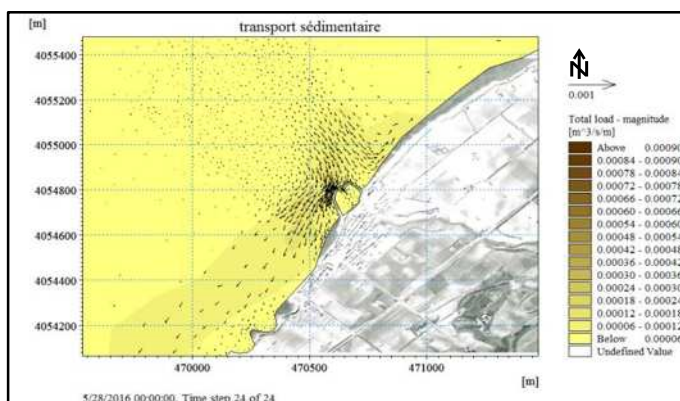


Figure n°15: carte de répartition du flux sédimentaire pour les conditions de houle: (MWD=315° ; HS =1.1m ; T=6s)

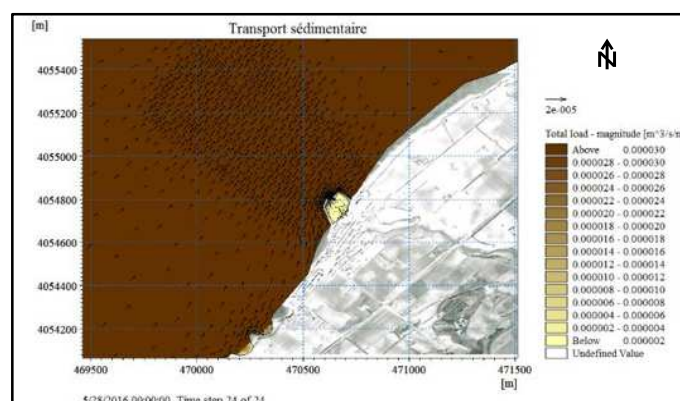


Figure n°16: carte de répartition du flux sédimentaire pour les conditions de houle: (MWD=315° ; HS =4.53m ; T=10s)

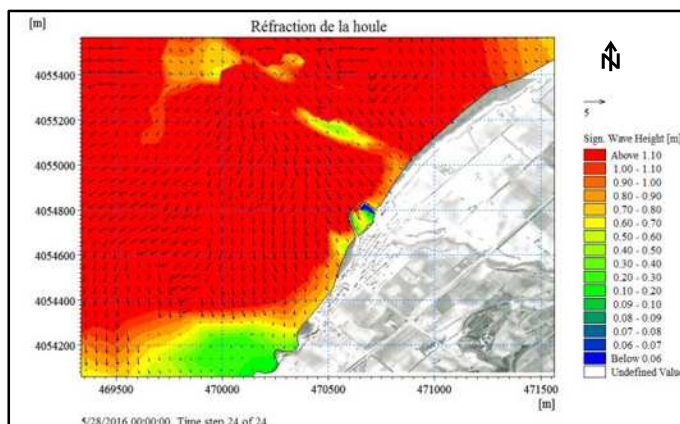


Figure n°17: Carte de la répartition du champ de réfraction de la houle : (MWD=315° ; HS =1.1m ; T=6s)

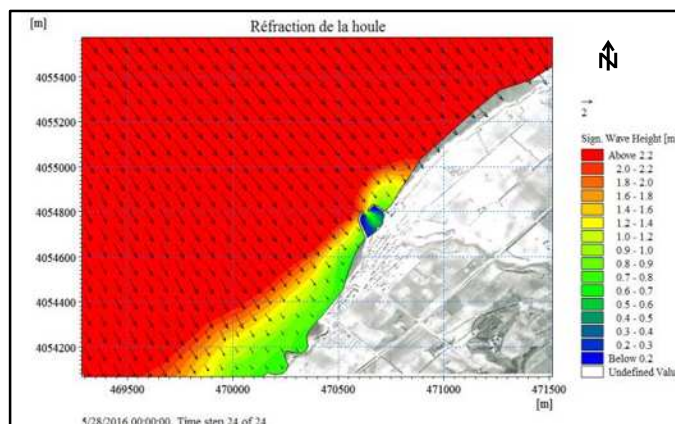


Figure n°18: Carte de la répartition du champ de réfraction de la houle : (MWD=315° ; HS =4.53m ; T=10s)

Les résultats de la simulation de l'abri de pêche pour les houles de N360

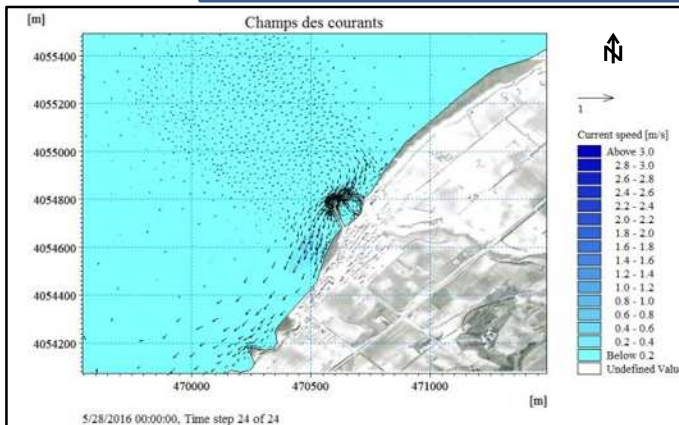


Figure n°19: Carte de la répartition du champ des courants littoraux pour les conditions de houle : (MWD=360° ; HS =1m ; T=6s)

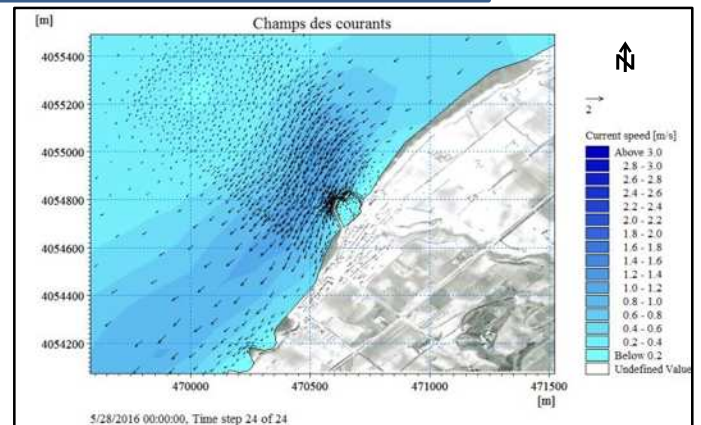


Figure n°20: Carte de la répartition du champ des courants littoraux pour les conditions de houle : (MWD=360° ; HS =4.92m ; T=10s)

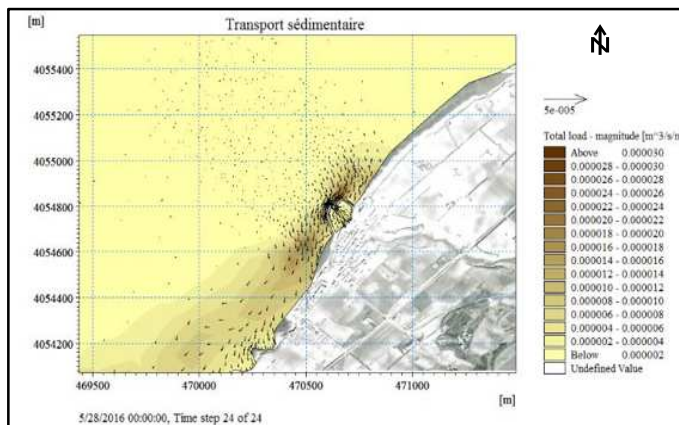


Figure n°21: carte de répartition du flux sédimentaire pour les conditions de houle: (MWD=360° ; HS =1m ; T=6s)

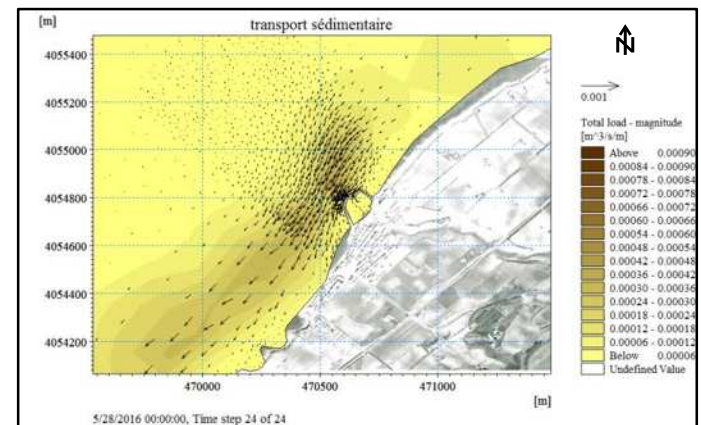


Figure n°22: carte de répartition du flux sédimentaire pour les conditions de houle: (MWD=360° ; HS =4.92m ; T=10s)

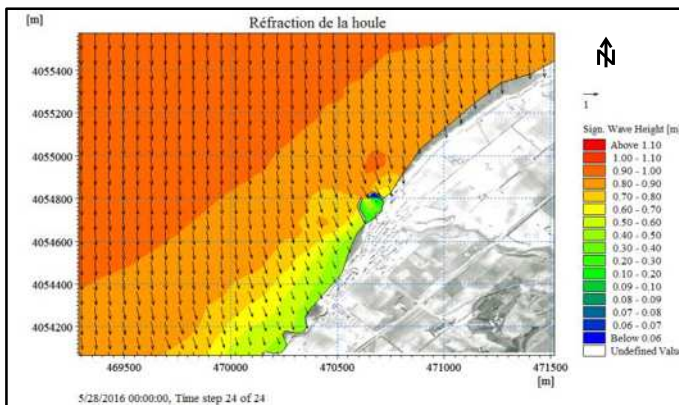


Figure n°23: Carte de la répartition du champ de réfraction de la houle : (MWD=360° ; HS =1m ; T=6s)

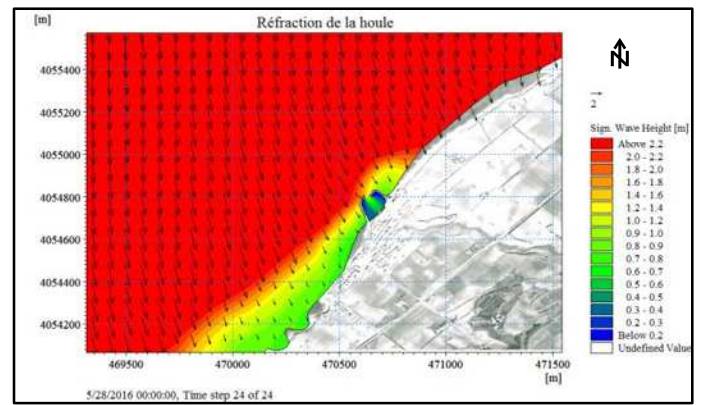


Figure n°24: Carte de la répartition du champ de réfraction de la houle : (MWD=360° ; HS =4.92m ; T=10s)

Tableau n°2 : Les données bathymétriques actuelles de la région de Khemisti (2016)

X	Y	Z (m)	X	Y	Z (m)	X	Y	Z (m)
470450	4054670	-3,42	469572	4055903	-36	471106	4055921	-6.84
470447	4054754	-4	469497	4055982	-38	471057	4055975	-8.1
470426	4054802	-6	469418	4056037	-40	470999	4056048	-12
470407	4054862	-8	469347	4056119	-42	470950	4056128	-13.86
470378	4054929	-10	469282	4056202	-44	470901	4056220	-15.3
470312	4055009	-12	469225	4056305	-46	470871	4056277	-18
470250	4055048	-13,14	469134	4056403	-48	470841	4056331	-19.8
470115	4055146	-15,3	469000	4056505	-50	470814	4056379	-21.96
470040	4055255	-18	469950	4054039	-2.7	470763	4056451	-24.12
469971	4055344	-20	469966	4054107	-4	470723	4056498	-25.92
469894	4055417	-22	469948	4054219	-6	470644	4056580	-27.72
469826	4055482	-24	469899	4054334	-8	470554	4056686	-29.7
469766	4055533	-26	469838	4054441	-10	470476	4056762	-31.86
469737	4055562	-28	469798	4054568	-12	470430	4056813	-33.48
469672	4055616	-30	469735	4054674	-14	470375	4056880	-36.18
469630	4055665	-32	469681	4054767	-16	470330	4056930	-37.98
469524	4055780	-36	469617	4054857	-18	470279	4056996	-39.78
469367	4055928	-40	469564	4054952	-20	470219	4057076	-41.58
469160	4056113	-45	469529	4055040	-22	470128	4057166	-43.92
469061	4056194	-48	469497	4055115	-24	470038	4057259	-45.9
468897	4056300	-50	469483	4055211	-26	469964	4057366	-47.88
470298	4054510	-4	469465	4055265	-28	469896	4057471	-49.86
470237	4054582	-6	469431	4055307	-30	471085	4055330	-3.42
470175	4054647	-8	469402	4055342	-32	471043	4055323	-3.6
470108	4054718	-10	469361	4055393	-34	471020	4055337	-4.14
470034	4054788	-12	469315	4055447	-36	470937	4055479	-6.3
469951	4054873	-14	469254	4055522	-38	470858	4055605	-8.1
469865	4054946	-16	469186	4055601	-40	470792	4055721	-9.9
469786	4055020	-18	469127	4055661	-42	470717	4055844	-11.88
469714	4055105	-20	469067	4055730	-44	470519	4056147	-15.84
469651	4055172	-22	468994	4055813	-46	470360	4056391	-19.62
469588	4055255	-24	468916	4055895	-48	470267	4056489	-22.32
469537	4055315	-26	468827	4055991	-50	470248	4056532	-27.72
469529	4055340	-28	470277	4054392	-2.7	470207	4056610	-29.88
469506	4055395	-30	470245	4054431	-4	470191	4056651	-30.78
469469	4055436	-32	470178	4054522	-6	470171	4056690	-33.12
469433	4055476	-34	470125	4054591	-8	470125	4056782	-39.78
469374	4055520	-36	470065	4054677	-10	470055	4056882	-42
469309	4055574	-38	469996	4054769	-12	469966	4057042	-44
469238	4055646	-40	469921	4054866	-14	469900	4057168	-46
469176	4055725	-42	469853	4054950	-16	469831	4057248	-47.52
469118	4055808	-44	469780	4055043	-18	470535	4054918	-5.22
469050	4055862	-46	469713	4055133	-20	470540	4054949	-6
468963	4055938	-48	469667	4055188	-21.6	470531	4055036	-8
468878	4056013	-50	469590	4055284	-25.2	470506	4055148	-10
470585	4054816	-2,07	469552	4055330	-27	470478	4055255	-12
470621	4054814	-1,71	469524	4055375	-28.8	470427	4055407	-14
470834	4055154	-3,24	469483	4055436	-31.32	470381	4055498	-16
470423	4055340	-11	469441	4055491	-34	470341	4055605	-18
470406	4055344	-15	469388	4055565	-36	470302	4055720	-20
470299	4055396	-15,98	469330	4055649	-38	470219	4056095	-22
470241	4055399	-18	469263	4055736	-40	470189	4056169	-24
470134	4055467	-20	469196	4055821	-42	470055	4056437	-26
470005	4055544	-22	469132	4055910	-44	470020	4056566	-31.86
469959	4055568	-24	469061	4056003	-46	469974	4056641	-37.44
469882	4055622	-26	469007	4056072	-48	469960	4056662	-38.52
469813	4055678	-28	468954	4056105	-48.79	469937	4056701	-40.32
469746	4055738	-30	471253	4055483	-3.24	469912	4056743	-41.94
469689	4055787	-32	471198	4055779	-3.78	469872	4056807	-43.74
469627	4055832	-34	471198	4055779	-5.76	469771	4056947	-45.54
470261	4055957	-18	470110	4056345	-23.22	469686	4057091	-47.88
						469616	4057185	-50

Les résultats de la simulation du port actuel pour les houles de N45

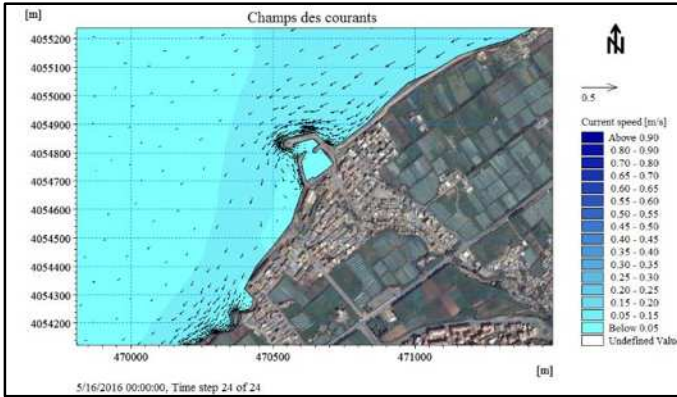


Figure n°25: Carte de la répartition du champ des courants littoraux pour les conditions de houle : (MWD=45° ; HS =1.09m ; T=6s)

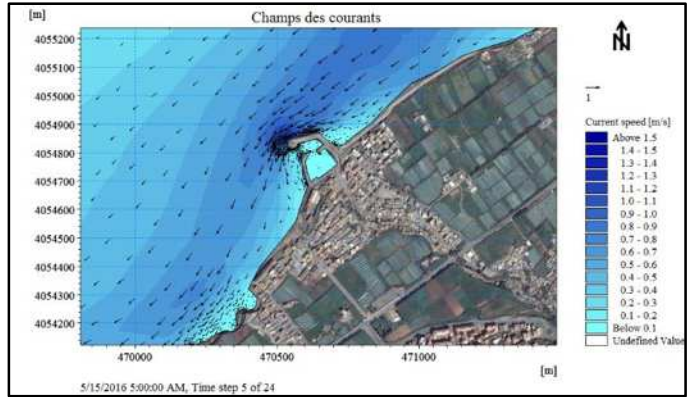


Figure n°26: Carte de la répartition du champ des courants littoraux pour les conditions de houle : (MWD=360° ; HS =5.05m ; T=10s)

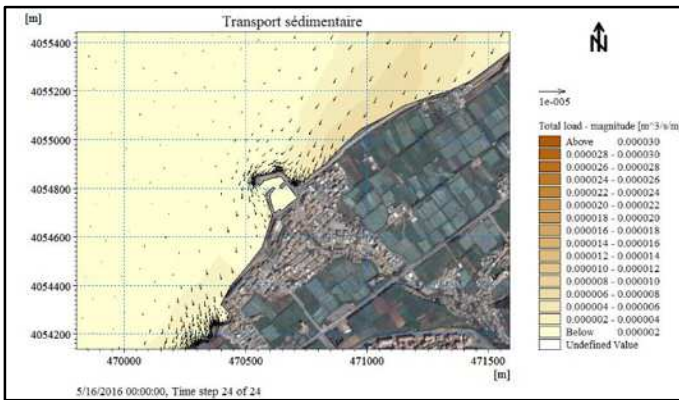


Figure n°27: carte de répartition du flux sédimentaire pour les conditions de houle: (MWD=45° ; Hs =1.09m ; T=6s)

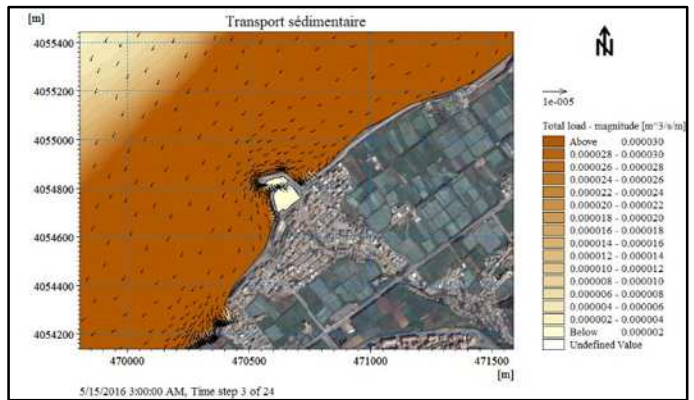


Figure n°28: carte de répartition du flux sédimentaire pour les conditions de houle: (MWD=45° ; Hs =5.05m ; T=10s)

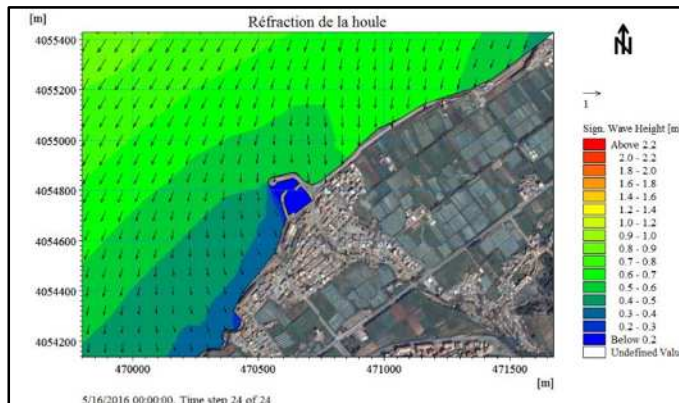


Figure n°29: Répartition du champ de réfraction de la houle : (MWD=45° ; Hs =1.09m ; T=6s)

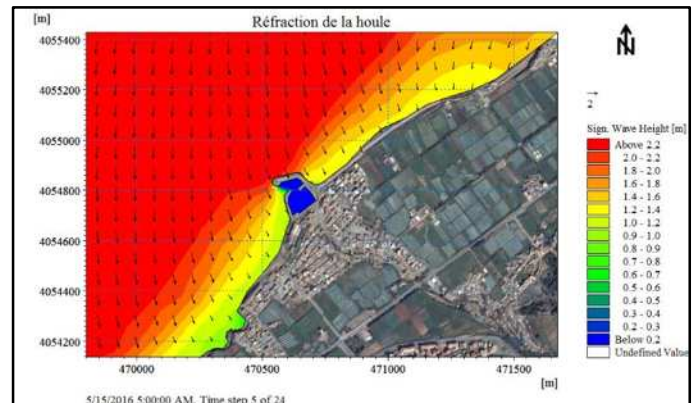


Figure n°30: Répartition du champ de réfraction de la houle : (MWD=45° ; Hs =5.05m ; T=10s)

Les résultats de la simulation du port actuel pour les houles de
N270

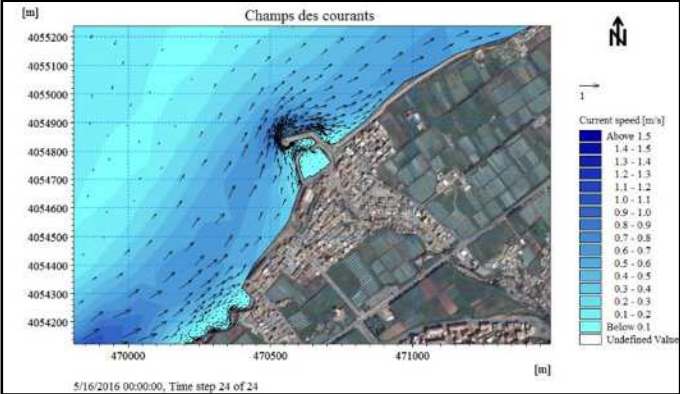


Figure n°31: Carte de la répartition du champ des courants littoraux pour les conditions de houle : (MWD=270° ; HS =1.19m ; T=6s)

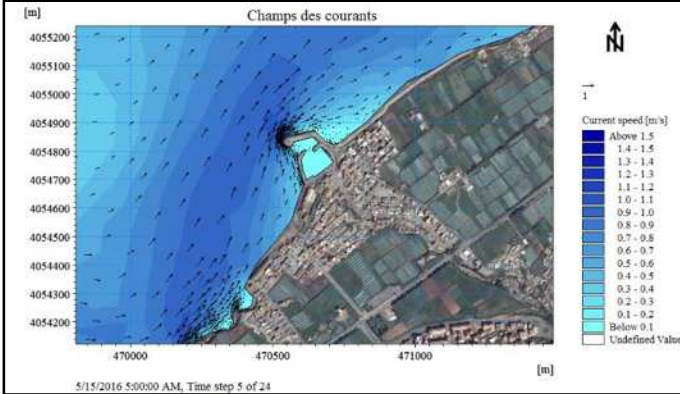


Figure n°32: Carte de la répartition du champ des courants littoraux pour les conditions de houle : (MWD=270° ; HS =5.54m ; T=10s)

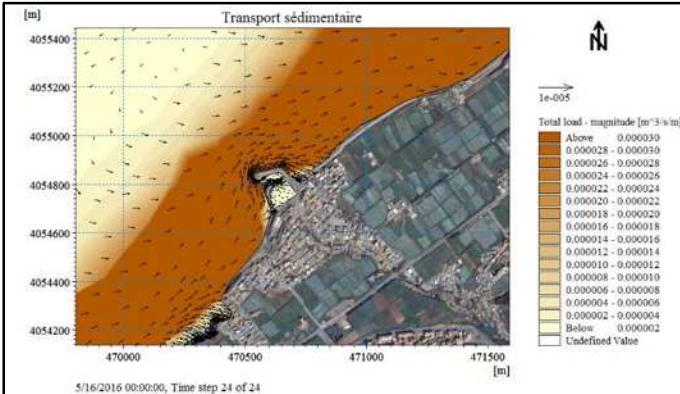


Figure n°33: carte de répartition du flux sédimentaire pour les conditions de houle: (MWD=270° ; HS =1.19m ; T=6s)

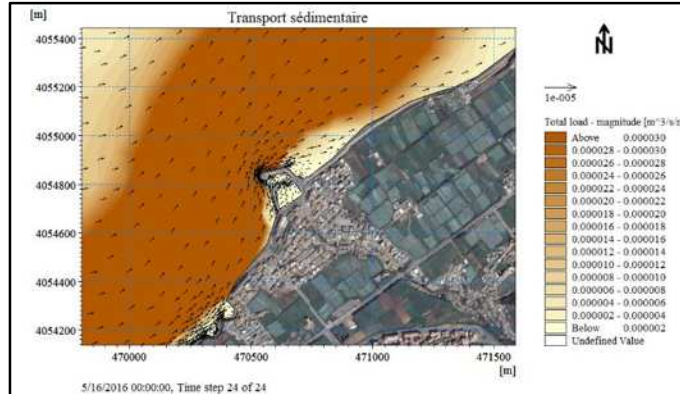


Figure n°34: carte de répartition du flux sédimentaire pour les conditions de houle: (MWD=270° ; HS =5.54m ; T=10s)

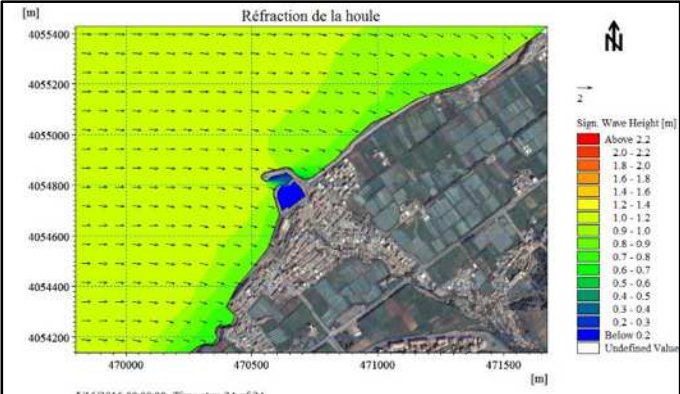


Figure n°35: Carte de la répartition du champ de réfraction de la houle : (MWD=270° ; HS =1.19m ; T=6s)

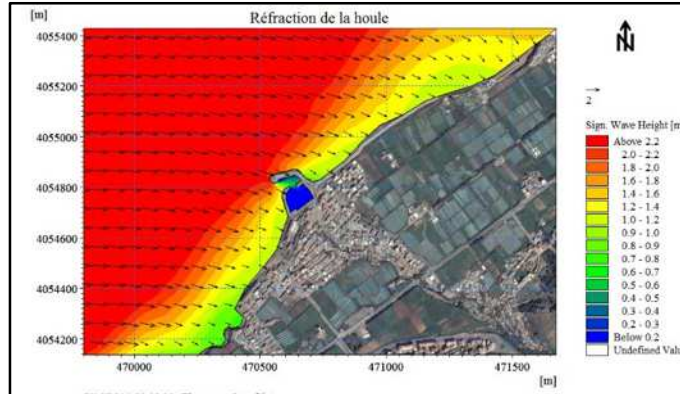


Figure n°36: Carte de la répartition du champ de réfraction de la houle : (MWD=270° ; HS =5.54m ; T=10s)

Les résultats de la simulation du port actuel pour les houles de N315

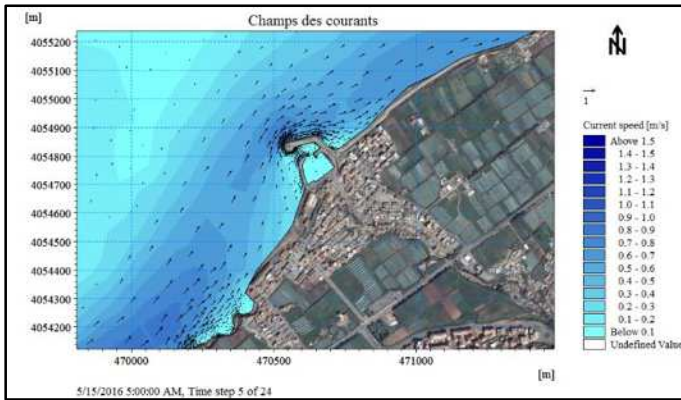


Figure n°37: Carte de la répartition du champ des courants littoraux pour les conditions de houle : (MWD=315° ; HS =1.1m ; T=6s)

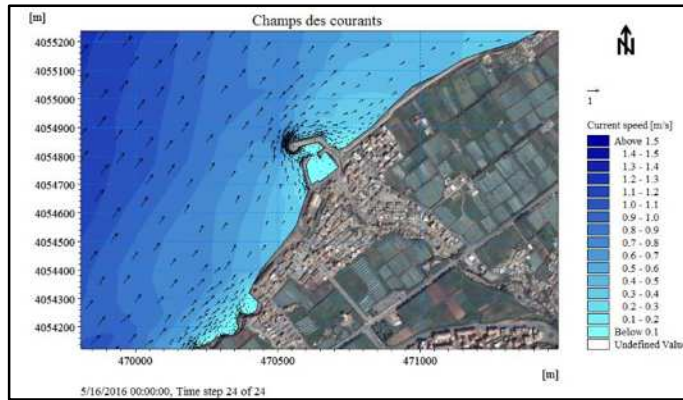


Figure n°38: Carte de la répartition du champ des courants littoraux pour les conditions de houle : (MWD=315° ; HS =4.53m ; T=10s)

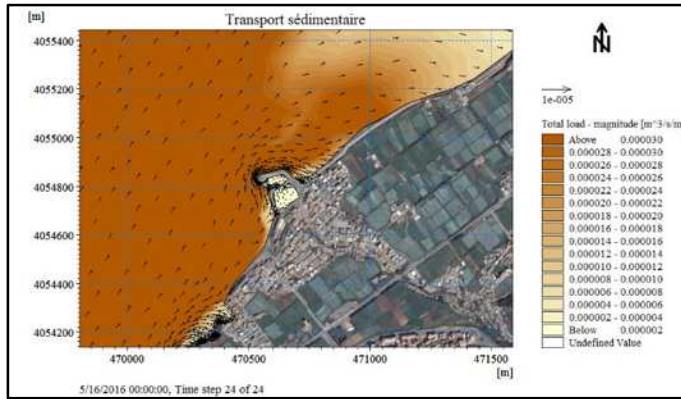


Figure n°39: carte de répartition du flux sédimentaire pour les conditions de houle: (MWD=315° ; HS =1.1m ; T=6s)

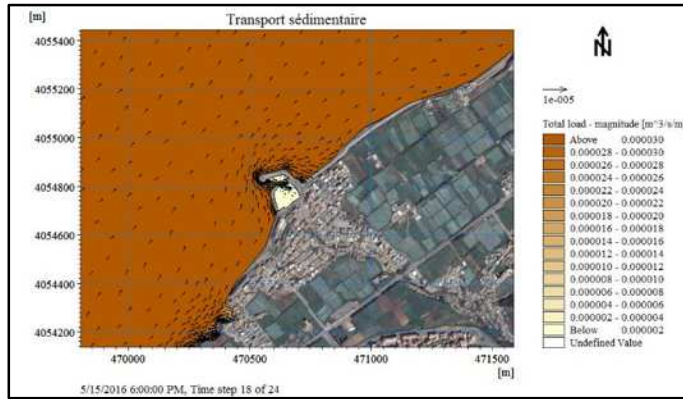


Figure n°40: carte de répartition du flux sédimentaire pour les conditions de houle: (MWD=315° ; HS =4.53m ; T=10s)

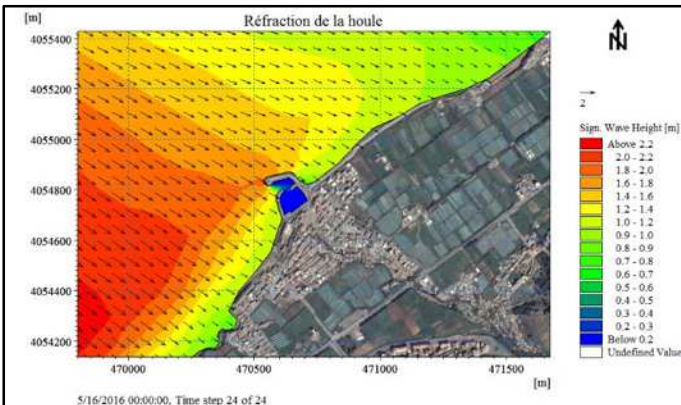


Figure n°41: Carte de la répartition du champ de réfraction de la houle : (MWD=315° ; HS =1.1m ; T=6s)

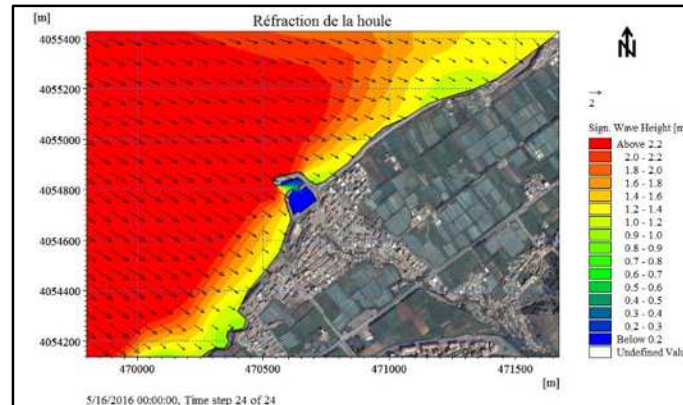


Figure n°42: Carte de la répartition du champ de réfraction de la houle : (MWD=315° ; HS =4.53m ; T=10s)

Les résultats de la simulation du port actuel pour les houles de N360

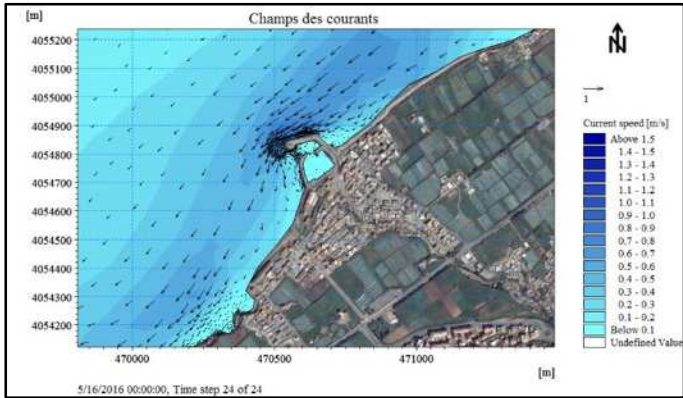


Figure n°43: Carte de la répartition du champ des courants littoraux pour les conditions de houle : (MWD=360° ; HS =1m ; T=6s)

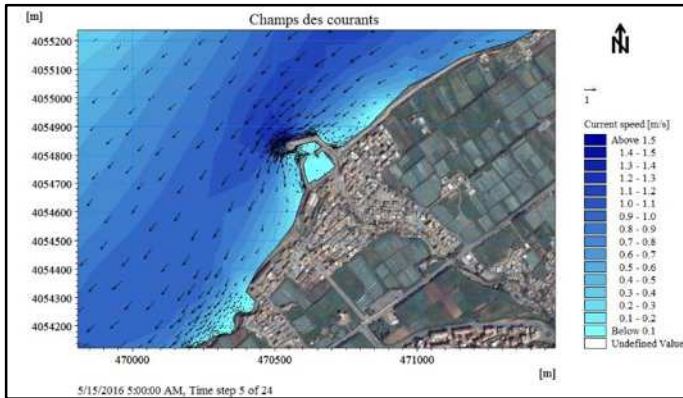


Figure n°44: Carte de la répartition du champ des courants littoraux pour les conditions de houle : (MWD=360° ; HS =4.92m ; T=10s)

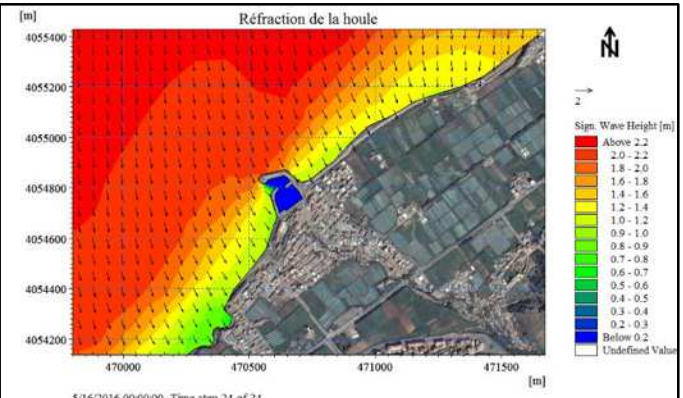


Figure n°45: carte de répartition du flux sédimentaire pour les conditions de houle: (MWD=360° ; HS =1m ; T=6s)

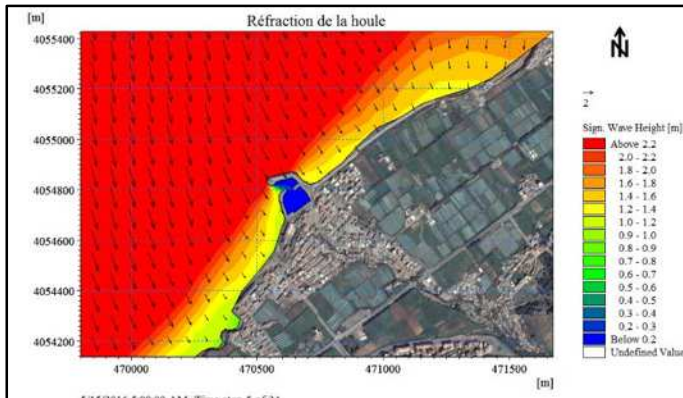


Figure n°46: carte de répartition du flux sédimentaire pour les conditions de houle: (MWD=360° ; HS =4.92m ; T=10s)

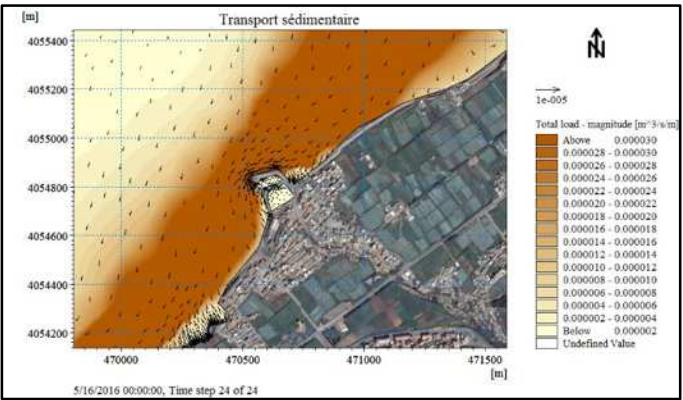


Figure n°47: Carte de la répartition du champ de réfraction de la houle : (MWD=360° ; HS =1m ; T=6s)

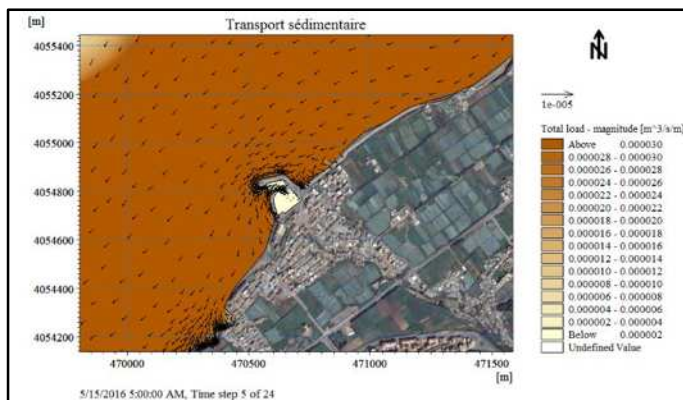
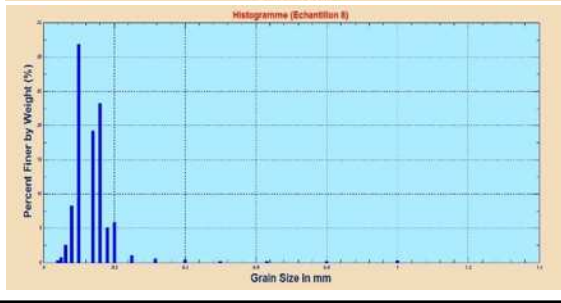
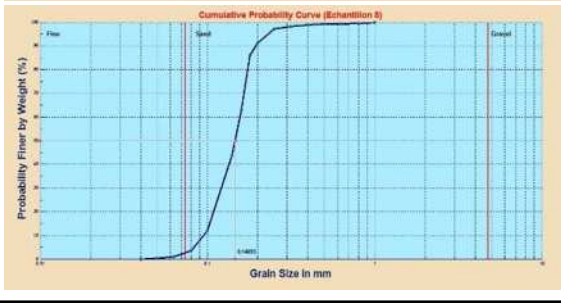
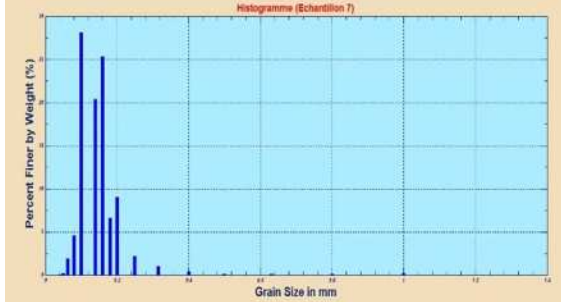
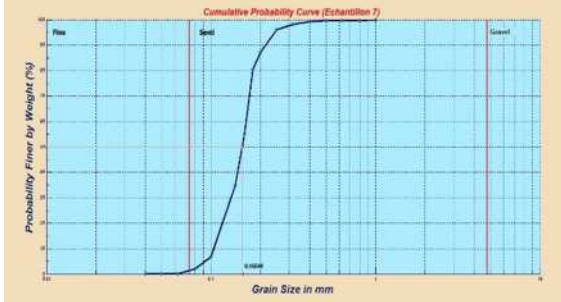
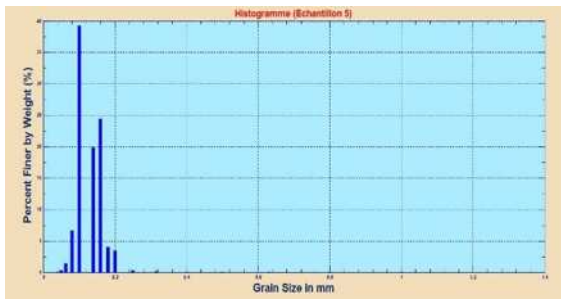
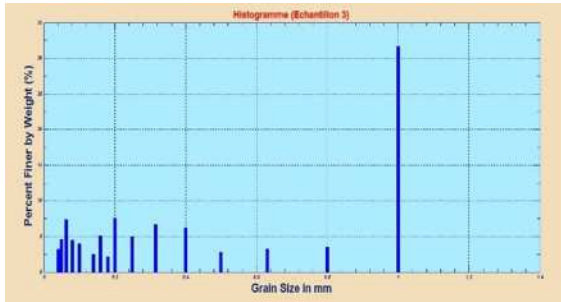
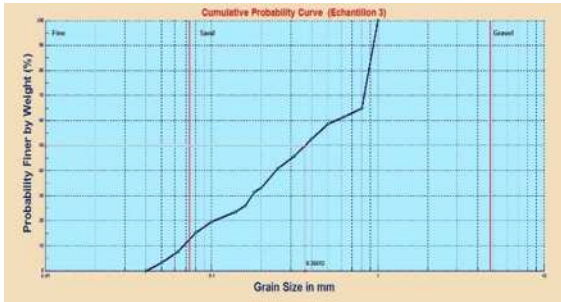
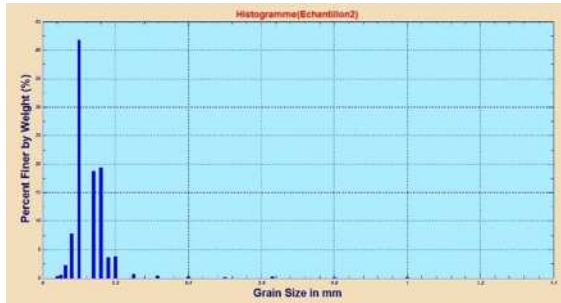
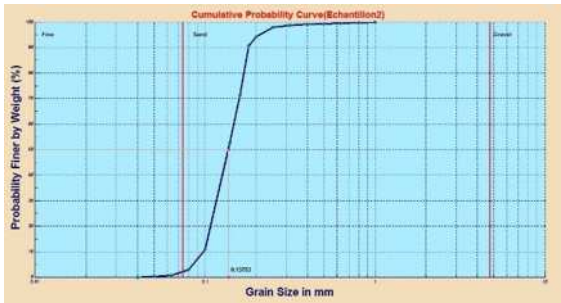
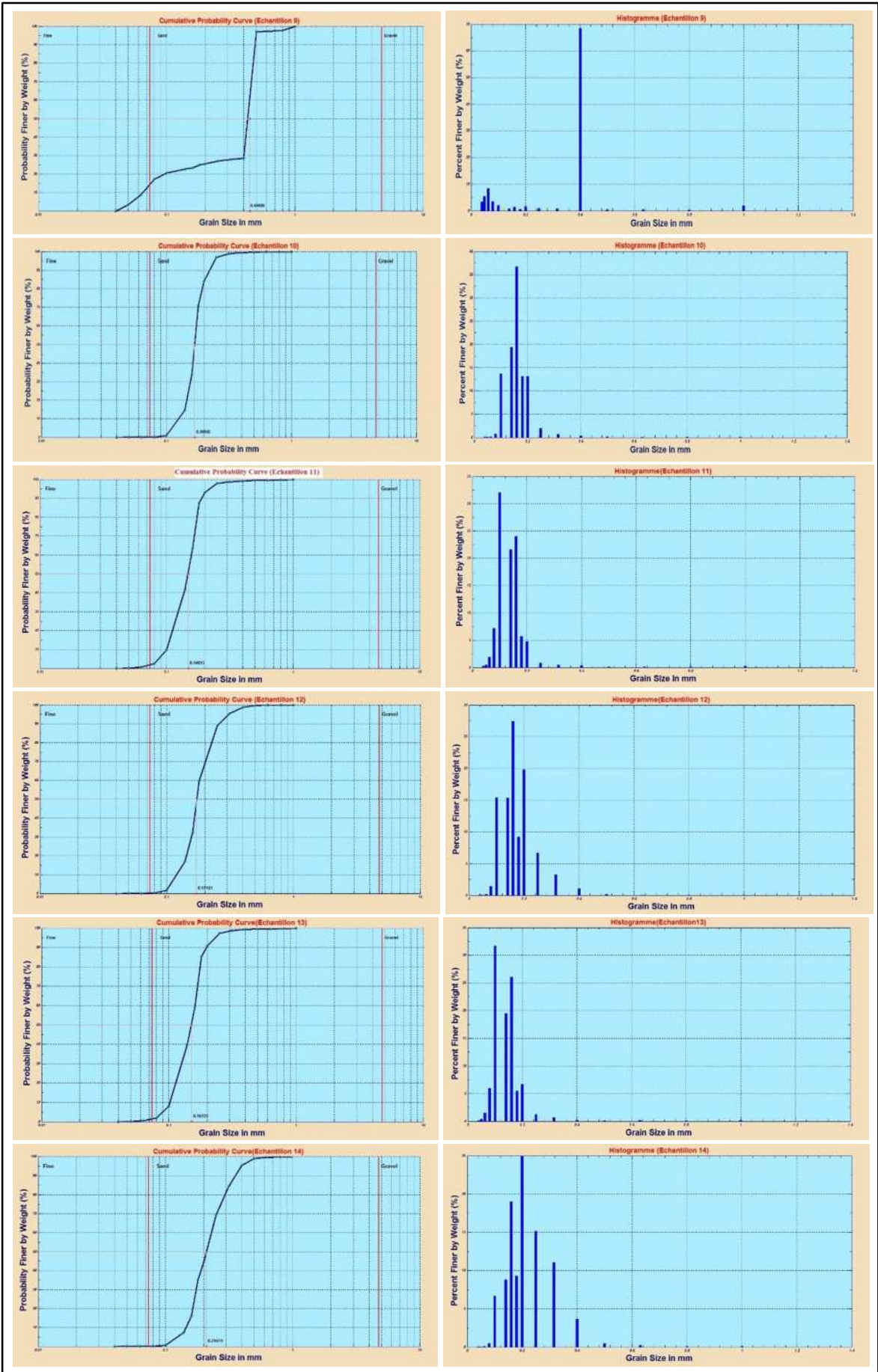


Figure n°48: Carte de la répartition du champ de réfraction de la houle : (MWD=360° ; HS =4.92m ; T=10s)





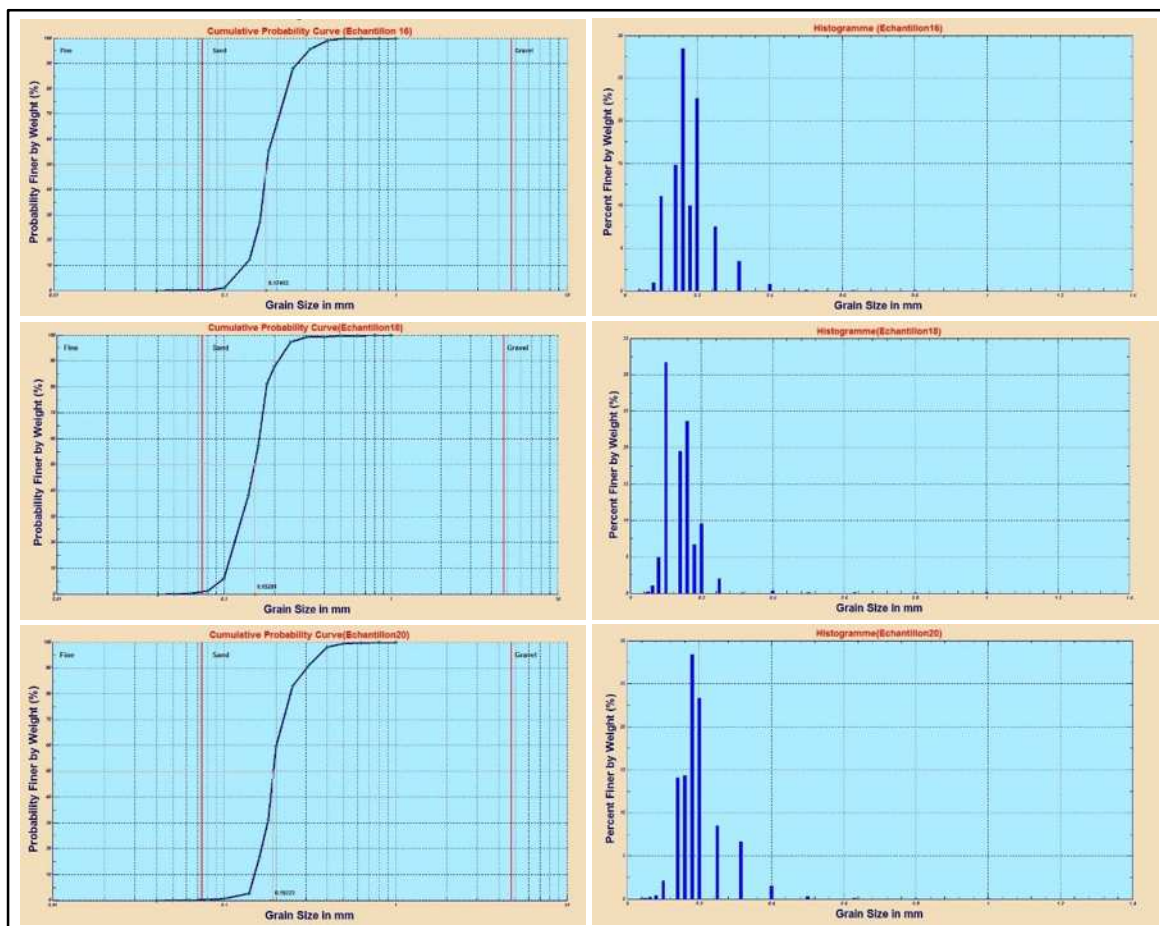


Figure n°49: Courbe granulométrique et histogramme des échantillons étudiés

Tableau n°3: coordonnées métriques des stations de prélèvement

Echantillons	Echantillon 01	Echantillon 02	Echantillon 03	Echantillon 04	Echantillon 05	Echantillon 06	Echantillon 07	Echantillon 08	Echantillon 09	Echantillon 10
X	470834	469813	469000	470450	470040	469524	470298	469537	468878	470277
Y	4055154	4055678	4056505	4054670	4055255	4055780	4054510	4055315	4056013	4054392

Echantillons	Echantillon 11	Echantillon 12	Echantillon 13	Echantillon 14	Echantillon 15	Echantillon 16	Echantillon 17	Echantillon 18	Echantillon 19	Echantillon 20
X	469590	469966	469483	471085	470267	471253	470723	470540	470055	470585
Y	4055284	4054107	4055211	4055330	4056489	4055483	4056498	4054949	4056437	4054816

Tableau n°4: Résultats de l'analyse granulométrique par échantillons

Tamis(um)	echantillon 1	Echantillon 2	Echantillon 3	Echantillon 04	Echantillon 05	Echantillon 06	Echantillon 07	Echantillon 08	Echantillon 09	Echantillon 10
1000	ROCHE	0,23	28,92	ROCHE	0,09	1,07	0,22	0,37	1,89	0,04
800	ROCHE	0,21	3,17	ROCHE	0,06	0,35	0,11	0,24	0,32	0,05
630	ROCHE	0,34	3	ROCHE	0,05	0,4	0,12	0,22	0,38	0,07
500	ROCHE	0,23	2,58	ROCHE	0,07	0,46	0,17	0,23	0,36	0,16
400	ROCHE	0,38	5,65	ROCHE	0,1	0,98	0,6	0,54	68	0,45
315	ROCHE	0,52	6,03	ROCHE	0,18	1,23	1,45	0,8	0,75	0,98
250	ROCHE	0,95	4,57	ROCHE	0,5	1,43	3,17	1,34	0,86	2,8
200	ROCHE	5,29	6,87	ROCHE	5,03	2,97	13,36	7,6	1,55	19,07
180	ROCHE	5,02	1,99	ROCHE	5,86	1,25	9,8	6,52	0,53	19,13
160	ROCHE	27,3	4,66	ROCHE	35,55	5,6	37,46	29,78	1,43	53,4
140	ROCHE	26,5	2,28	ROCHE	28,86	6,43	30,17	24,69	0,78	28,2
100	ROCHE	59	3,62	ROCHE	57,22	33,12	41,6	40,93	1,99	19,89
80	ROCHE	10,9	4,08	ROCHE	9,63	23,27	6,73	10,66	3,54	1,14
63	ROCHE	3,2	6,74	ROCHE	2,02	13,39	2,8	3,28	8,36	0,16
50	ROCHE	0,7	4,17	ROCHE	0,39	4,57	0,24	0,93	5,33	0,06
40	ROCHE	0,34	2,92	ROCHE	0,12	2,84	0,06	0,36	3,32	0,01
% des pelites	ROCHE	4,84	38,747	ROCHE	1,72	31,84	0,707	13,18	77,373	1,047
D50	ROCHE	137,53	366,12	ROCHE	142,45	105,38	155,44	146,93	446,06	168,45
D95	ROCHE	135,98	997,05	ROCHE	194,12	289,15	239,54	222,41	491,71	235,95

Tamis(um)	Echantillon 11	Echantillon 12	Echantillon 13	Echantillon 14	Echantillon 15	Echantillon 16	Echantillon 17	Echantillon 18	Echantillon 19	Echantillon 20
1000	0,36	0,01	0,28	0,08	ROCHE	0,04	ROCHE	0,11	ROCHE	0,03
800	0,15	0,03	0,17	0,11	ROCHE	0,01	ROCHE	0,07	ROCHE	0,08
630	0,15	0,07	0,21	0,32	ROCHE	0,07	ROCHE	0,14	ROCHE	0,16
500	0,19	0,21	0,2	0,7	ROCHE	0,12	ROCHE	0,16	ROCHE	0,34
400	0,41	1,55	0,24	5,37	ROCHE	1,1	ROCHE	0,41	ROCHE	1,94
315	0,61	4,75	0,93	16,38	ROCHE	5,17	ROCHE	0,1	ROCHE	8,85
250	1,18	9,84	1,81	22,38	ROCHE	11,14	ROCHE	2,93	ROCHE	11,38
200	6,74	29,25	9,63	36,88	ROCHE	33,32	ROCHE	13,9	ROCHE	31,18
180	8,12	13,6	7,89	13,78	ROCHE	14,78	ROCHE	9,63	ROCHE	37,96
160	34,28	40,5	37,49	28,04	ROCHE	41,98	ROCHE	34,25	ROCHE	19,15
140	30,87	22,59	2804	13,02	ROCHE	21,78	ROCHE	28,28	ROCHE	18,82
100	45,69	22,76	45,64	9,86	ROCHE	16,35	ROCHE	46,03	ROCHE	2,81
80	10,22	2,14	8,54	0,74	ROCHE	1,35	ROCHE	7,16	ROCHE	0,54
63	2,65	0,25	2,21	0,09	ROCHE	0,15	ROCHE	1,52	ROCHE	0,25
50	0,68	0,04	0,51	0,02	ROCHE	0,02	ROCHE	0,25	ROCHE	0,09
40	0,25	0,01	0,13	0,04	ROCHE	0,01	ROCHE	0,05	ROCHE	0,04
% des pelites	4,293	0,587	2,84	0,7	ROCHE	0,993	ROCHE	1,553	ROCHE	0,967
D50	148,13	171,51	151,23	210,74	ROCHE	174,93	ROCHE	152,81	ROCHE	192,23
D95	210,78	307,46	223,01	392,97	ROCHE	307,37	ROCHE	230,21	ROCHE	346,89

ANNEXE II

Tableau n°1 : Degré de risque des variables

cellules	Variables						CVI
	Géomorphologie (a)	Pente (b)	Trait de côte (c)	Niveau de la mer (d)	Marée (e)	Hauteur significative (f)	
1	4	5	3	3	5	4	24.49
2	4	5	3	3	5	4	24.49
3	4	5	3	3	5	4	24.49
4	4	4	3	3	5	4	21.91
5	4	4	3	3	5	4	21.91
6	5	4	3	3	5	4	24.49
7	5	3	3	3	5	4	21.21
8	5	3	3	3	5	4	21.21
9	5	3	3	3	5	4	21.21
10	5	3	3	3	5	4	21.21
11	5	4	3	3	5	4	24.49
12	5	4	3	3	5	4	24.49
13	5	4	3	3	5	4	24.49
14	5	4	3	3	5	4	24.49
15	4	3	3	3	5	4	18.97
16	4	3	3	3	5	4	18.97
17	4	3	3	3	5	4	18.97
18	4	3	3	3	5	4	18.97
19	4	3	3	3	5	4	18.97
20	4	1	3	3	5	4	10.95
21	4	1	3	3	5	4	10.95
22	4	1	3	3	5	4	10.95
23	4	1	3	3	5	4	10.95
24	5	1	3	3	5	4	12.25
25	5	1	3	3	5	4	12.25
26	5	1	3	3	5	3	10.61
27	5	1	3	3	5	3	10.61
28	5	1	3	3	5	3	10.61
29	5	1	3	3	5	3	10.61
30	5	1	3	3	5	3	10.61
31	5	1	3	3	5	3	10.61
32	5	1	3	3	5	3	10.61
33	5	1	3	3	5	3	10.61
34	5	1	3	3	5	3	10.61
35	5	1	3	3	5	3	10.61
36	5	1	3	3	5	3	10.61
37	5	1	3	3	5	3	10.61
38	5	1	3	3	5	3	10.61
39	5	1	3	3	5	3	10.61
40	5	3	3	3	5	3	18.37
41	5	2	3	3	5	3	15.00
42	5	2	3	3	5	3	15.00
43	5	2	3	3	5	3	15.00
44	5	1	3	3	5	2	8.66
45	5	2	3	3	5	2	12.25
46	5	3	3	3	5	2	15.00
47	5	1	3	3	5	2	8.66
48	5	1	3	3	5	2	8.66
49	5	3	3	3	5	2	15.00
50	5	3	3	3	5	2	15.00
51	2	3	3	3	5	2	9.49
52	2	3	3	3	5	2	9.49
53	2	1	3	3	5	2	5.48
54	2	1	3	3	5	2	5.48
55	2	1	3	3	5	2	5.48

Résumé :

Le présent travail porte sur l'étude d'un aménagement littoral via une modélisation numérique, en mode bidimensionnel. Il s'agit d'examiner à l'aide d'un modèle hydro-sédimentaire, la dynamique des sédiments sous l'influence de l'implantation d'une jetée principale au niveau d'une infrastructure portuaire qui se trouve dans la zone de Khemisti.

Pour ce faire, nous avons effectué des simulations à l'aide du logiciel de calcul **DHI, MIKE 21 Coupled model/FM** sur la base d'une étude du régime des houles combinées aux courants marins, et des calculs de CVI. A partir de là nous avons localisé les zones vulnérables et décelé l'impact de l'extension de l'abri de pêche et par la suite on a pu établir des scénarios d'aménagements et de protection dégageant ainsi une variante optimale assurant un équilibre éco systémique et durable pour l'aménagement côtier. Il est tout à fait évident, qu'une étude de calage des résultats obtenus devra être réalisée sur un bassin à houle à fond mobile afin valider la solution optimale dégagée par le modèle numérique.

Mots-clés : Houle, courant, transport sédimentaire, MIKE 21 Coupled model, CVI, ensablement, érosion, protection.

Abstract:

This work focuses on the study of a coastal development through numerical modeling, two-dimensional mode. This is examined using a model hydro-sédimentaire, sediment dynamics under the influence of the implementation of a main pier at a port infrastructure that is in the area of Khemisti.

To do this, we have performed simulations using the computing package **DHI MIKE 21 Coupled model / FM** on the basis of a study of waves and combined with ocean currents and calculation of CVI. From there we located the vulnerable areas identified and the impact of the extension of the fishing shelter and then we could establish facilities and protection scenarios, thus generating optimal variant providing eco balance for systemic and sustainable coastal development. It is quite obvious that a timing study results will be made on a basin to live bottom swell to validate the optimal solution generated by the numerical model.

Keywords: Swell, currents, sediment transport, MIKE 21 Coupled model, CVI, siltation, erosion, protection.

ملخص

يركز هذا العمل على دراسة وتطوير المناطق الساحلية من خلال النمذجة العددية، ووضع ثنائي الأبعاد. يتم فحص هذه باستخدام نموذج المائية الرسوبية، وديناميات الرواسب تحت تأثير تنفيذ الرصيف الرئيسي في البنية التحتية للموانئ التي هي في منطقة الدراسة.

للقيام بذلك، قمنا بإجراء محاكاة باستخدام حزمة الحوسبة DHI مايك 21 Coupled FM / على أساس دراسة الموجات النظام الغذائي جنباً إلى جنب مع تيارات المحيطات وحساب IVC من هناك ونحن يقع في المناطق المعرضة للخطر المحددة والآثار المترتبة على تمديد المأوى الصيد ومن ثم نتمكن من إقامة مرافق والسيناريوهات الحماية، وبالتالي توليد البديل الأمثل توفير التوازن البيئي لتنمية المناطق الساحلية النظامية والمستدامة. ومن الواضح تماماً أن نتائج الدراسة توقيت ستجرى على حوض للعيش تضخم السفلي للتحقق من صحة الحل الأمثل الناتجة عن نموذج عددي.

كلمات الدالة: موجة، تيار، نقل الرواسب، مايك 21 Coupled، ترسب، التآكل، حماية.