

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

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



Mémoire de Fin d'Études

En vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'état en Sciences de la Mer

Option : Aménagement du littoral

Thème :

Etude de protection et d'aménagement de la zone de Verte Rive-Bordj EL Kiffan, Recours à la modélisation physique et numérique (MIKE21, LITPACK)

Présenté par :

❖ LARBI Narimene

Soutenu le 16 Septembre 2017, devant le jury composé de :

Mr OTMANI H. Maître assistant A	(ENSSMAL)	Président
Mme MEHDID S. Maître assistant A	(ENSSMAL)	Examinatrice
Mr AOUDJ C. Doctorant	(ENSSMAL)	Examineur
Mr BELKESSA R. Professeur	(ENSSMAL)	Promoteur
Mm BOUDOUMA Z. Ingénieur en chef	(LEM)	Co-Promotrice

Année universitaire : 2016 - 2017

REMERCIEMENT

Tout d'abord, j'adresse le grand remerciement à mon Dieu (ALLAH), qui m'a guidé au chemin du savoir et m'a donné la volonté et la force tout au long de mes études.

Je suis très heureuse de pouvoir exprimer ma gratitude à toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail. Mes plus vifs remerciements s'adressent à :

Mr. Otmani, Doctorant à l'ENSSMAL, qui me fait l'honneur de présider ce jury. Et pendant son enseignement, il m'a appris l'honnêteté scientifique et beaucoup de morales; il m'a fait bénéficiaire, de son expérience et de ses connaissances. Qu'il trouve dans ces lignes le témoignage de ma respectueuse reconnaissance ;

M. Belkessa.R, qui a encadré et dirigé cette étude et qui par ses conseils et sa disponibilité m'a initié à l'aménagement du littoral ; il m'a fait bénéficiaire, de son expérience et de ses connaissances ;

ma Co-promotrice, Mm.Boudouma,Z, pour sa présence continue, son aide, ses conseils, ses recommandations et ses réponses à toutes les questions, elle m'a fait bénéficiaire, de son expérience et de ses connaissances ;

Mr Aoudj.C Doctorant à l'ENSSMAL, d'avoir accepté d'examiner ce modeste travail.

Aux ingénieurs et techniciens du LEM, en particulier Mlle Mouhoubi.N, au personnel de la bibliothèque de l'ENNSMAL, ainsi qu'à toutes les personnes qui nous ont aidés du près ou de loin à la réalisation de ce mémoire de fin d'étude.

On tient à exprimer notre vive gratitude à tous à tous nos enseignants, depuis la première année fondamentale, jusqu'à la cinquième année universitaire. Un grand merci à tous les membres de ma famille pour leur soutien tout au long de cette année, en particulier, mes parents.

Je remercie tous mes amis qui m'ont soutenu, en particulier, Agabi.Z, je tiens à le remercier aussi pour sa présence, son soutien permanent, ses conseils et ses encouragements. De m'avoir donné le courage et la force de toujours continuer.

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail à :

A mes parents, Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour Dont ils ne cessent de me combler et aussi par leurs prières et leurs bénédictions m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études. Que dieu leur procure bonne santé et longue vie.

A mes frères et walid et abdellah et Fodil qui repose en paix.

A mes amis.

A zaki

A tous ceux qui, par un mot ou une prière, m'ont donné la force de continuer.....

LISTE DES ABREVIATIONS

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques

°C : Degré Celsius

cm : Centimètre

DTP : Direction des Travaux Publics

E : Est

GIZC : Gestion Intégrée des Zones Côtières

Km : Kilomètre

Lat : Latitude

LCHF : Laboratoire Centrale d'Hydraulique Français

LEM : Laboratoire d'Etudes Maritimes

m : Mètre

m³ : Mètre cube

mm : Millimètre

m/an : Mètre par an

m/s : Mètre par seconde

m/s² : Mètre par seconde carrée

m³/s : Mètre cube par seconde

N : Nord

NW : Nord-Ouest

ONM : Office National de la Météorologie

S : Seconde

SE : Sud-Est

SSMO : Summary of Synoptic Meteorological Observations

SW : Sud-Ouest

T : Temps

t : Tonne

ZH : Zéro Hydrographique

Q : le débit

V : volume

Enr : Enrochement

Hs : Hauteur significative de la houle

NGA : Nivellement Général Algérien

TVC : Tout venant de carrière

Tp: Période de pointe

GPS: Global positioning system

SGH: Sogreah

EPR: End Point Rate

PAC: Programme d'aménagement côtier

CTS : Centre des travaux sur terrain

JICA : Agence japonaise de coopération internationale

LISTE DES FIGURES

Figure I- 1 : Situation géographique de la zone d'étude	4
Figure I- 2 : Carte géologique de la région d'Alger et ses environs (JICA, 2006).....	5
Figure I- 3 : Rose des vents au large d'Alger réalisé à l'aide du logiciel Mike21	7
Figure I- 4 : Carte sédimentaire de la Baie d'Alger (Maouche, 1987)	12
Figure I- 5 : L'érosion côtière, au croisement de facteurs naturels et anthropique D'après Paskoff, 1998.	13
Figure I- 6 : photos prises sur site de la zone de Verte Rive.....	14
Figure II- 1 : Carte des levés bathymétriques.....	19
Figure II- 2 : Icône et fenêtre du logiciel MATLAB	20
Figure II- 3 : les grandes fonctionnalités du MATLAB	20
Figure II- 4 : le programme bathymétrique sous MATLAB	21
Figure II- 5 : L'interface graphique pour l'affichage des résultats	22
Figure II- 6 : la carte 2D des lignes bathymétriques de la zone de Verte Rive (2017)	23
Figure II- 7 : carte bathymétrique 2D avec remplissage des contours de la zone de Verte Rive (2017)	23
Figure II- 8 : Carte bathymétrique avec les cinq profils.....	25
Figure II- 9 : programme de filtration des données bathymétriques sous Matlab	26
Figure II- 10 : Résultats de filtrages d'un profil bathymétrique (Matlab)	26
Figure II- 11 : les profils bathymétriques de la zone de Verte Rive	27
Figure II- 12 : Barre d'outils de DSAS.....	29
Figure II- 13 : les images Google Earth de la zone de Verte Rive (2004, 2010, 2017)	30
Figure II- 14 : Évolution de la ligne du rivage dans la région de Verte Rive durant les années 1957/2004/2010/2017.....	30
Figure II- 15 : Evolution du trait de côte selon différentes périodes et profils.	31
Figure II- 16 : Illustration du rythme d'évolution du trait de côte en m/an entre 1957 et 2004.	32
Figure II- 17 : Illustration du rythme d'évolution du trait de côte en m/an entre 2004 et 2010.	33
Figure II- 18 : Illustration du rythme d'évolution du trait de côte en m/an entre 2010 et 2017.	34
Figure II- 19 : Illustration du rythme d'évolution du trait de côte en m/an entre 1957 et 2017.	35
Figure II- 20 : Evolution de l'urbanisation entre 1957 et 2017 de la zone de Verte Rive.....	36
Figure II- 21 : le taux d'évolution du trait de côte en fonction de la construction sur la zone côtière .	37
Figure II- 23 : Maillage de la zone de Verte Rive	42
Figure II- 25 : Rose des houles N345 à la cote de la zone de Verte Rive	46
Figure II- 28 : Rose des houles N315 à la cote.....	49
Figure II-29 : Rose des houles N315 à la cote.....	49
Figure II- 30 : Carte de répartition du champ des courants, MWD=315° ; H=2.67 ; T=8s (Réalisé à l'aide du logiciel Mike21).....	49
Figure II- 31 : Carte de répartition du flux sédimentaire, MWD=315° ; H=2.67 ; T=8s (Réalisé à l'aide du logiciel Mike21).....	50
Figure III- 1 : Action de la houle sur une digue à talus	53
Figure III- 2 : Interactions hydrauliques liées à la houle et paramètres dimensionnant (CETMEF, 2009)	57
Figure III- 3 : Plage sans ouvrage de pied : La Croisette à Cannes (d'après R. Bonnefille).	64

Figure IV- 1 : code limite du maillage de la zone de Verte Rive avec plan de masse	66
Figure IV- 2 : Mesh de la zone de Verte Rive avec plan de masse.....	67
Figure IV- 3 : Carte de répartition du champ de réfraction de la houle, MWD=345° ; H=2.26 ; T=7.81s (Réalisé à l'aide du logiciel Mike21).....	64
Figure IV-4 : Carte de répartition du champ de courant de la houle, MWD=345° ; H=2.26 ; T=7.81s (Réalisé à l'aide du logiciel Mike21).....	65
Figure IV-5 : Carte de répartition du flux sédimentaire, MWD=345° ; H=2.26 ; T=7.81s (Réalisé à l'aide du logiciel Mike21).....	70
Figure IV-6 : Carte de répartition du champ de réfraction de la houle, MWD=345° ; H=2.16 ; T=7.87s (Réalisé à l'aide du logiciel Mike21).....	71
Figure IV-7 : Carte de répartition du champ de courant de la houle, MWD=345° ; H=2.16 ; T=7.87s (Réalisé à l'aide du logiciel Mike21).....	72
Figure IV-8 : Diagramme de l'estimation de la dérive littorale dans la zone de surf (Source: DHI-LITPACK manual, 2010).....	73
FigureIV-9 : Profils de données de houle dans la zone de déferlement.....	75
FigureIV-10 : les deux profils réalisés pour l'estimation de la dérive littorale.....	76
Figure IV-11 : La dérive littorale du profil Est (plage Est), transport négatif vers l'ouest, transport positif vers l'est et transport net (LITDRIFT).....	77
Figure IV-12 : La dérive littorale du profil Est, transport négatif vers l'ouest, transport positif vers l'est et transport net (LITDRIFT).....	77
Figure IV-13 : Carte de la dérive littorale de la zone de Verte Rive (LITPACK).....	78
Figure IV-14 : Evolution du trait de côte 1an après la mise en place de l'épi Est (LITPACK-litline)..	80
Figure IV-15 : Evolution du trait de côte 10ans après la mise en place de l'épi Est (LITPACK-litline).....	80
Figure IV-16 : Plan masse et bathymétrie avec position du profil testé en canal.....	85
Figure IV-17 : Profil et pente des fonds du profil à tester dans le canal à houle.....	87
Figure IV-18 : profil du canal à houle.....	88
Figure IV-19 : Ouvrage et fonds en canal à houle.....	88
Figure IV-20 : Canal à houle et matériels du laboratoire.....	90
Figure IV-21 : Chambre de pilotage liée au canal et dispositif électronique de génération des houles, laboratoire du LEM.....	90
Figure V- 1 : Pressions naturelles et anthropique dans le centre de la Baie d'Alger	96

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I- 1 : Fréquence d'apparition du vent par vitesse et par direction au large d'Alger	6
Tableau I- 2 : Nombre d'observation d'état de mer par mois (SSMO, 1963-1970), période 8 ans	8
Tableau I- 3 : Fréquence mensuelle de la houle au large par direction (1 mois=100%) (SSMO, 1963-1970)	9
Tableau I- 4 : Relation Amplitude-Direction de la houle au large (SSMO, 1963-1970).....	9
Tableau I- 5 : Relation période-amplitude de la houle au large (SSMO, 1963-1970).....	10
Tableau I- 6 : Relation période-amplitude de la houle au large (SSMO, 1963-1970).....	10
Tableau I- 7 : Probabilités d'apparition de la houle associée aux périodes de retour (SSMO, 1963-1970)	10
Tableau I- 8 : Statistique de la houle au large (SSMO 1963-1970)	11
Tableau II- 1 : Les moyens utilisés pour la réalisation de l'étude bathymétrique	16
Tableau II- 2 : Les coordonnées des stations	17
Tableau II- 3 : Surfaces des constructions	36
Tableau II- 4 : Données de houle au large	40
Tableau II- 5 : Résultat numérique de la réfraction de	46
Tableau II- 6 : Résultat numérique de la réfraction de	49
Tableau IV- 1 : Condition de houle à -10m de profondeur	67
Tableau IV- 2 : Paramètres de la houle dans la zone de déferlement	75
Tableau IV- 3 : Paramètres de modèle litline.....	79
Tableau IV- 4 : Distance entre les ondes.....	87
Tableau IV- 5 : Résultats des essais.....	91
Tableau IV- 6 : Evaluation du débit de franchissement pour chaque période	92

SOMMAIRE

Remerciment	I
Dédicaces	II
Liste des abréviations	III
Liste des figures	V
Liste des tableaux	VII
Sommaire	VIII
Introduction Generale	2

Chapitre I : Généralités sur la zone d'étude

I. Situation géographique	4
I.1 La baie d'Alger	4
I.2 Le site d'étude	4
II. Caractéristiques géomorphologiques et géologiques	4
II.1 Caractéristiques géologiques	5
II.1 Caractéristiques géologiques	5
III. Données météorologiques et hydrographiques	6
III.1 Contexte climatique	6
III.1.1 Précipitations	6
III.2 Les vents	6
III.3 Réseau hydrographique	7
III.3.1 Oued EL Harrach	7
III.3.2 Oued EL Hamiz	7
IV. Données océanographiques.....	8
IV.1 Les houles	8
IV.1.1 Principe de l'analyse de données du SSMO	8
IV.1.2 Direction de la houle au large	9
IV.1.3 Relation Amplitude-Direction de la houle au large	9
IV.1.4 Relation Amplitude-Période de la houle au large	10
IV.1.5 Caractéristiques de la houle au large	10
IV.2 La distribution des sédiments.....	11

a. Les marées	12
V. Le facteur d'érosion	12
V.1 Introduction	12
V.2 Les conséquences de l'érosion	14

Chapitre II : collecte et analyse des données

I. Etude bathymétrique	16
I.1 Travaux sur terrain	16
I.1.1 Moyens	16
I.1.2 Système utilisé et coordonnées	16
I.1.3 Méthodologie des levés	17
I.2 Traitement des données bathymétriques	19
I.2.2 Les principales étapes de traitement	21
II. Evolution du trait de cote	28
II.1 Aperçu du logiciel ArcGis 10.2 :	28
II.2 Aperçu de l'extension DSAS :	28
II.3 Variation de la ligne de rivage	30
II.4 Évaluation du taux d'évolution de la ligne de rivage	31
II.4.1 Résultat graphique	31
II.4.1.1 L'End Point Rate EPR	32
II.5 L'impact de l'occupation du sol sur l'évolution du trait de cote	36
II.6 Conclusion sur l'évolution du trait de cote	37
III. Modélisation numérique hydrodynamique	38
II.1 Introduction	38
II.2 Description du modèle de simulation MIKE	38
II.3 Donnée de base	39
II.4 Plan des points d'extraction de la réfraction de la houle	41
II.5 Les principales étapes de l'approche intégrée de la modélisation par le MIKE 21	42
II.6 Résultats de simulation	45
II.6.1 Action des houles de direction Nord-Ouest (345N°)	45
II.6.2.1 Réfraction de la houle (Spectral Wave, SW)	45
II.6.2.2 Courantologie (Hydrodynamic, HD)	46
II.6.2 Action des houles de direction Nord-Ouest (315N°)	48
II.6.3.1 Réfraction de la houle (Spectral Wave, SW)	48
II.6.3.2 Courantologie (Hydrodynamic, HD)	49
II.6.3.3 Transport sédimentaire (Sand Transport, ST)	50

Chapitre V : étude d'aménagement

I. Introduction	52
-----------------------	----

II.	Les solutions de protection	52
II.1	Promenade avec une digue à talus en enrochement	52
II.1.1	Calcul de la houle de projet	52
II.1.2	Dimensionnement et conception	53
II.2	Protection de haut de plage	57
II.2.1	Calcul de Run-Up	57
II.2	Plage artificielle avec un épi en arc.....	59
II.2.1	Epi en arc	59
II.2.1.1	Calcul de la houle de projet.....	59
II.2.1.2	Dimensionnement et conception	59
II.2.2	Une plage artificielle.....	63
II.2.2.1	Dimensionnement de la plage artificielle	64
II.2.2.1	Rechargement de la plage	65
II.2.2.2	Caractéristique granulométrique	66

CHAPITRE IV : Modélisation de la solution d'aménagement

Introduction.....	64
-------------------	----

Partie I : Modelisation numerique

I.	Modélisation de la dynamique hydrosédimentaire.....	66
I.1	Création du maillage.....	66
I.2	Condition de houle.....	67
I.3	Résultats de simulation	67
I.3.1	Action des houles de direction (315°N).....	67
I.3.1.1	Réfraction de la houle (Spectral Wave,SW)	67
I.3.1.2	Courantologie (Hydrodynamic, HD)	69
I.3.1.3	Transport sédimentaire (Sand Transport, ST)	70
I.3.2	Action des houles de direction Nord-Ouest (345N°).....	71
I.3.2.1	Réfraction de la houle (Spectral Wave,SW)	71
I.3.2.2	Courantologie (Hydrodynamic, HD)	72
I.3.2.3	Transport sédimentaire (Sand Transport, ST)	73
II.	Modélisation du transport sédimentaire avec LITPACK	74
II.1	Aperçu du code LITPACK	74
II.2	La dérive littorale.....	74
II.3.1	Configuration du modèle	79
II.3.2	Résultat de simulation.....	80

Partie II : Modélisation physique

I.	Introduction	82
II.	Loi de similitude.....	82

III.	Choix du profil	84
IV.	Choix de l'échelle.....	85
III.1	Choix des matériaux de l'ouvrage	86
V.	Construction des fonds et positionnement des sondes	86
V.2	Positionnement des sondes	87
VI.	Condition de houle	88
VII.	Génération de la houle.....	89
VIII.	Mesure de la houle.....	90
IX.	Analyse et synthèse des Résultats.....	91
IX.I	Résultats des essais.....	91
	DIRECTION N345 Réfractée	91
VII.1	Evaluation des dégâts	92
VII.2	Evaluation du débit de franchissement.....	92
	Conclusion	92

Chapitre V : GESTION INÉGRÉE DES ZONES cotieres

Conclusion generale	98
Bibliographie.....	100
Annexe	



INTRODUCTION

INTRODUCTION GENERALE

Les littoraux constituent des environnements fragiles dans lesquels se manifestent de multiples facteurs d'évolution aux actions, interactions et rétroactions complexes. Les hommes doivent savoir utiliser ces milieux sans en abuser (Paskoff, 1993).

De nos jours, les littoraux, et les plages en particulier, reculent. Entre les pressions économiques et environnementales, la préservation du trait de côte est devenue un enjeu essentiel de ces prochaines années. Il faut pour cela avoir une meilleure compréhension des processus d'érosion.

La compréhension de l'hydrodynamique littorale, associée à une meilleure compréhension des processus de types petites échelles (physiques, biogéochimiques) et des transports particuliers et sédimentaires associés, permettra par la suite de développer des modèles longs termes de comportement, qui ont pour but le suivi de la morphologie du fond et de la position de la ligne de côte. Dans ce contexte, les sujets de recherche fondamentale sur les milieux côtiers rejoignent les intérêts sociaux, économiques et stratégiques. Il apparaît clairement qu'une meilleure connaissance de l'environnement littoral doit permettre un développement plus harmonieux, plus durable et plus sûr des activités humaines dans ces zones frontalières.

Le rivage de Verte Rive a connu ces dernières années un réel problème d'érosion, c'est un problème inéluctable de portée internationale, elle affecte l'environnement et nuit au paysage côtier et aux stratégies économiques (tourisme) du pays. Il devient, par conséquent de plus en plus nécessaire de protéger ces zones littorales afin qu'elles continuent d'assurer les fonctions qui leurs ont été confiées. Cette étude de protection nécessite l'analyse des différentes interactions possibles qui existent entre les paramètres naturels.

Ce travail a pour but de déterminer et tirer tous les paramètres et les causes d'érosion pour pouvoir trouver et proposer des solutions à long terme.

Ce travail a pour but d'améliorer les connaissances des milieux côtiers. Il se focalise en priorité sur la phase d'observation de l'environnement, mais ne néglige pas la réflexion sur les processus de fonctionnement.

Le présent mémoire s'articule en cinq chapitres :

Le premier chapitre a fait l'objet d'une description complète de la zone d'étude et, son cadre géographique et ces principales caractéristiques physiques.

Le deuxième chapitre est consacré à la collecte et l'analyse des données présentes dans la zone de verte Rive pour pouvoir interpréter et tirer une conclusion sur l'état du site

INTRODUCTION GENERALE

Dans le troisième chapitre, nous avons proposé les ouvrages et les solutions d'aménagements

Le chapitre qui suit a pour objet de vérifier la stabilité de la solution d'aménagement et étudier leur impact, intitulé Modélisation de la solution d'aménagement, modélisation numérique et physique.

Le dernier chapitre concernera la mise en place d'une Gestion Intégrée des Zone Côtières « GIZC » pour le centre de la Baie d'Alger.



CHAPITRE I
GENERALITE SUR LA ZONE D'ETUDE

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LA ZONE D'ETUDE

I. Situation géographique

I.1 La baie d'Alger

La baie d'Alger est située dans la partie centrale de la côte algérienne entre les longitudes: de $03^{\circ}01'00''\text{E}$ à $03^{\circ}14'30''\text{E}$ et les latitudes: de $36^{\circ}44'30''\text{N}$ à $36^{\circ}49'15''\text{N}$. De forme semi-circulaire et avec une superficie approximative de l'ordre de 180km^2 , elle s'inscrit en creux dans la plaine de la Matidja. Elle est délimitée par deux caps, la Pointe Pescale (Rais Hamidou) à l'Ouest et le cap Matifou (Tamentfoust) à l'Est ainsi que par la Méditerranée occidentale au Nord.

I.2 Le site d'étude

Le site de Verte Rive est situé à l'Est de la Baie d'Alger, à environ 2 km à l'Est du Lido et à 1 km à l'Ouest du Sтамбoul, il est limité par la plage Sirène à l'Ouest et Bateau cassé à l'Est.



Figure I- 1 : Situation géographique de la zone d'étude

II. Caractéristiques géomorphologiques et géologiques

La connaissance de la géologie et la géomorphologie locale d'un site permet de définir sa sensibilité face aux agressions marines. L'analyse de cet aspect est nécessaire dans la mesure où elle apporte un complément indispensable dans le diagnostic de la zone d'étude, ce dernier est réalisé en vue d'apporter des éléments de réponse sur les différents phénomènes d'érosions et d'altérations contrôlant d'une manière ou d'une autre les quantités sédimentaires rejetée en mer.

II.1 Caractéristiques géologiques

Le plateau continental est très étroit au niveau des extrémités de la baie (Cap Matifou et Massif de Bouzzeréah), mais il s'élargit au centre d'environ 12.5km vu la présence des cours d'eau (Oued El-Harrach) au niveau Mohammadia et les plages. Il est caractérisé par une pente assez douce de l'isobathe 0m à celui des 100m dont la distance maximale qui sépare ses deux isobathes est d'environ 6 milles (Belkacem 2006). Les dépôts de l'Oued El Harrach à 9m forment une zone deltaïque suite aux dépôts terrigènes importants au niveau des caps qui sont assez accidentés avec l'apparition des zones rocheuses. En effet, l'isobathe 50m est à 4,1Km de la cote. (PAC, 2005).

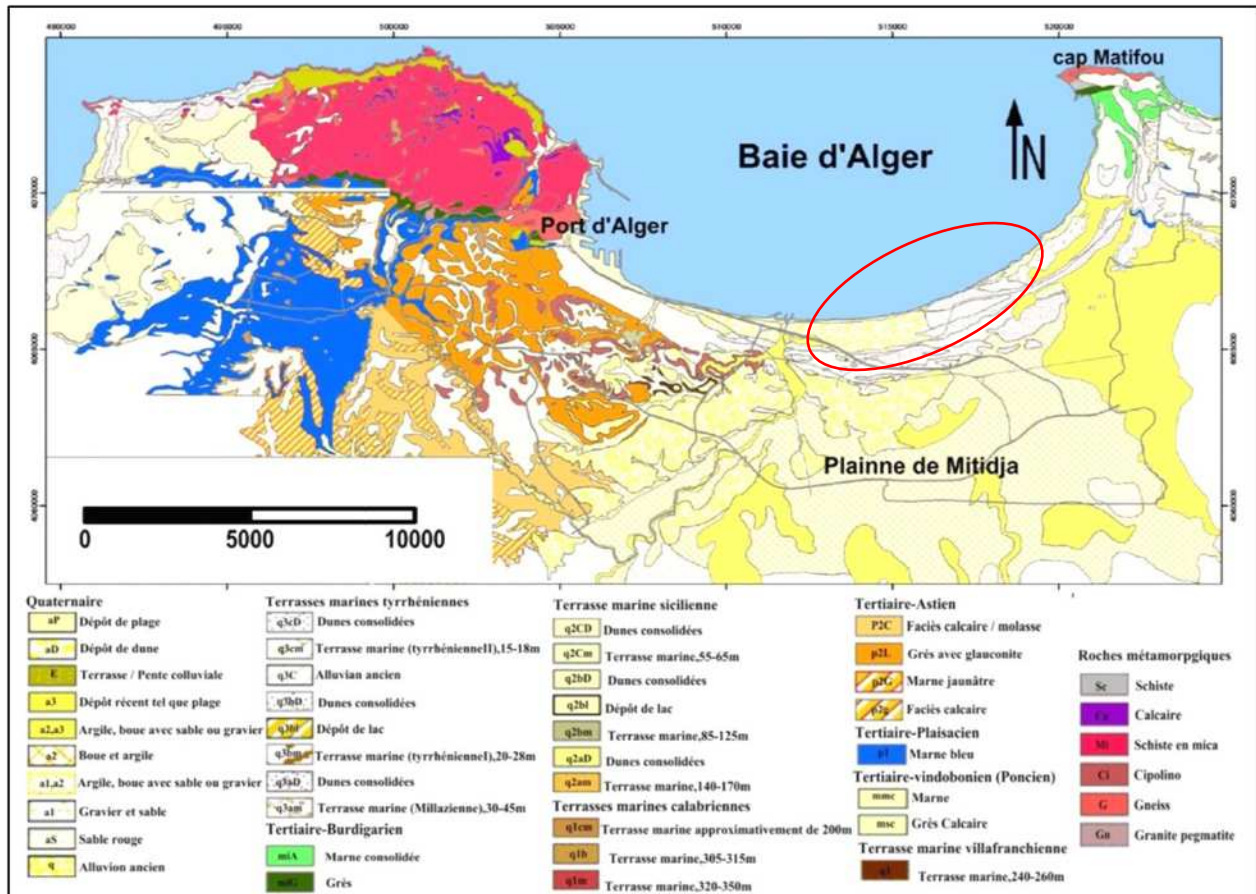


Figure I- 2 : Carte géologique de la région d'Alger et ses environs (JICA, 2006)

II.1 Caractéristiques géologiques

Du point de vu géologique, la zone de verte rive se situe à l'extrémité occidentale de la plaine de la Mitidja qui est une zone de subsidence continue. Cette dernière a donné naissance à une sédimentation active dont les éléments proviennent des reliefs de l'Atlas blidéen.

Ces deux réservoirs sont séparés dans toute la plaine par une marne jaune semi-perméable de la formation d'Oued el Harrach sauf au niveau de la poche de Rouïba où les deux aquifères reposent sur un substratum imperméable, généralement constitué par les marnes grises et bleu du Plaisancien.

III. Données météorologiques et hydrographiques

III.1 Contexte climatique

La zone d'étude connaît un climat méditerranéen par une saison pluvieuse s'étalant de septembre à Mai et un été sec. Ce littoral jouit d'un climat tempéré dû à l'action modératrice de la mer. L'amplitude diurne, au cours d'une année est inférieure à 10°C. Etant donné la proximité de la mer, le littoral connaît un degré hygrométrique élevé et constant durant toute l'année (LEM, 1996).

III.1.1 Précipitations

De la courbe des moyennes des précipitations et des températures sur une période de 10 ans (1993-2003). La région d'Alger est caractérisée par un climat de type méditerranéen avec des étés chauds et secs et des hivers tempérés doux et humides (Figure 4), et cela à partir des données de l'Office National de la météorologie (O.N.M) 2003 de Dar El Beida (in Bachouche, 2003).

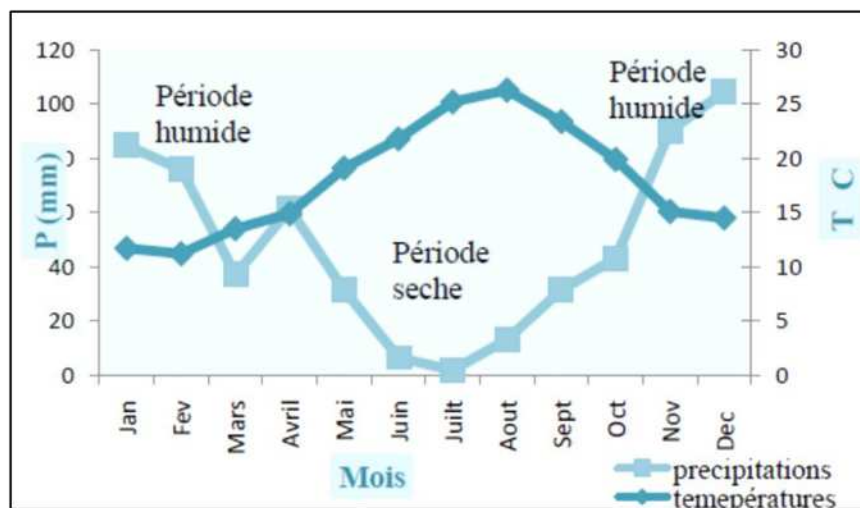


Figure I- 3 : Diagramme ombrothermique (1990 – 2003) station Dar El Beida.

III.2 Les vents

Les vents jouent un rôle important dans la dynamique des eaux marines superficielles. Ils sont générateurs des houles et des courants superficiels.

Tableau I- 1 : Fréquence d'apparition du vent par vitesse et par direction au large d'Alger

Vitesse (m/s)	Directions				
	W	NW	N	NE	E
0.5-1.5	1.0%	0.7%	1.1%	1.0%	1.4%
2-5.1	10.4%	6.1%	4.8%	6.5%	9.1%
5.6-10.7	13.2%	6.1%	2.4%	2.8%	5.6%
11.2-17.1	5.3%	2.7%	0.6%	0.5%	0.5%
17.3-24.0	1.1%	8%	0.1%	0.0%	0.1%
>25.0	0.0%	0.1%	0.0%	0.1%	0.0%

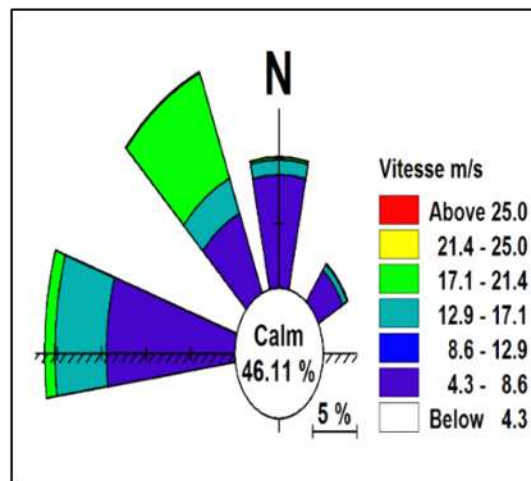


Figure I- 4 : Rose des vents au large d'Alger réalisé à l'aide du logiciel Mike21

III.3 Réseau hydrographique

Les oueds EL Harrach et EL Hamiz drainent respectivement les parties centrales et orientales de la Mitidja avant de se jeter dans la mer. Ces deux Oueds ainsi que leurs affluents sont des torrents à débit irréguliers. Dans leur cours inférieurs, ils présentent une direction générale du Sud vers Nord (LEM, 1996).

III.3.1 Oued EL Harrach

Le régime hydrographique de l'Oued EL Harrach se caractérise par un long étiage de six (6) mois et des crues d'Hiver et de Printemps soudaines et rapide.

Le bassin versant de l'Oued EL Harrach couvre une superficie de 378 Km², c'est un bassin difficile d'accès caractérisé par une forte dénivelée, une végétation peu dense et une pluviométrie importante. A ces facteurs érosifs s'ajoute le caractère torrentiel de l'Oued qui est en faveur d'un fort débit et d'un alluvionnement important. (LEM, 1996). Voir **Figure I-1**.

III.3.2 Oued EL Hamiz

En ce qui concerne l'Oued EL Hamiz, la présence d'un barrage portant le même nom a largement réduit les apports solides vers la mer actuellement, l'Oued EL Hamiz se jette en mer par une ouverture étroite d'une trentaine (30^{ème}) de mètre de large, (LEM, 1996). Voir **Figure I-1**.

Tableau I-1 Caractéristiques générales d'Oued El-Harrach et El Hamiz (ANRH, 2014)

Oueds	El Harrach	El Hamiz
Communes traversées	Mohamadia-Moradia-HuseinDey-El Harrach-SidiMoussa-Birtouta-Saoula-OuledChbel-OuledFayt-BirMouradRais-GuideConstantine-Echeffa-Blida...	Rouiba-Dar El Baida-Oued Essemar-Bordj El Bahri-El Hamiz-Eucalyptus-Bab Ezouar-Bordj El Kiffan-Ain Taya...
Orientations	Nord-Est	Nord-Ouest
Superficies (Km ²)	378	86
Apports liquides Al (Hm ³)	53	11
Apports solides As (m ³ /an)	107114	100226

IV. Données océanographiques

IV.1 Les houles

IV.1.1 Principe de l'analyse de données du SSMO

Le principe de l'analyse de la houle au large est basé sur les observations faites à bord de navires. Les données sont reprises d'un document de l'U.S Naval Weather Command intitulé « Summary of Synoptic Meteorological Observation ». Ces données s'étalent sur une période de huit (8) années (1963-1970). Une analyse statistique de ces données permet de définir les secteurs de la houle prédominant et leurs amplitudes respectives (LEM, 1996).

Les observations de la houle sont classées par le SSMO par mois et annuellement en précisant les éléments suivants :

- hauteur de la houle par direction suivant la force du vent.
- hauteur des houles de toutes directions confondues suivant la force du vent.
- hauteur des houles avec leurs périodes respectives, toutes directions confondues.

Le tableau qui suit donne le nombre d'observation de la houle pour chacun de ces trois (3) cas

Tableau I- 2 : Nombre d'observation d'état de mer par mois (SSMO, 1963-1970), période 8 ans

Nombre D'observation	Jan	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sep.	Oct.	Nov.	Déc	Total
Par secteur de vent	726	706	706	746	791	709	716	799	689	782	711	693	8870
Toutes directions par secteur de vent	787	766	766	820	888	796	796	860	767	838	778	756	9279
Par période de houle	885	853	853	901	981	900	871	938	870	939	845	837	10793

On constate une bonne régularité des observations au cours des différents mois de l'année. Le nombre total d'observation pour le troisième cas est le plus élevé en raison du principe même adopté qui consiste à ne pas faire état du vent.

A partir du tableau ci-dessus et les amplitudes relevées, on établit une loi régression linéaire donnant en fonction de la hauteur de la houle la fréquence de dépassement.

La probabilité annuelle de voir une houle d'amplitude donnée apparaître au moins une fois sur n années est définie par la relation suivante :

$$P_n = 1 / (3 * 365 * n)$$

Ceci suppose qu'en 24 heures, on constate trois (3) états de mer différents (LEM, 1996).

IV.1.2 Direction de la houle au large

Du tableau ci-dessous, on constate que :

- Les houles d'Ouest et du Nord-Est sont les plus fréquemment observées.
- Les fréquences d'observations sur l'année des houles d'Est et d'Ouest sont sensiblement identiques avec toutefois une légère prédominance de secteur Ouest.
- Le secteur Nord a une répartition assez régulière durant l'année.

Tableau I- 3 : Fréquence mensuelle de la houle au large par direction (1 mois=100%) (SSMO, 1963-1970)

Période	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
Janvier	8.10	12.90	18.20	5.60	6.50	13.20	28.80	7.30
Février	8.80	10.30	12.60	4.00	6.10	16.90	35.60	5.80
Mars	11.30	12.60	15.80	3.60	4.50	12.30	30.50	9.20
Avril	11.70	15.40	16.00	2.00	4.40	13.70	26.70	10.20
Mai	8.20	26.30	31.90	3.00	3.30	7.20	13.90	6.20
Juin	9.20	29.10	29.80	1.80	1.40	8.20	16.40	4.20
Juillet	5.90	32.50	35.10	1.40	1.00	5.90	16.30	2.00
Aout	8.80	27.10	37.30	1.90	1.10	5.00	13.40	4.90
Septembre	6.70	26.10	40.50	2.20	2.30	4.60	14.80	2.50
Octobre	7.80	14.10	20.30	3.20	4.20	14.80	28.80	6.80
Novembre	5.50	5.80	10.00	5.10	8.00	15.90	40.40	9.40
Décembre	10.20	6.20	9.40	4.60	7.50	15.00	37.10	10.00

IV.1.3 Relation Amplitude-Direction de la houle au large

L'état de la mer est caractérisé par les degrés suivants correspondant aux amplitudes suivantes :

Tableau I- 4 : Relation Amplitude-Direction de la houle au large (SSMO, 1963-1970)

Degrés	Amplitudes	Etat de la mer
Calme	0,25m	Ridée ou belle
Degrés 1	0,25-0,75m	Ridée ou belle
Degrés 2	0,75-1,75m	Modérée
Degrés 3	1,74-2,75m	Agitée
Degrés 4	2,75-3,75m	Forte
Degrés 5	>3,75m	Très forte

Toujours à partir des données du S.S.M.O, nous pouvons faire ressortir les fréquences d'apparition des différents degrés d'agitation par direction. Ceci permet d'établir les roses de la houle trimestriellement et annuellement

Les conclusions sont :

- L'agitation provenant des secteurs Ouest et Est, est la plus fréquente. Néanmoins, pour les fortes houles, le secteur Ouest prédomine.
- Les houles de tempête proviennent essentiellement du secteur Ouest.
- Pour le secteur Nord et Nord-Ouest les fréquences d'apparitions sont plus faibles.

Ces constatations ressortent également du tableau suivant qui donne la fréquence des états de la mer au large par direction.

Tableau I- 5 : Relation période-amplitude de la houle au large (SSMO, 1963-1970)

Etat de la mer au large	Ouest	N-Ouest	Nord	N-Est	Est
Calme	2.90%	1.10%	2.00%	2.70%	4.00%
0	6.20%	2.00%	2.90%	7.00%	9.30%
1	10.90%	2.70%	2.60%	7.50%	9.10%
2	4.30%	0.60%	0.70%	1.20%	0.90%
3	0.90%	0.10%	0.10%	0.00%	0.10%
4	0.30%	--	0.00	0.00%	--
Total	25.50%	6.50%	8.30%	18.40%	23.40%

IV.1.4 Relation Amplitude-Période de la houle au large

Les observations du SSMO font ressortir la relation amplitude-période de la houle. Les résultats de ces observations sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau I- 6 : Relation période-amplitude de la houle au large (SSMO, 1963-1970)

Etat de la mer au large	< 6s	6 à 7s	8 à 9s	10 à 11s	11 à 12s	13s
Calme	5.20	1.10	0.40	--	--	--
0	20.80	1.90	2.70	--	--	--
1	10.90	13.10	3.10	0.50	0.20	--
2	24.60	5.40	1.00	0.90	0.20	--
3	2.60	1.10	0.30	0.60	0.20	--
4	0.10	0.50	--	0.30	0.30	--
Total	53.70	22.10	7.50	2.30	0.90	--

75% des houles observées ont une période inférieure ou égale à 7s et seul 3% des houles ont une période comprise entre 10 et 13s

IV.1.5 Caractéristiques de la houle au large

A partir de la relation entre les périodes et les amplitudes de la houle observées, on établit une loi de régression donnant en fonction de la hauteur de la houle sa fréquence de dépassement.

Ci-après sont données les courbes de régression statistique de la houle au large pour les différentes directions. On définit par ailleurs, les probabilités d'apparition associées aux périodes de retour ces probabilités sont définies par la relation suivante :

$$P_n = 1 / (3 \cdot 365 \cdot n)$$

Ou n : période de retour

Les résultats sont donnés dans les tableaux suivants :

Tableau I- 7 : Probabilités d'apparition de la houle associée aux périodes de retour (SSMO, 1963-1970)

Période de retour	Probabilités associées
Biennale	$4.56 \cdot 10^{-4}$
Quinquennale	$1.82 \cdot 10^{-4}$
Décennale	$9.13 \cdot 10^{-5}$

Vingtennale	$4.56 \cdot 10^{-5}$
Cinquantennale	$1.82 \cdot 10^{-5}$
Centennale	$9.13 \cdot 10^{-6}$

Tableau I- 8 : Statistique de la houle au large (SSMO 1963-1970)

Période de retour	Est 90	Nord-Est N45	Nord N360	Nord-Ouest N315	Ouest 270	Toutes directions
Annuelle	2.53	2.56	2.67	2.64	2.67	
Biannuelle	4.12m	4.93m	4.90m	4.16m	7.63m	7.44m
Quinquennale	4.70m	5.67m	5.75m	4.87m	6.43m	8.34m
Décennale	5.14m	6.23m	6.38m	5.40m	9.22m	9.02m
Vingtennale	5.59m	6.79m	7.02m	5.94m	10.02m	9.70m
Cinquantennale	6.17m	7.53m	7.87m	6.65m	11.08m	10.60m
Centennale	6.62m	8.08m	8.50m	7.18m	11.88m	11.27m

IV.2 La distribution des sédiments

Dans la baie d'Alger, la distribution des sédiments est fonction de la bathymétrie. Ainsi leur répartition et leur déplacement obéissent à la dynamique sédimentaire et à l'hydrodynamique locale. La distribution générale des faciès, établie par Maouche, (1987), montre, d'après la composition globale des dépôts, trois types de faciès :

- **Faciès sableux :** Ils se limitent à la bordure littorale, entre 10 et 35 m de profondeur au droit des émissaires et en prolongement des caps, ou ils s'étendent à des profondeurs plus élevées, en direction du centre de la baie.
- **Faciès carbonates :** Ils sont réduits aux bordures rocheuses littorales et au fonds rocheux de la baie.
- **bordure Ouest :** La fraction carbonatée représente 30 à 35% du sédiment total jusqu'à des fonds de 35 à 50 m.
- **bordure Est :** Ce faciès s'étend à des profondeurs élevées au large du Cap Matifou. Où la fraction carbonatée peut être supérieure à 35%.
- **le haut-fond du Matifou :** Même nature que le Cap Matifou ; la fraction carbonatée constitue plus de 50% du sédiment.
- **Faciès pélitiques :** Ils occupent la partie centrale et septentrionale de la baie, on observe un envasement central avec 75 à 95% de fraction politique, avec deux invaginations de part et d'autre des oueds voir **Figure I-4**.

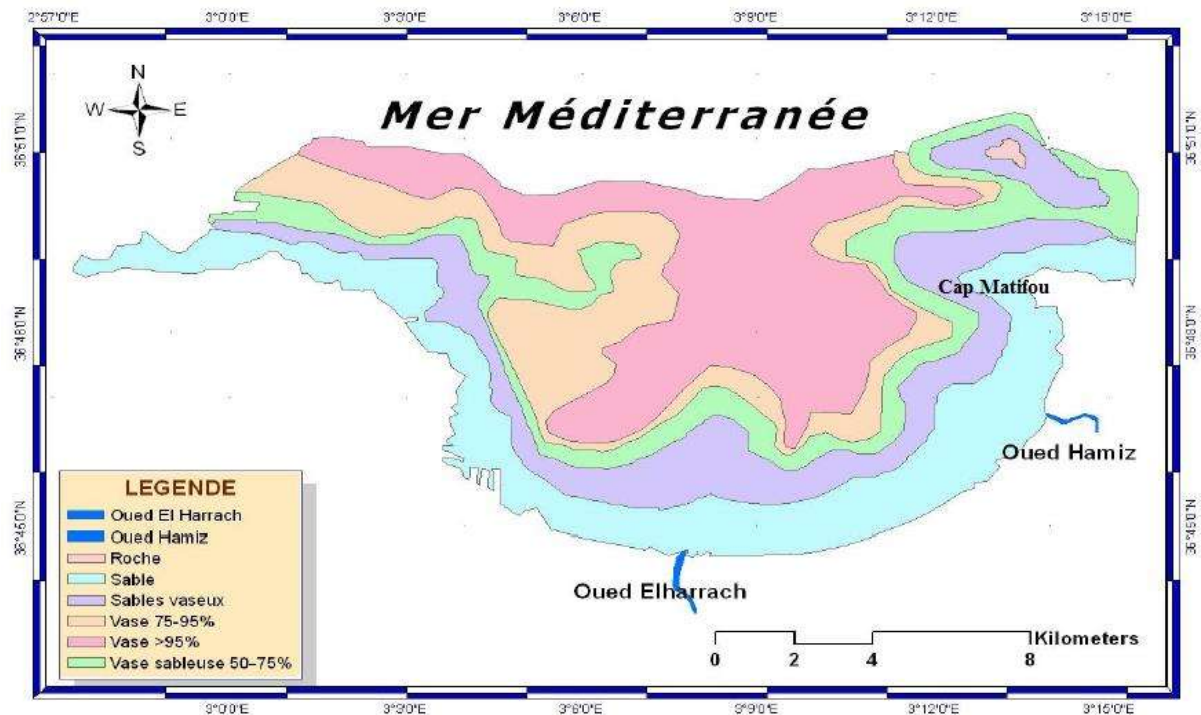


Figure I- 5 : Carte sédimentaire de la Baie d'Alger (Maouche, 1987)

a. Les marées

Le long des côtes algériennes, l'amplitude moyenne des marées astronomiques est de l'ordre de 30cm. Les variations du plan d'eau sont soumises plus à l'effet des vents (phénomène de seiche) qu'à l'attraction luni-solaire. Les variations journalières observées sur les côtes algériennes sont inférieures à dix (10) cm. La différence entre valeur maximale et valeur minimale de la marée ne dépasse pas 50cm (LEM, 1996.).

V. Le facteur d'érosion

V.1 Introduction

La zone côtière est donc considérée comme très attractive, mais elle est aussi particulièrement dangereuse. En effet, les évolutions spectaculaires, l'impact des tempêtes et de l'érosion à long terme menacent parfois les activités humaines. Ces risques et surtout la méconnaissance du milieu naturel entraînent légitimement un sentiment de méfiance ou de peur. Malheureusement, les réactions humaines sont trop souvent mal adaptées, très coûteuses et parfois destructrices pour l'environnement.

De nos jours, les littoraux, et les plages en particulier, reculent. Entre les pressions économiques et environnementales, la préservation du trait de côte est devenue un enjeu essentiel de ces prochaines années. Il faut pour cela avoir une meilleure compréhension des processus d'érosion.

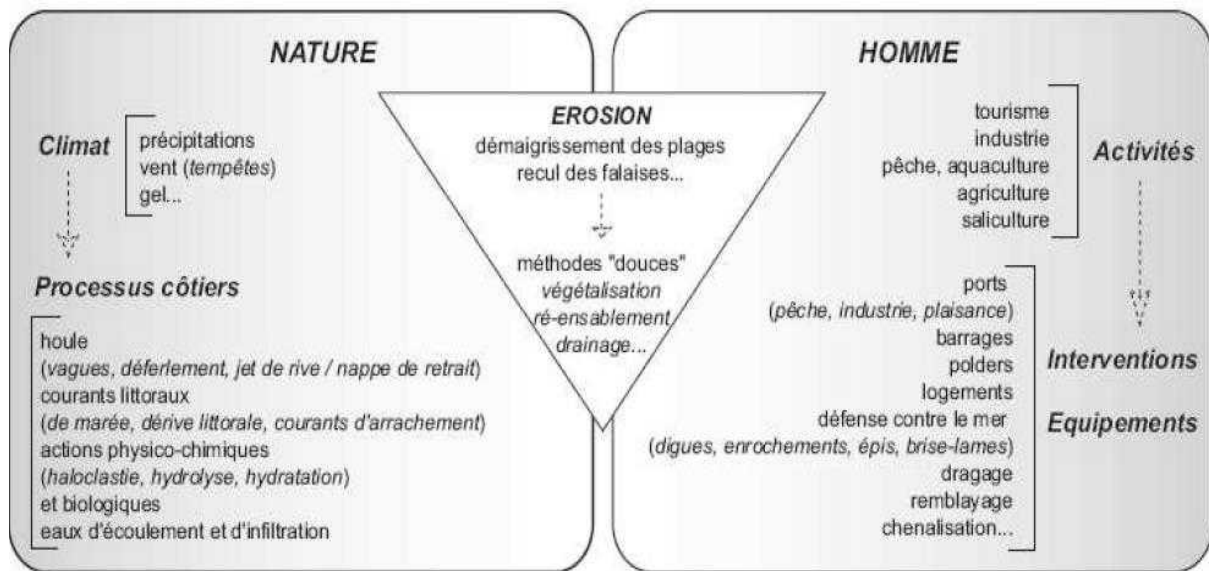


Figure I- 6 : L'érosion côtière, au croisement de facteurs naturels et anthropique D'après Paskoff, 1998.

Pourtant de nos jours, les activités de l'homme ont fortement modifié la dynamique du littoral et tendent à supplanter les causes naturelles :

- **La réduction des apports solides des cours d'eau** qui débouchent en mer, causée par la domestication des cours d'eau : Oued El Harrach et Oued El Hamiz
 - **L'urbanisation du littoral sous forme de constructions** telles que murs de protection, stations balnéaires, immeubles, promenades en bord de mer et voies de communication. Ces infrastructures provoquent la réflexion de la houle et constituent un obstacle brutal au déferlement des vagues. L'énergie des vagues n'est plus dissipée le long des plages et le phénomène érosif est accentué.
- **La construction d'ouvrages portuaires** qui induit souvent un barrage au transport des sédiments le long de la côte, peut entraîner de graves déficits sédimentaires sur les plages situées en aval de l'ouvrage par rapport au sens de la dérive littorale.
- **La mauvaise conception des ouvrages de défense** responsables des modifications dans le transport côtier. Ces interventions, si elles parviennent parfois à résoudre localement le problème, finissent souvent par le déplacer sur les plages adjacentes.
- **La dégradation des herbiers de phanérogames marines** (Posidonies et Cymodocées), capables de freiner l'érosion de la côte, par leurs fonctions stabilisatrice des fonds et dissipatrice de l'énergie de la houle. Ce phénomène est dû à la pollution, à la turbidité de l'eau, à la pêche au chalut et aux mouillages sauvages.
- **La sur-fréquentation** détériore essentiellement les massifs dunaires
- **L'extraction de réserves souterraines en eau douce** destinées à la consommation humaine risque d'entraîner une subsidence et donc la remontée d'eau de mer dans la nappe phréatique et ce de façon irréversible.
- **La décharge des matériaux solides** sur les plages qui crée un déséquilibre intense.
- **La construction et l'urbanisation** sur la bande littorale et sur les dunes ce qui fait disparaître les plages et l'équilibre dunaire.

V.2 Les conséquences de l'érosion

Il faut souligner que l'évolution naturelle d'une plage, qui n'est soumise à aucune contrainte d'aménagement, reste le moyen de défense le plus efficace, mais la forte anthropisation de la bande littorale a rendu nécessaire la lutte contre le phénomène érosif pour protéger les infrastructures construites à proximité des rivages. On a désormais pris l'habitude de structurer les plages par des ouvrages de défense et de les recharger en matériaux.

Toutefois, lors de conditions météorologiques particulières, qui se manifestent selon des rythmes saisonniers ou journaliers, un tel littoral peut évoluer comme suit :

- les plages disparaissent,
- les routes littorales, les chemins de fer et les autres infrastructures jouxtant la côte subissent des dégâts importants,
- les habitations, trop souvent construites en bord de mer, sont sujettes à une dégradation intense,
- la base des falaises est soumise à l'érosion, avec la possibilité d'éboulements et de chutes.

L'érosion côtière impose en outre une adaptation des activités humaines, et la question doit être traitée en fonction de plusieurs objectifs inscrits dans des cadres de temps différents.

Les photos ci-après collecté lors d'une visite le 7 Mai 2017, démontrent le degré de dégradation.



La plage Est



Construction sur la plage et déversement des déchets



La plage Est



La limite Ouest de la zone



Construction sur le cordon dunaire et déversement des matériaux de construction



La plage Est et cordon dunaire

CHAPITRE II

Collecte et analyse des données

CHAPITRE II : COLLECTE ET ANALYSE DES DONNEES

Ce chapitre est consacré en premier lieu à l'étude des principaux paramètres qui peuvent être à l'origine de ce phénomène d'érosion. Pour ce faire différentes études ; bathymétrique, hydrodynamique, évolution du trait de côte ont été réalisées.

I. Etude bathymétrique

L'étude bathymétrique est une étape indispensable dans le diagnostic et la résolution du problème d'érosion des plages. Des informations si importantes, à l'échelle spatiotemporelle, peuvent être extraites à partir d'une carte bathymétrique et d'un suivi diachronique de la morphologie sous-marine. Une vue générale sur la morphologie peut nous renseigner sur la typologie de la plage, les parcours des courants potentiels... etc.

La carte bathymétrique est une donnée de base pour la modélisation de l'hydrodynamisme dans les zones côtières. L'étude topo-bathymétrique peut aussi nous être utile dans la sélection de l'emplacement et du type de la structure pour se protéger contre la dérive littorale.

I.1 Travaux sur terrain

Les travaux ont consistés en un levé bathymétrique de la zone, exécutés suivant des profils parallèles et ceci sur 6764 stations (**Figure II-1**) en mois de Février 2017, dans le cadre de l'élaboration de la carte bathymétrique. Ce levé servira entre autre de bathymétrie d'approche entre 0 et -12m à l'étude de réfraction.

I.1.1 Moyens

Tableau II- 1 : les moyens utilisés pour la réalisation de l'étude bathymétrique

Moyens humains	Moyens matériels
-01 chef de mission -01 ingénieur topographe 02 plongeurs -01 marinier -01 chauffeur	-01 GPS de poche GARMIN 76C -01 échosondeur ODOM ECHOTRAC -01 embarcation pneumatique -02 récepteurs GPS 5700 avec accessoires -01 radio modem Pacific Crest -Appareils de mesures de paramètre physico-chimique -01 bouteille de renversement type Niskin -01 PC portable+ accessoires informatiques -01 véhicule utilitaire

I.1.2 Système utilisé et coordonnées

Conformément à l'arrêté du 25 février 2003 publié sur le journal officiel du 30 avril 2003 fixant les systèmes de coordonnées en Algérie, le système de référence géodésique WGS84 approprié au GPS est un système officiel en Algérie.

Systeme géodésique : WGS84

Ellipsoïde : WGS84

Demi grand axe : $a = 6378137$ m

Aplatissement : $f = 1/298.257223563$

Projection : UTM zone 31 Nord

Latitude origine : 00°00'00.0000N

Longitude origine : 03°00'00.0000^E(zone31)

Constant Nord : 0.0000 m

Constante Est : 500 000.0000 m

I.1.3 Méthodologie des levés

a. Rattachement

Deux stations de référence baptisées ST RV01 et ST RV02 ont été implantées au niveau du site d'étude.

Ces stations qui ont servi de référence pour le levé bathymétrique a été rattachée au système géodésique WGS84 a partir d'un réseau d'appui crée par le LEM.

b. Coordonnées des stations

Tableau II- 2 : les coordonnées des stations

N°	X UTM (m)	Y UTM	Z NGA (m)
ST RV01	519654.2880	4068842.5930	2.01
ST RV02	519597.0340	4068814.6750	1.99

- les cotes altimétriques du levé topographique sont fournies en mètres par apport au **NGA**
- les cotes altimétriques du levé bathymétrique sont fournies en mètres par apport au **ZH** sachant que **ZH = NGA - 0.34**

I.1.4 Levé topographique

Le récepteur GPS cinématique en temps réel (RTK) permet de mesurer un point à quelques centimètres près.

Ce récepteur mobile, porté par le topographe au moment du levé, fonctionne en mode RTK (Real Time Kinematic), résolution des ambiguïtés en mode OTF. Il reçoit les données des satellites et de la station de référence simultanément et fournit instantanément la position tridimensionnelle du point à une précision inférieure à cinq centimètre (<5cm).

Le transfert et le traitement de données sont réalisés sur logiciel TGO (Trimble Geomatic Office).

La visualisation de ces données permet de déceler les éventuelles anomalies et de détecter les zones non couvertes.

I.1.5 Mode du levé bathymétrique

Le levé bathymétrique consiste à déterminer les coordonnées tridimensionnelles des points du fond marin dans le système géodésique WGS84 à l'aide d'un récepteur GPS et d'un échosondeur.

Le récepteur GPS cinématique en temps réel (RTK) permet de mesurer un point à quelques centimètres près. Cette précision verticale permet de déterminer les corrections du niveau de l'eau (corrections des marées au temps réel).

Donc pour la réalisation de cette tâche par GPS, il a été procédé à la mise en place du système suivant :

Une antenne GPS, qui reçoit les données des satellites, est fixée sur le point de référence. Le récepteur LEICA GS25 émet ces données par liaison radio au récepteur mobile à l'aide d'un modem interne et une antenne UHF.

Le récepteur mobile placé à bord de l'embarcation fonctionne en mode RTK (Real Time Kinematic, résolution des ambiguïtés en mode OTF). Il reçoit les données des satellites de la station de référence et fournit instantanément la position tridimensionnelle de l'antenne GPS.

L'embarcation est équipée d'une caisse métallique et d'un support vertical fixé sur le coté, qui maintient à la base le transducteur de l'échosondeur et en tête l'antenne GPS. Quel que soit la variation du plan d'eau, la longueur du support est constante, par conséquent tous les échos mesurés sont référencés par rapport à l'antenne GPS. La partie immergée du support ainsi que celle située hors de l'eau sont mesurées avant le début des levés.

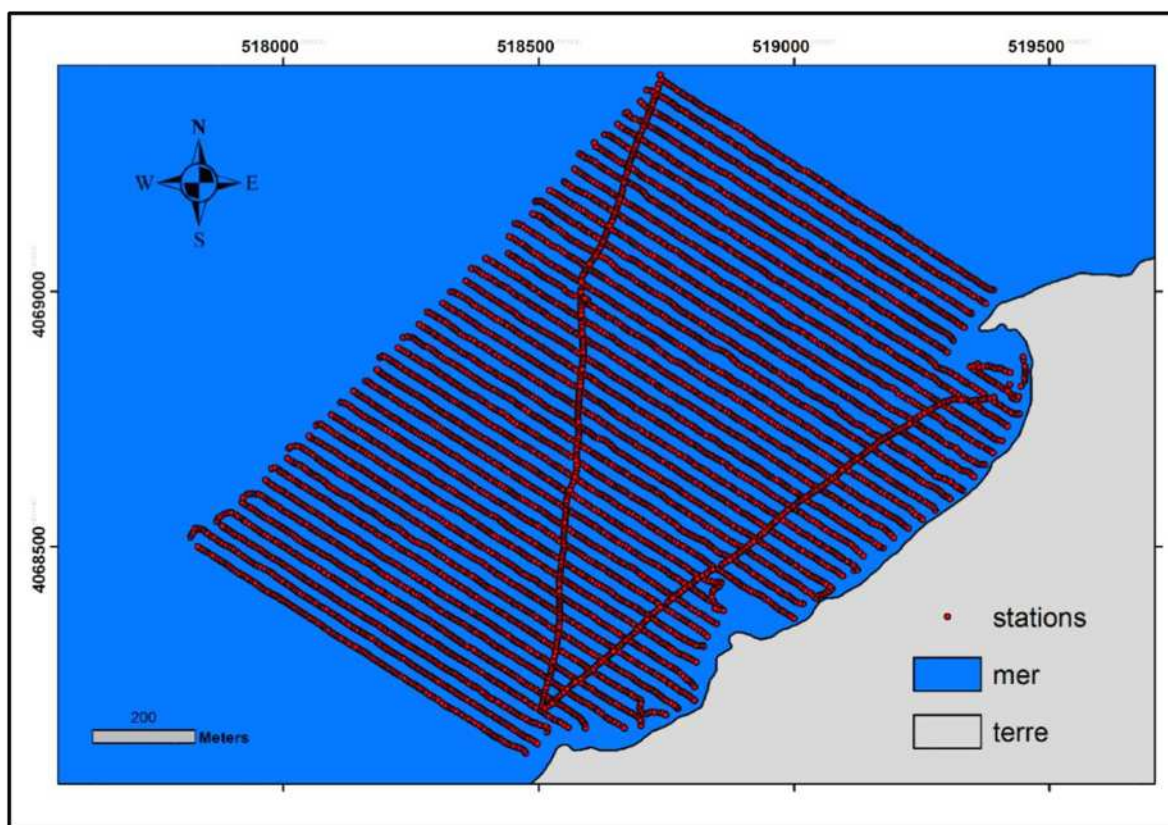


Figure II- 1 : Carte des levés bathymétriques, Février 2017.

I.2 Traitement des données bathymétriques

Après l'acquisition des données topo bathymétriques qui sont effectuées par les techniques précédemment mentionnées (LEM), on a pu passer au traitement numérique de ces données à l'aide d'un logiciel de calcul qui s'appelle **Matlab** en utilisant des fonctions spécialisées.

I.2.1 Aperçu du logiciel Matlab

Le logiciel Matlab est un logiciel de calcul matriciel à syntaxe simple ;

- peut être considéré comme un langage de programmation adapté pour les problèmes scientifiques, grâce à ses fonctions spécialisées ;
- est un interpréteur, car ses instructions sont interprétées et exécutées ligne par ligne ;
- possède des bonnes capacités graphiques pour présenter des résultats ou pour créer des applications;
- peut être intégré avec du code C ou FORTRAN ;
- fonctionne dans plusieurs environnements tels que UNIX/X-Windows, Windows, Macintosh.

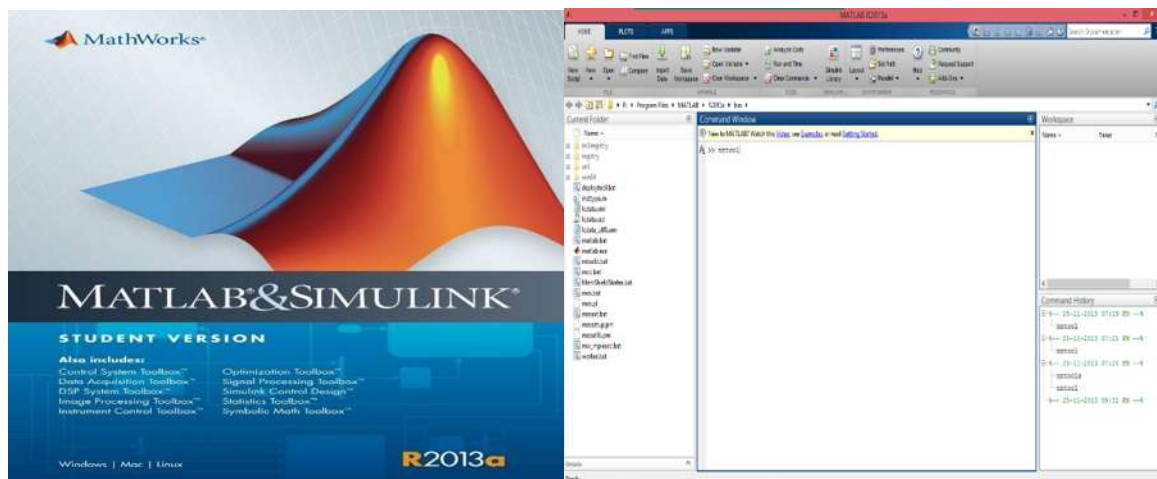


Figure II- 2 : icone et fenêtre du logiciel Matlab

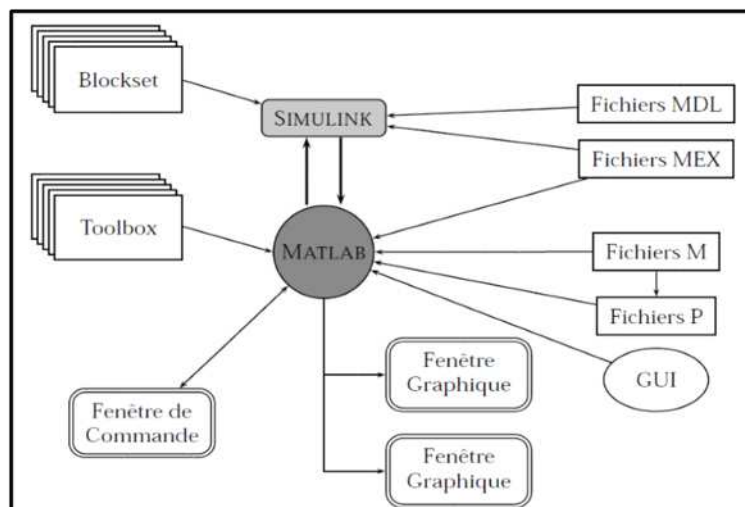


Figure II- 3 : les grandes fonctionnalités du matlab

Fenêtre de Commande : dans cette fenêtre, l'utilisateur donne les instructions et MATLAB retourne les résultats ;

Fenêtres Graphiques : MATLAB trace les graphiques dans ces fenêtres ;

Fichiers M: ce sont des programmes en langage MATLAB (écrits par l'utilisateur) ;

Fichiers P : version pré-interprétée des fichiers M;

Toolboxes : (« boîtes à outils») ce sont des collections de fichiers M développés pour des domaines d'application spécifiques

Simulink : c'est l'extension graphique de MATLAB permettant de travailler avec des schémas en blocs, pour modéliser et simuler des systèmes ;

Blocksets : ce sont des collections de blocs SIMULINK développés pour des domaines d'application spécifiques

Fichiers MDL : ce sont des fichiers représentant des modèles SIMULINK ;

Fichier MEX : modules exécutables créés à partir de sources en C ou FORTRAN ;

GUI : interface graphique utilisateur pour créer des applications basées sur MATLAB ;

I.2.2 Les principales étapes de traitement

L'étude bathymétrique a 3 étapes principales

- A) **La création de 3 programmes** pour la présentation 2D et 3D sous Matlab, en utilisant les fonctions spécialisées pour la création d'une grille X-Y (Mesh) et d'interpolation des données bathymétriques Z.

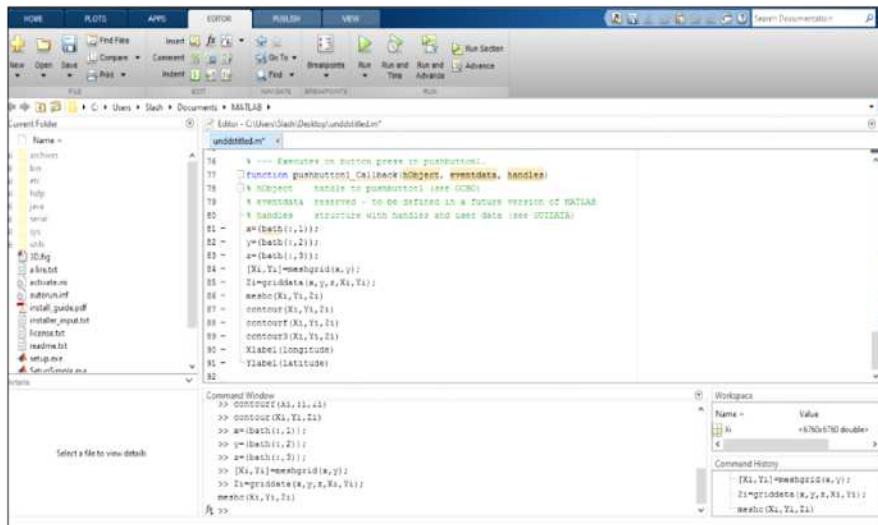


Figure II- 4 : le programme bathymétrique sous matlab

- B) **L'utilisation de Grafical User Interface** : qui permet d'automatiser une tâche ou un calcul et de contrôler des applications logicielles avec des commandes de type pointer-cliquer. Avec une interface de ce type (**Figure II-4**), l'utilisateur n'a pas besoin de connaître un langage ni de saisir des commandes pour se servir de l'application.

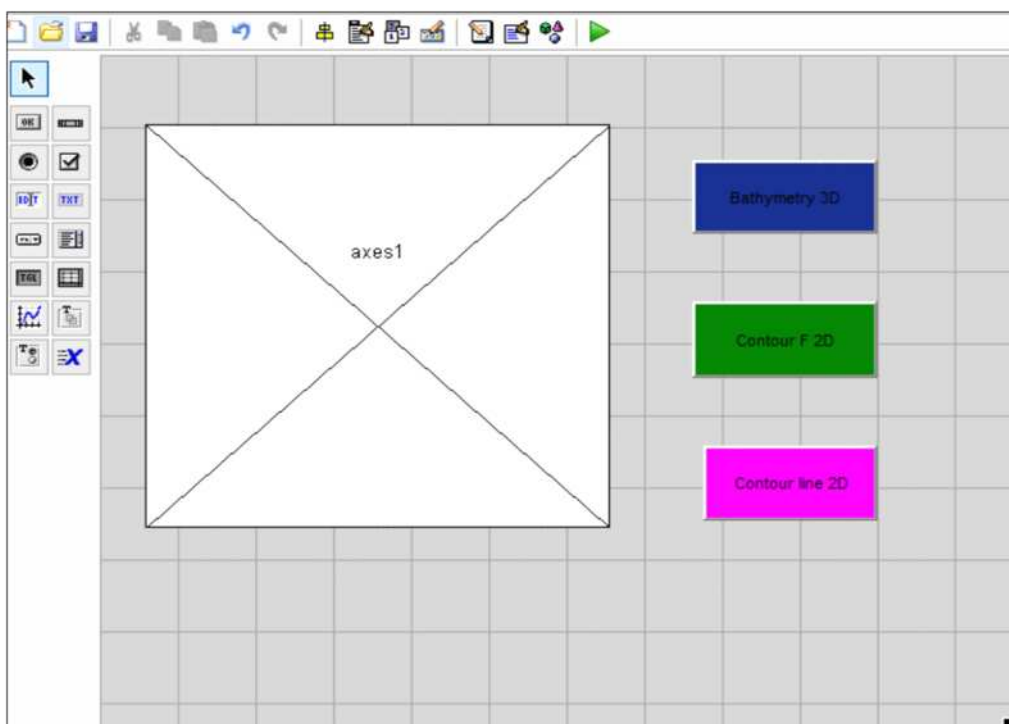
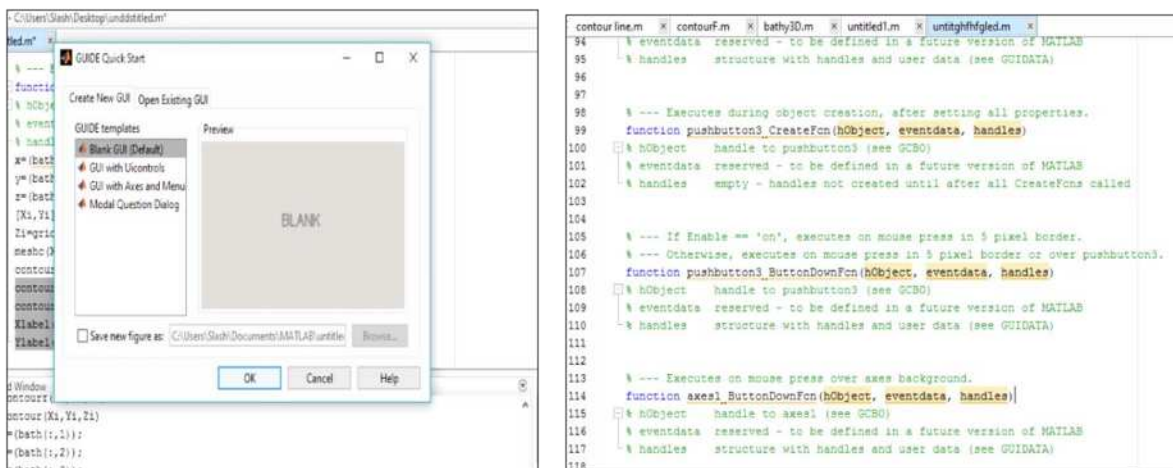


Figure II- 5 : L'interface graphique pour l'affichage des résultats

C) **Présentation et analyse des résultats :** en cliquant sur les 3 commandes de l'interface graphique (**Figure II-4**) on aura les résultats des cartes bathymétriques suivants :

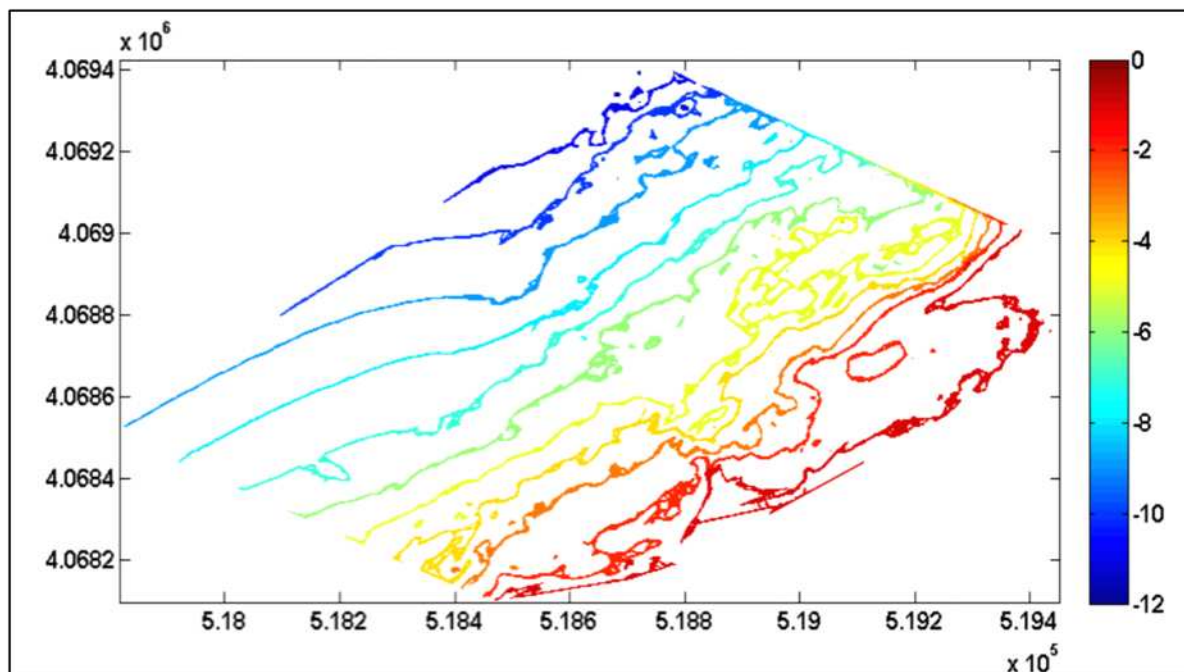


Figure II- 6 : la carte 2D des lignes bathymétriques de la zone de Verte Rive (2017)

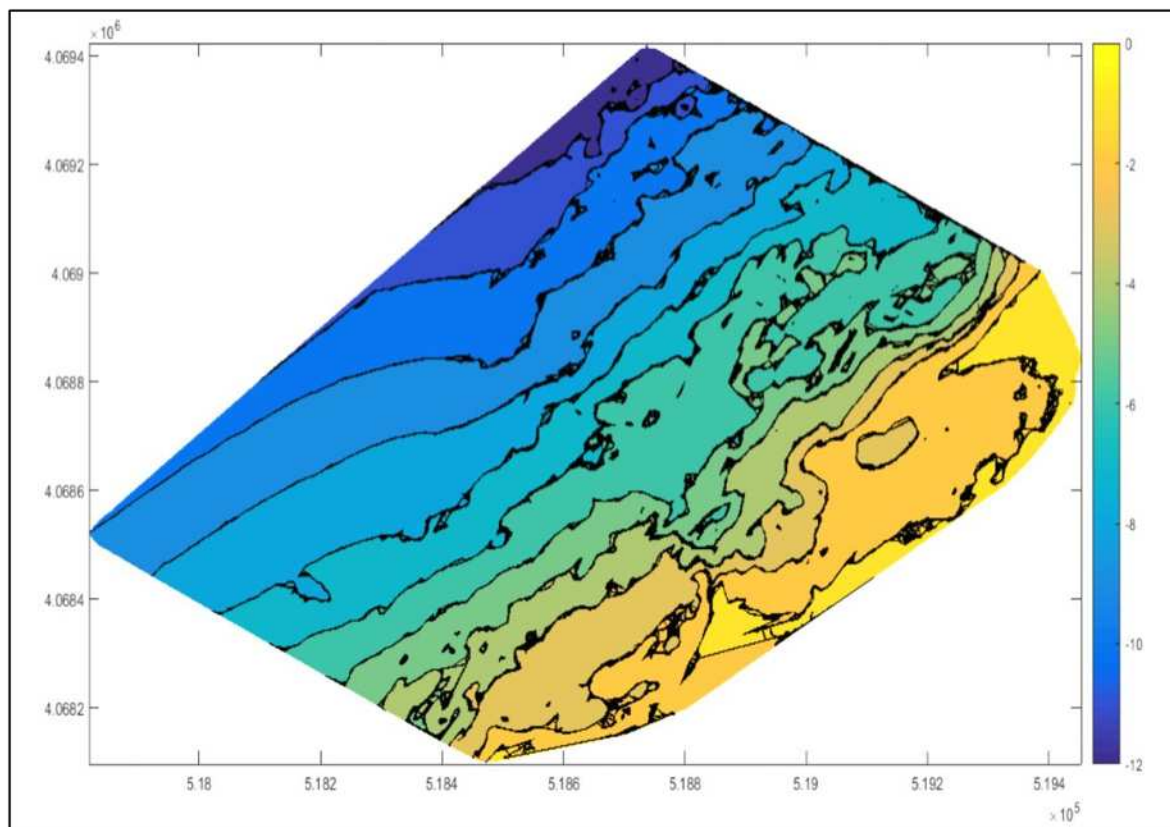


Figure II- 7 : carte bathymétrique 2D avec remplissage des contours de la zone de Verte Rive (2017)

La bathymétrie de l'année 2017 de la zone de **Verte Rive** présente des courbes de niveaux allant de 0m Jusqu'à -12 m de profondeur, on remarque que dans les premiers mètres la bathymétrie ne varie pas beaucoup jusqu'à -3m de profondeur, on peut distinguer deux types de fonds :

Côté est : le fond est irrégulier les isobathes sont très proches, on remarque que la pente est abrupte ca est dû à la déformation du fond qui un platier rocheux.

Côté ouest : le côté ouest est plus au moins régulier à partir de la profondeur de -2 m jusqu'à -10, la pente est douce. Voir **Figure II-7** ; **Figure II-6**.

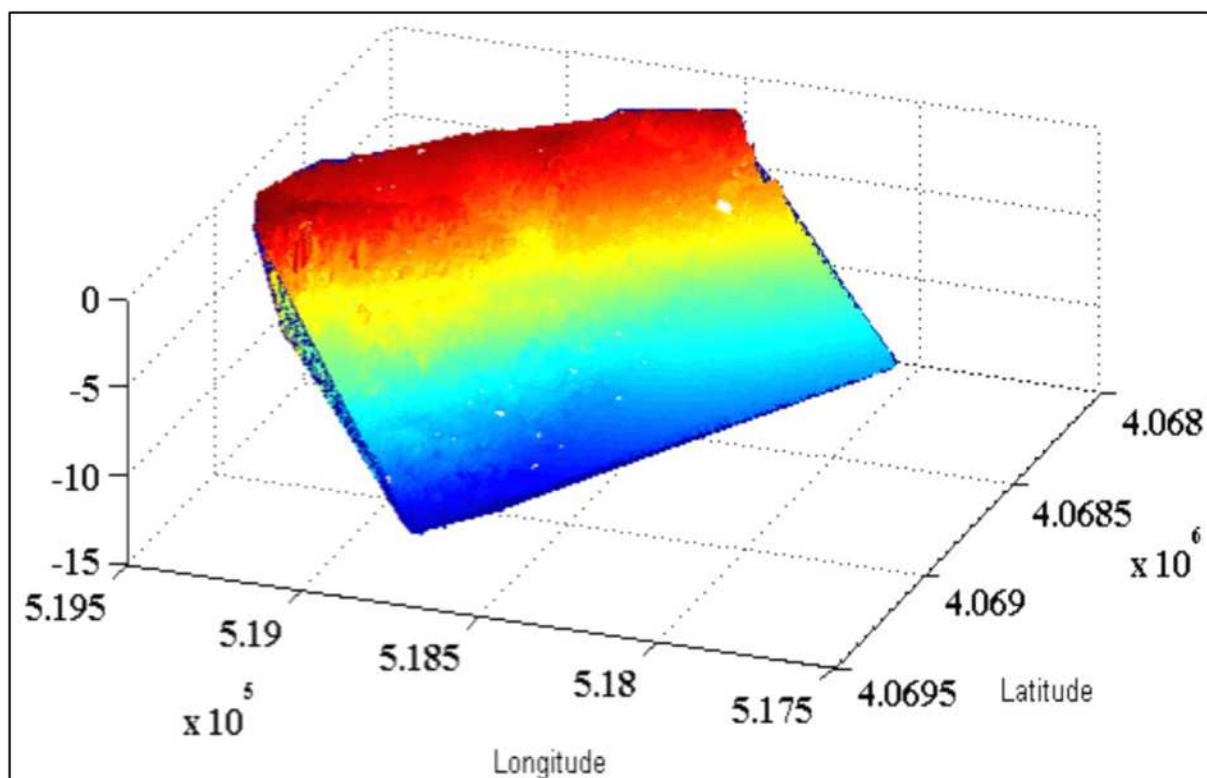


Figure II- 8 : Carte bathymétrique en 3D de la zone de Verte Rive (Réalisé à l'aide du logiciel **Matlab**)

A partir de la carte bathymétrique 3D (Figure II-7), on peut tirer les principales caractéristiques sur la géomorphologie sous-marine du site de Verte Rive 2017.

I.3 Etude des profils bathymétriques

L'étude des profils bathymétriques consiste à étudier au mieux la géomorphologie sous-marine et qui permet de donner une idée sur la forme du plateau continental, nous avons établis 5 profils représentatifs de la globalité de la zone. Pour chaque profil, une courbe illustre respectivement les observations de l'année 2017.

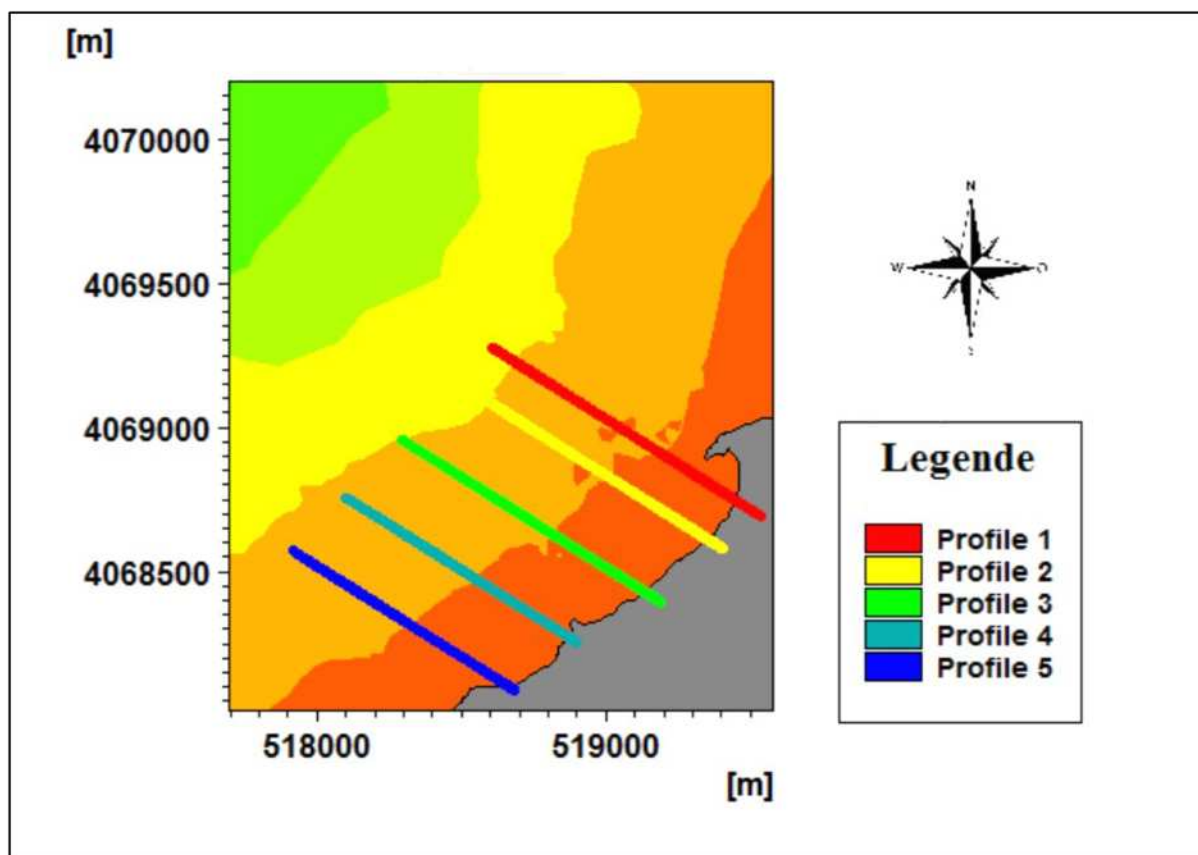


Figure II- 8 : Carte bathymétrique avec les cinq profils de la zone de Verte Rive (Mike21)

Pour se faire on a utilisé le module **Profile Plot** du logiciel **Mike 21** en introduisant les coordonnées de chaque profil.

Par la suite ces profils vont subir une filtration des données bathymétriques par le logiciel de calcul Matlab, le filtre **Savitzky-Golay filtering** va enlever toutes les perturbations, le programme de filtration et le profil filtrés sont représentés par la **figure II-9** et **figure II-10**

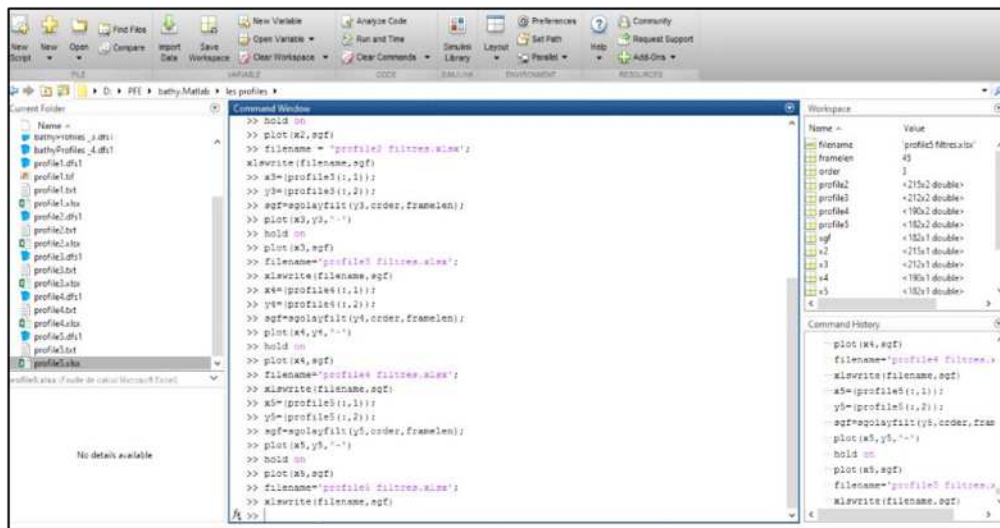


Figure II- 9 : programme de filtration des données bathymétriques sous Matlab

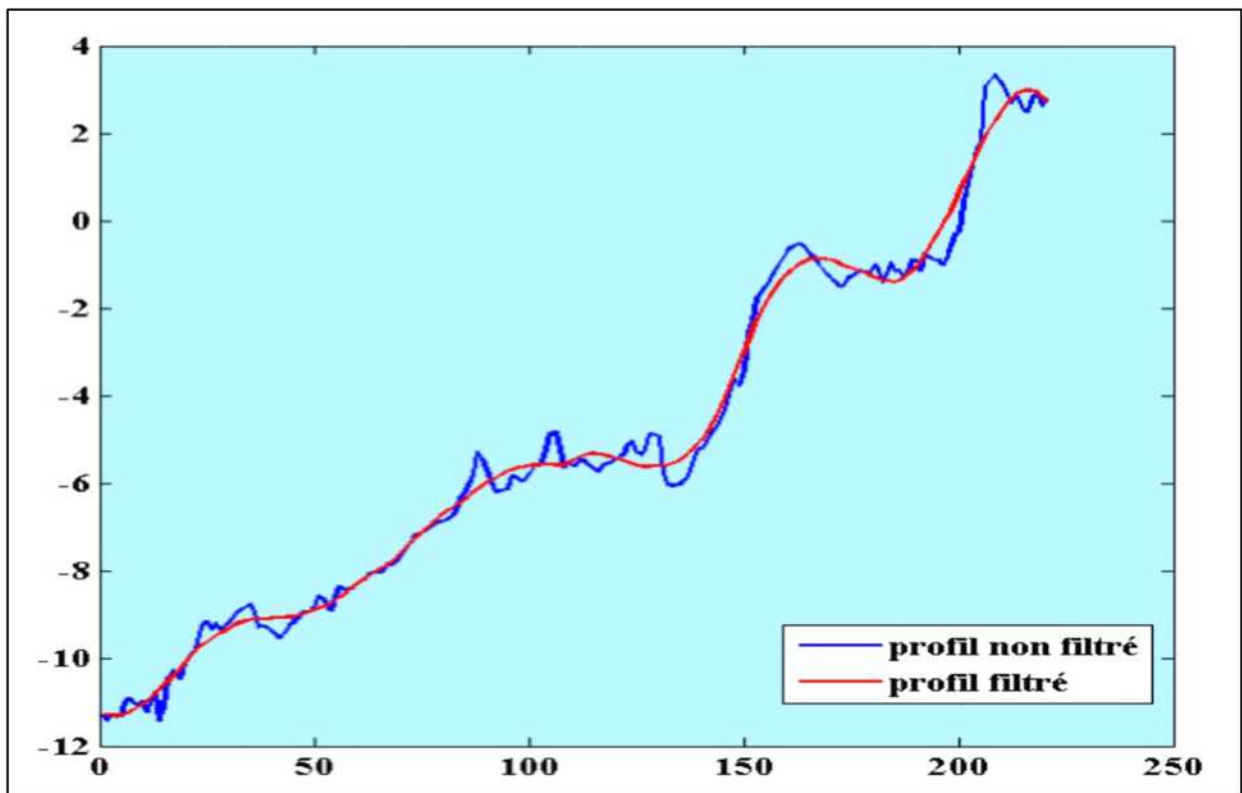


Figure II- 10 : Résultats de filtrages d'un profil bathymétrique (Matlab)

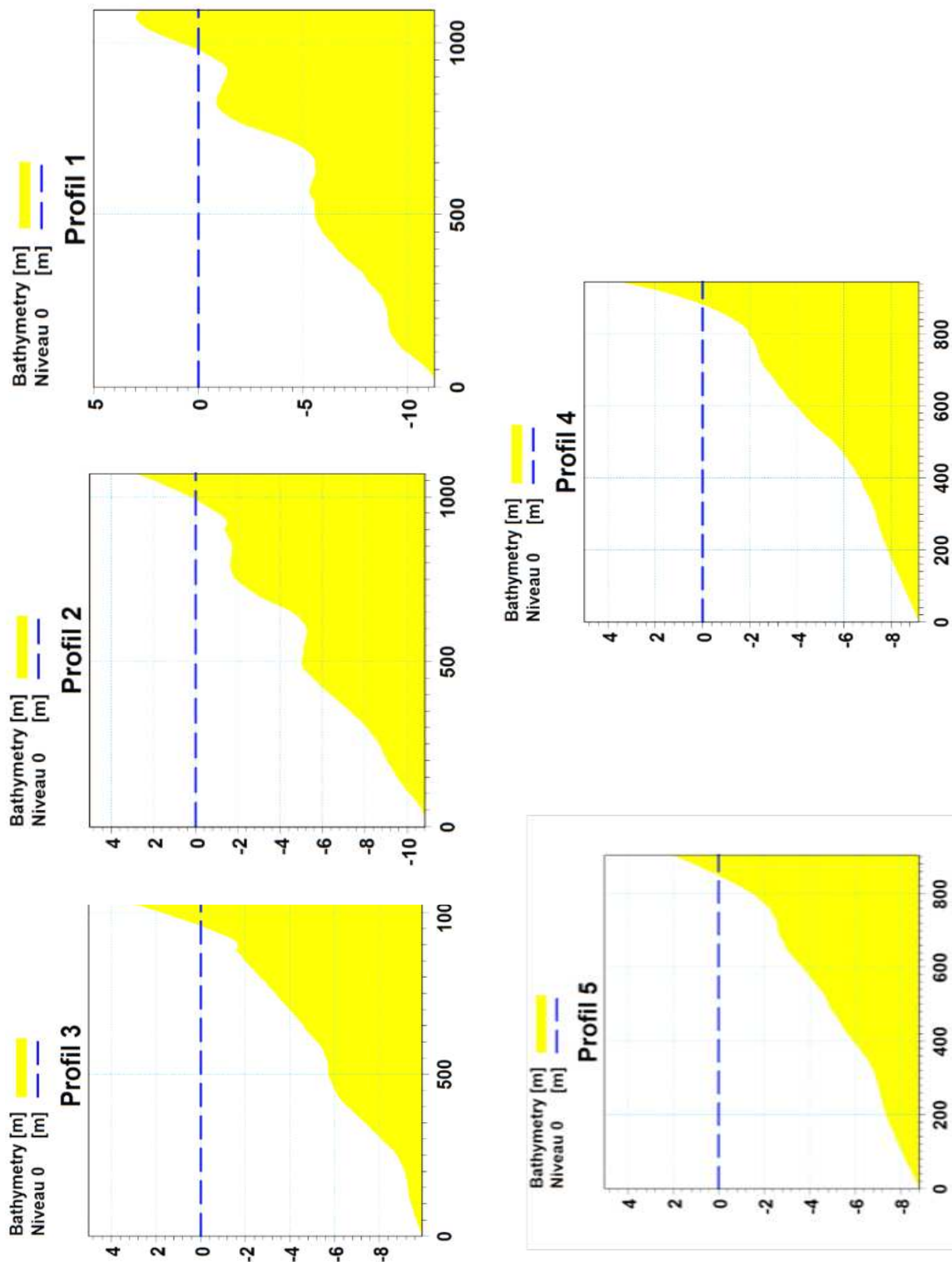


Figure II- 11 : les profils bathymétriques de la zone de Verte Rive

Commentaire

Profil 1 : A partir de cet profil, on constate que le fond subi des déformations sur sa forme en général, la pente de cette partie de plage de Verte Rive est caractérisée par une pente relativement moyenne elle est de 1.6-2° dans les premiers mètres, puis à profondeur de -2.5m et -6m on note qu'il y a une élévation, elle pourrait être une formation rocheuse, puis elle reprend plus doucement jusqu'à -11 m, après cette profondeur on peut dire que la pente devienne de plus en plus douce, avec l'existence des petites irrégularités dans le profil en général.

Profil 2 : ce profil présent aussi comme le précédent, des déformations dans les premières profondeurs, avec une petite forme rocheuse à la profondeur de -2 m, notant une rupture de pente à -5m de profondeur.

Profil 3 : d'après ce profil on remarque que les fonds deviennent de plus en plus stables, pas des irrégularités, la pente est plus en moins douce cette pente connaît une rupture, à -1.6m de profondeur, notant l'existence de quelques irrégularités entre les -6 m et les -8 m. La pente reprend également avec un pendage un peu plus doux qu'auparavant.

Profil 4 : Ce profil présent aussi comme le précédent, une pente raide dans les premiers mètres entre 0m et -7,5m, puis elle devient de plus en plus douce jusqu'à une profondeur de -11m.

Profil 5 ce profil avance en pente douce dans les premiers mètres, puis entame une rupture de pente à -3 m de fond et continue par un replat en pente douce vers le large. En général le profil ne présente pas des irrégularités sur le fonds, la pente est généralement douce.

II. Evolution du trait de cote

II.1 Aperçu du logiciel ArcGis 10.2 :

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

Différentes couches d'informations spatiales peuvent être manipulées offrant la possibilité d'analyser une ou plusieurs couches sous le contrôle des autres. Le seul lien entre ces différentes couches est le lien spatial, c'est-à-dire, l'appartenance au même espace géographique et ayant le même système de coordonnées (Asbai, 2013).

II.2 Aperçu de l'extension DSAS :

Le système d'analyse Shoreline Digital (DSAS) est une application logicielle disponible gratuitement qui travaille dans le (ESRI) Système d'information géographique (ArcGIS).

DSAS calcule les statistiques de taux de changement pour une série chronologique des données vectorielles du littoral. Les méthodes utilisées peuvent être décrites comme suit :

- **La méthode des points extrêmes (End Point Rate - EPR) :** l'EPR est la distance sur le transect entre deux traits de côte le plus récent et le plus ancien divisé par le nombre d'années séparant ces traits de côte. (Himmelstoss, 2009; Jamont, 2014).

- **La méthode de la régression linéaire (Linear Regression - LRR)** : une droite de régression linéaire des moindres carrés est établie grâce à toutes les intersections des traits de côte historique pour un transect. La pente de cette droite est le taux de régression linéaire en mètres par an. (Himmelstoss, 2009; Jamont, 2014).
- **La méthode de la régression linéaire pondérée (Weighted Linear Regression - WLR)** : une régression linéaire aux moindres carrés est utilisée avec prise en compte de la pondération en fonction de l'incertitude des données. La régression linéaire aux moindres carrés est utilisée en pondérant chaque valeur. La pente de la droite de régression est le taux en mètres par an. (Himmelstoss, 2009; Jamont, 2014).
- **La méthode de Shoreline Change Envelope (SCE)** : l'enveloppe de la modification du littoral signale une distance, pas un taux. Le SCE est la distance entre la plus éloignée du littoral et de plus proche de la ligne de base à chaque transect. Cela représente la variation totale de mouvement de rivage pour toutes les positions du rivage disponibles et n'est pas lié à leurs dates. (Himmelstoss, 2009).

Barre d'outils de DSAS :

- 1:** Définir / Modifier les paramètres : spécifiés les noms de fichiers pour les entrées de référence et de rivage et d'autres paramètres, tels que l'espacement des profils.
- 2:** transects Cast : génère une nouvelle (ou écrase un existant) classe d'entités des profils en fonction des paramètres par défaut spécifiés par l'utilisateur.
- 3:** Le menu déroulant : répertorie tous les fichiers de transect reconnus ajoutés au projet ArcMap actif.
- 4:** Calculer les statistiques : lance une boîte de dialogue peuplée avec une liste sélectionnable des statistiques de changement de taux à calculer.
- 5:** Clip transects à SCE : lance une boîte de dialogue offrant aux utilisateurs la possibilité de générer une copie du fichier de profils spécifié qui est accroché à l'enveloppe de changement de rivage (SCE) ou la distance maximale entre tous les rivages.
- 6:** Lance la fonction d'aide DSAS.
- 7:** A propos de DSAS : fournit des informations sur le logiciel, y compris le numéro de version (USGS, 2016).



Figure II- 12 : Barre d'outils de DSAS

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

- Trait de côte de 1957 issu de la photo aérienne.
- Les traits de cotes issus des images satellitaires extraites de Google Earth (2004-2010-2017)

Le géoréférencement a été fait à l'aide du logiciel AutoCad avec l'extension Plexe Earth qui utilise un géoréférencement automatique à partir de Google Earth.



Figure II- 13 : les images Google Arth de la zone de Verte Rive (2004, 2010, 2017)

II.3 Variation de la ligne de rivage

La digitalisation de la ligne de rivage sur les images a permis la superposition des tracés ; le résultat obtenu est présenté ci-dessous :

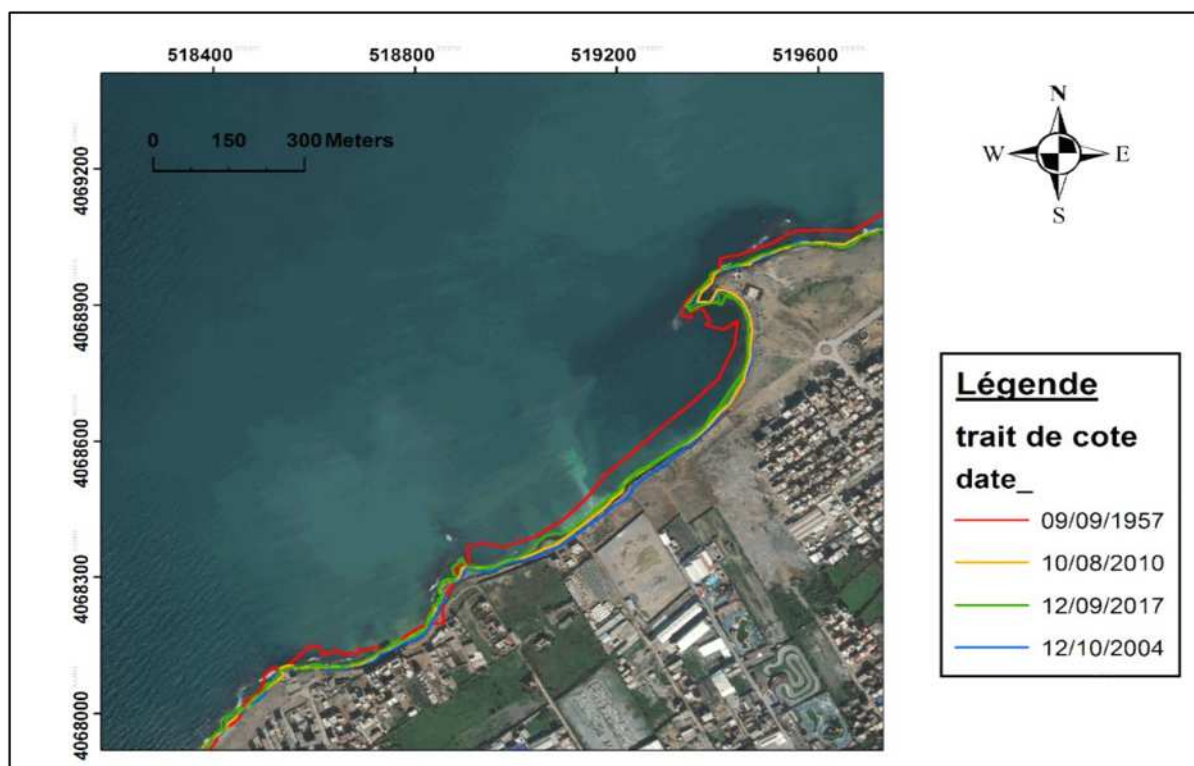


Figure II- 14 : Évolution de la ligne du rivage dans la région de Verte Rive durant les années 1957/2004/2010/2017

II.4 Évaluation du taux d'évolution de la ligne de rivage

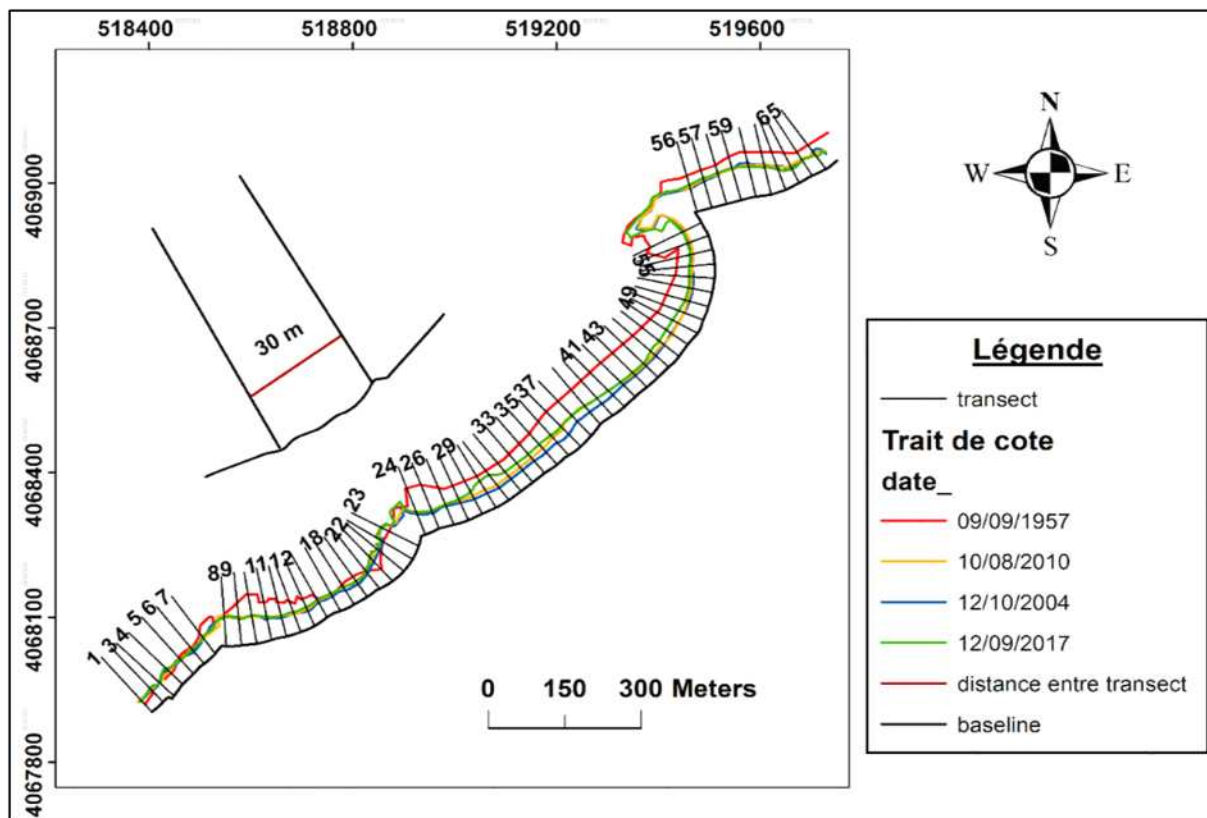


Figure II- 15 : Transects et trait de côte de 1957-2004-2010-2017

Les mesures effectuées au niveau de chaque profil concernant les 3 indicateurs précédemment mentionnés selon les différents périodes sont représentées dans des tableaux en **Annexe II-7**.

II.4.1 Résultat graphique

Donc pour bien comprendre la dynamique de ces différents rivages selon l'échelle spatiale, on a projeté le support statistique de l'indicateur EPR (**Annexe II-7**), pour élaborer des cartes représentatives de cette tendance selon les périodes suivantes :

II.4.1.1 L'End Point Rate EPR

- Période de 1957-2004 :

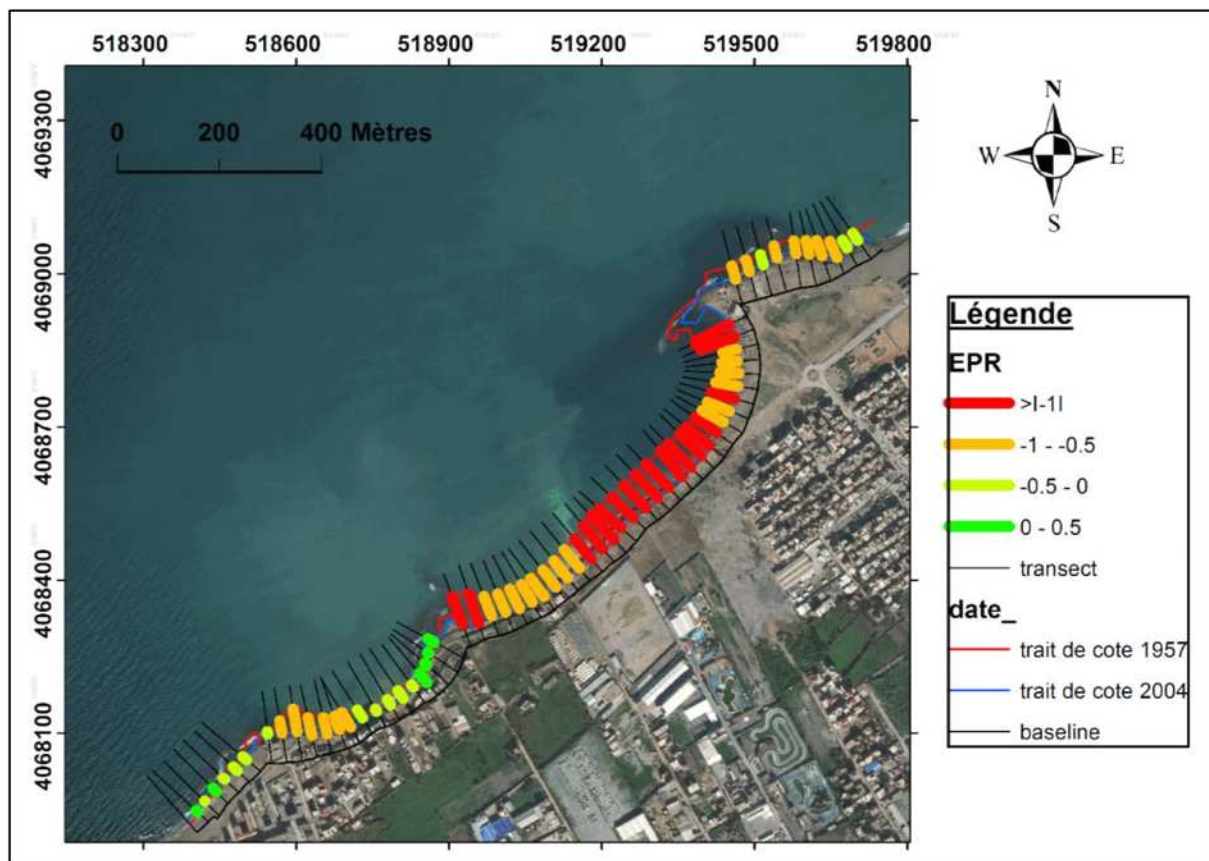


Figure II- 16 : Illustration du rythme d'évolution du trait de côte en m/an entre 1957 et 2004.

Commentaire :

D'après ces résultats, on remarque qu'on a assisté à un recul significatif dans toute la partie EST, pour les profils qui sont colorés en jaune le recul est faible de 0 jusqu'à -0.5m/an, tandis que les profils colorés en orange signifie un recul plus au moins important, on remarque un recul très important dans la plage de la partie Est en rouge avec un taux supérieur à -1m/an.

On peut constater aussi une légère avancée de la ligne de rivage avec un taux de 0 à +0.5 m/an sur la partie centrale qui est caractérisée par des formes rocheuses.

- Période de 2004-2010 :

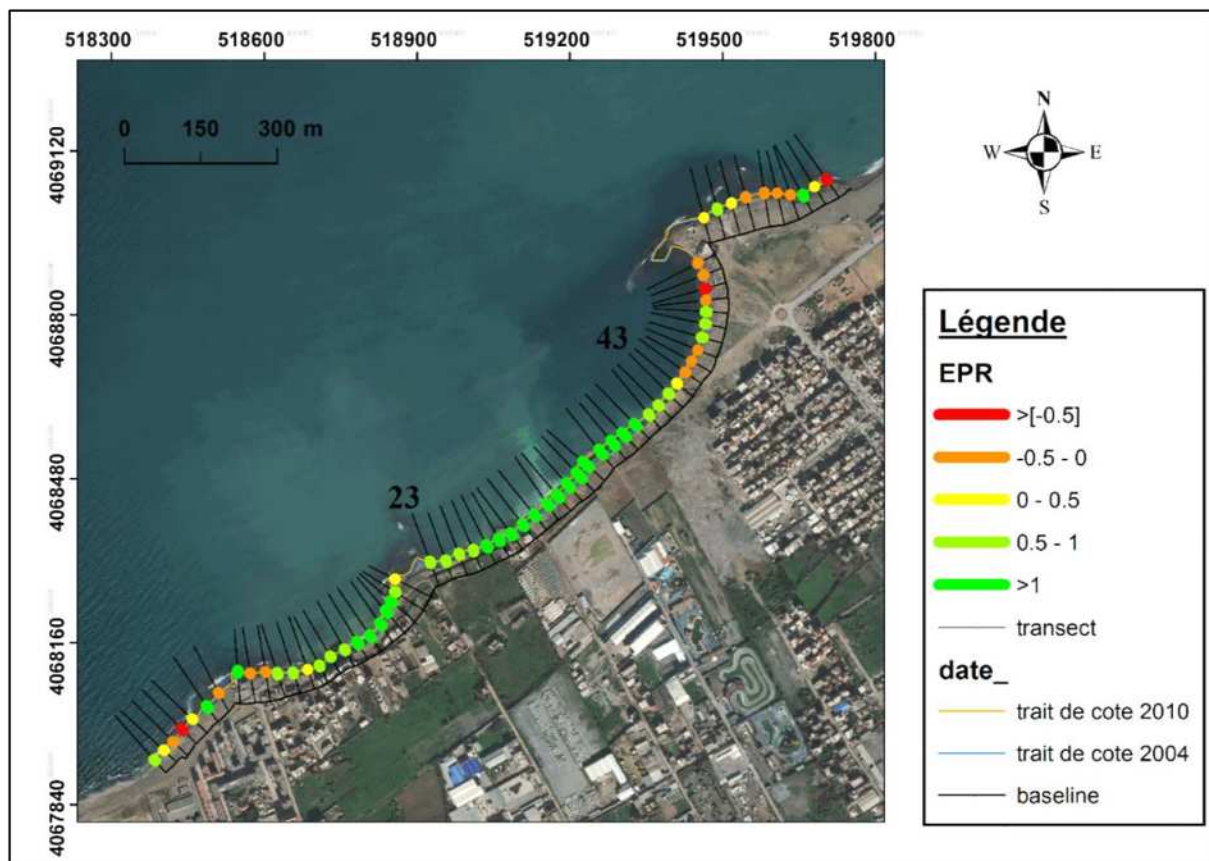


Figure II- 17 : illustration du rythme d'évolution du trait de côte en m/an entre 2004 et 2010.

Commentaire :

Pour cette période le rythme du recul a vraiment changé surtout dans la partie centrale entre le transect 23 et 43, le zone a subi un avancement considérable de la ligne de rivage avec un taux de +1 jusqu'à +3m/ans (en vert), cet avancement est dû à l'apparition d'un facteur anthropique

Pour les autre partie Ouest et Est, l'évolution des profils peuvent correspondre celle concernant la période entre 1957-2004, là où le trait de côte a subi un recul plus au moins faible les parties oranges, le taux est de 0 à -0.5.

- Période de 2010-2017 :

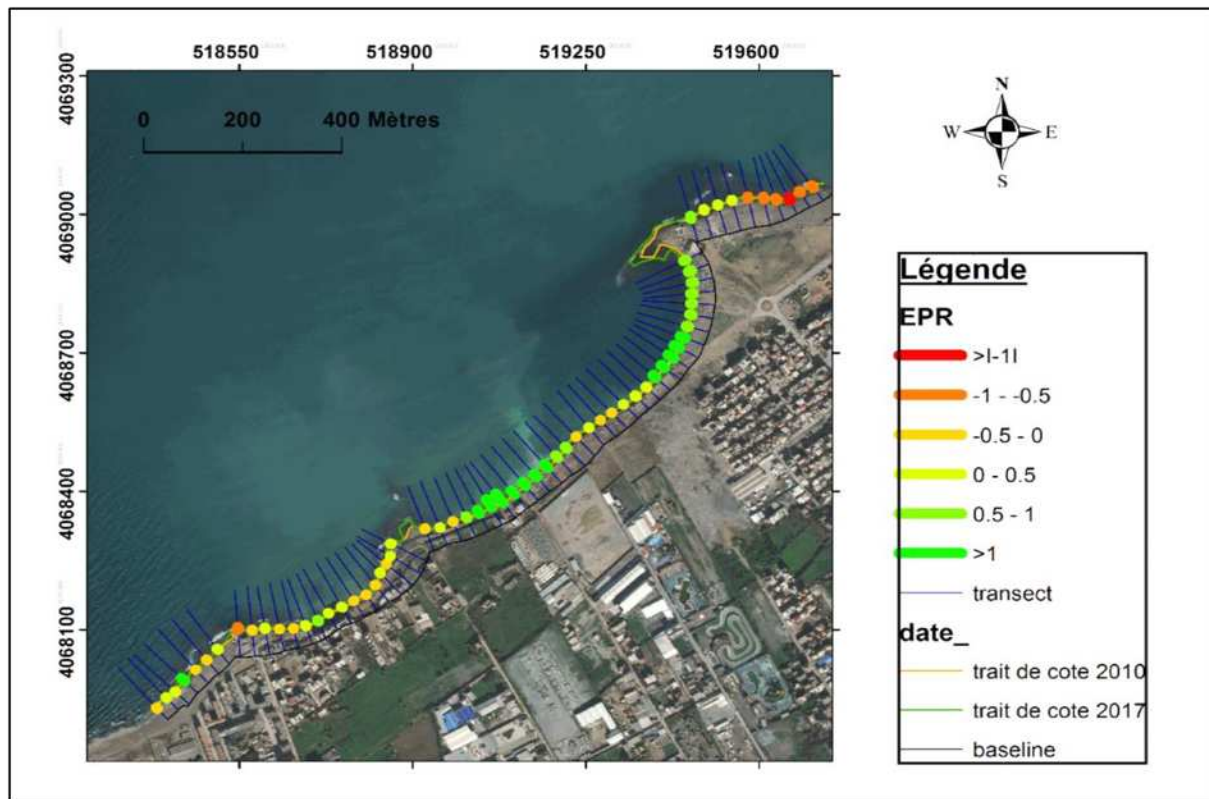


Figure II- 18 : illustration du rythme d’évolution du trait de côte en m/an entre 2010 et 2017.

Lors de cette période, la variation de la ligne de rivage n’a pas gardé son rythme, on assiste à une érosion sur toute la partie Ouest avec un ordre de grandeur de -0.5 à -1m/an, sauf entre le transect 26 et 37 le trait de côte a connu un taux d’engraissement supérieurs à 1 m/an.

Un bilan de l'EPR pour la période de 1957-2017 :

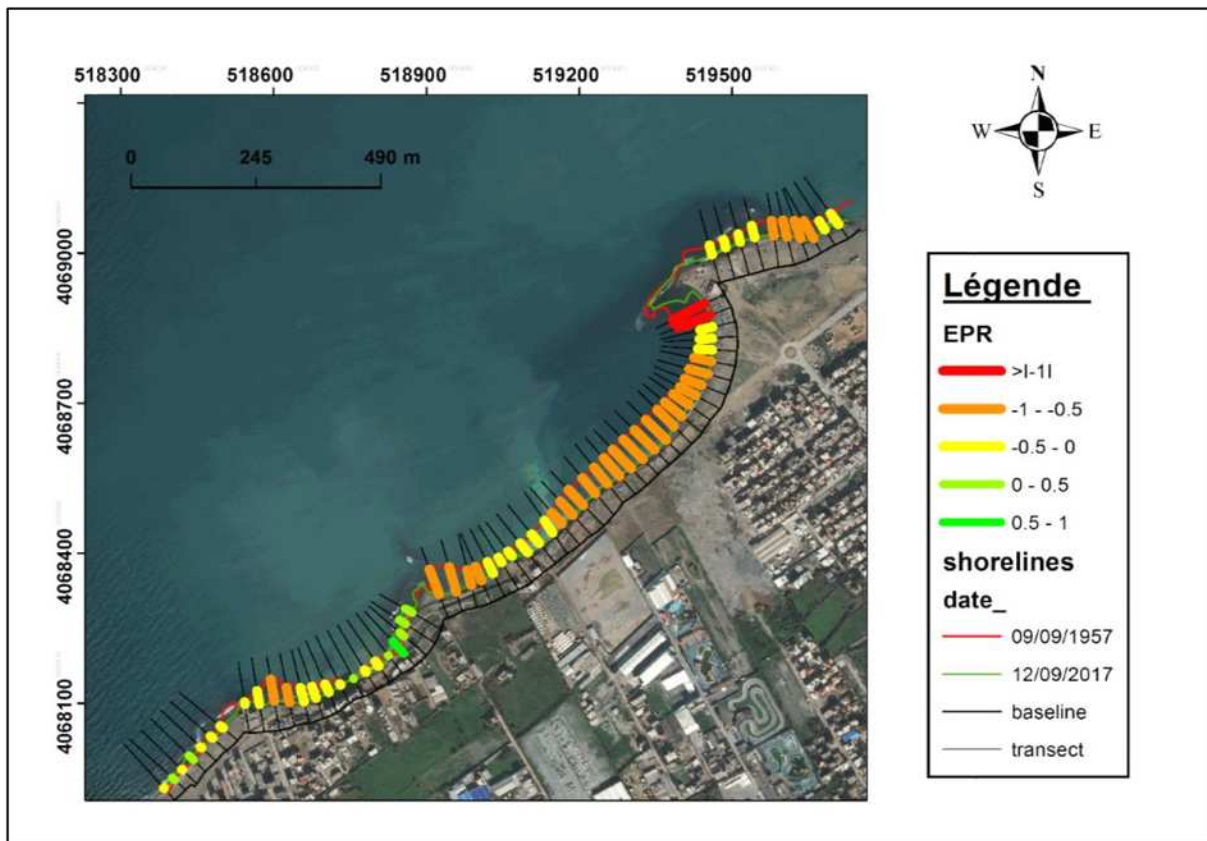


Figure II- 19 : Illustration du rythme d'évolution du trait de côte en m/an entre 1957 et 2017.

Le bilan de l'EPR permet de nous renseigner sur les variations qu'a subit notre zone d'étude durant ces 60 dernières années et cela au niveau de son trait de côte.

Le trait de côte entre 1957 et 2017 a subi beaucoup de changement qui diffère d'une zone à l'autre, l'érosion a pris l'avantage sur l'engraissement, en effet l'évolution du trait de côte au centre et à l'Ouest est marqué par une érosion intense de l'ordre de -1 à -3 m/an.

En moyenne le recul du trait de côte est de -0.42 m/an entre 1957 et 2017, cela est dû aux différents paramètres et facteurs, en particulier le facteur d'anthropisation qui a connu une évolution remarquable ces dernières années et l'action frontale de la houle sur la zone de Verte Rive qui est exposé aux grandes houles défavorables.

II.5 L'impact de l'occupation du sol sur l'évolution du trait de cote

Parmi les causes d'érosion, nous avons cité au paravent le facteur de l'urbanisation sous forme de construction sur la bande littoral.

Dans la zone de Verte Rive l'urbanisation et l'anthropisation entre 1957-2017 s'est évoluée rapidement, une étude statistique basé sur le calcul de la surface occupée pour chaque année s'est effectuée, dans le but de comparer cette dernière avec l'évolution du trait de côte, afin de vérifier l'impact de l'anthropisation sur l'évolution de la ligne de rivage.



Figure II- 20 : évolution de l'urbanisation entre 1957 et 2017 de la zone de Verte Rive

Tableau II- 3 : surfaces des constructions

Années	surface	surface cumulée	Surface en %
1957	28816.6659	28817	2
2004	524269.755	553086	34
2010	98358.4877	651445	40
2017	280423.417	931868	58

A partir de la figure II-20 et des résultats du tableau II-3 on peut constater une évolution remarquable de l'urbanisation sur la cote de Verte Rive entre 1957 et 2017.

La représentation des résultats de l'EPR en fonction de la surface occupée entre 1957 et 2017 (Figure II-21) nous renseigne sur la relation qui existe entre eux, la valeur absolue du recul du trait de côte est proportionnelle à la surface d'occupation.

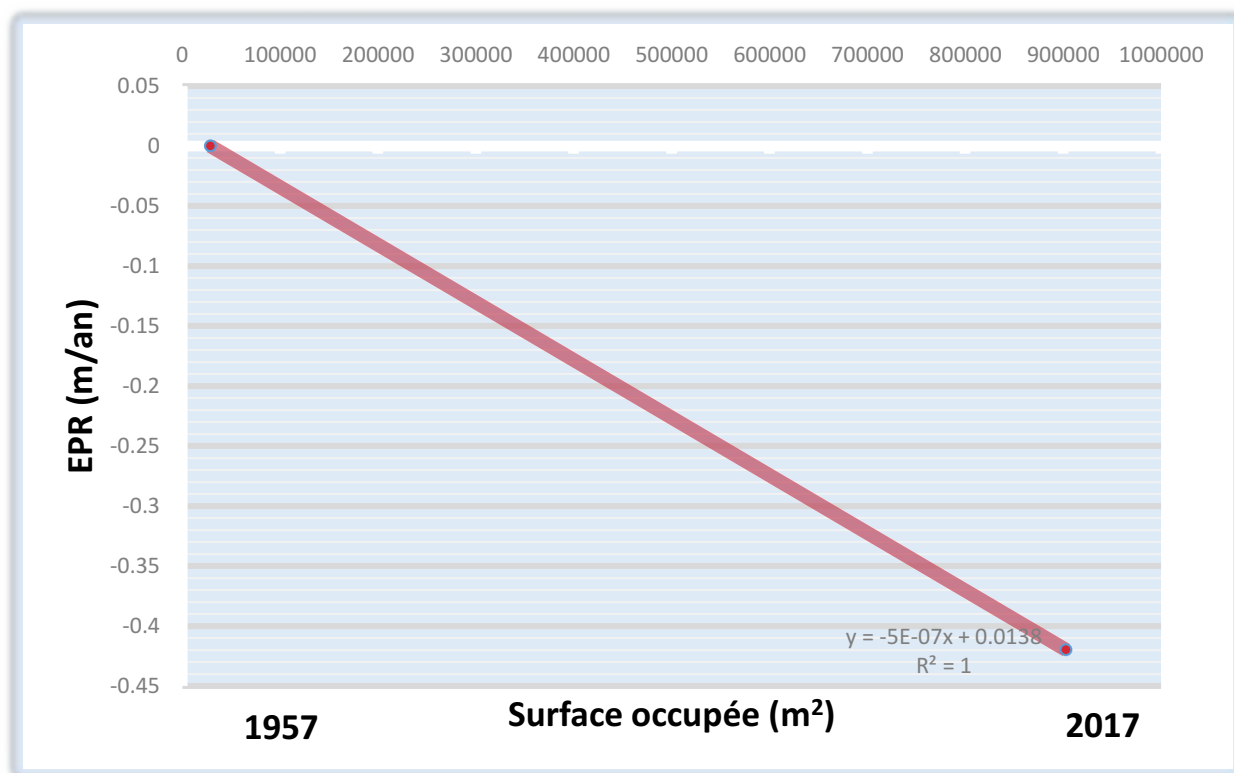


Figure II- 21 : le taux d'évolution du trait de côte en fonction de la construction sur la zone côtière

II.6 Conclusion sur l'évolution du trait de cote

La zone de Verte Rive a connu beaucoup de changement sur son évolution du trait de côte pendant ces dernières 60 ans. Parmi les principales causes du phénomène d'érosion est l'urbanisation et la construction sur la bande littorale, il existe une relation proportionnelle entre l'évolution de la surface totale de construction et la valeur absolue du taux de l'EPR, qui est de (-0.42 m/an).

Une nécessité de surveillance continue au niveau du trait de côte, se révèle indispensable pour la compréhension des différents phénomènes.

III. Modélisation numérique hydrodynamique

II.1 Introduction

L'hydrodynamique littorale a pour but de décrire et de modéliser les phénomènes physiques à l'origine de la dynamique des fluides en milieu littoral. Son intérêt est fondamental pour une meilleure compréhension et modélisation en océanographie physique littorale (Garlan et al.2011).

Les modèles numériques reposent sur la description des phénomènes physiques à l'aide

(De systèmes) d'équations mathématiques. Celles-ci sont ensuite résolues numériquement, pour chaque paramètre étudié, par un programme informatique. Un modèle numérique ne prend en compte qu'un nombre limité de phénomènes (Marée, courant, houle, run-up, franchissement de la houle et morphologie). Seul le respect des critères suivants permet d'obtenir des résultats fiables (CETMEF, 2009) :

- La description mathématique des phénomènes étudiés (Equations, géométrie, bathymétrie, paramètres physiques, conditions initiales, conditions aux limites) doit être suffisamment précise ;
- La précision numérique doit être suffisante (Pour limiter les différences entre les équations mathématiques et les équations discrétisées) ;
- Le post-traitement et l'interprétation des résultats doivent être exacts ;
- Le modèle numérique doit avoir été calibré correctement ;
- Le modèle numérique doit avoir fait l'objet d'une validation suffisante.

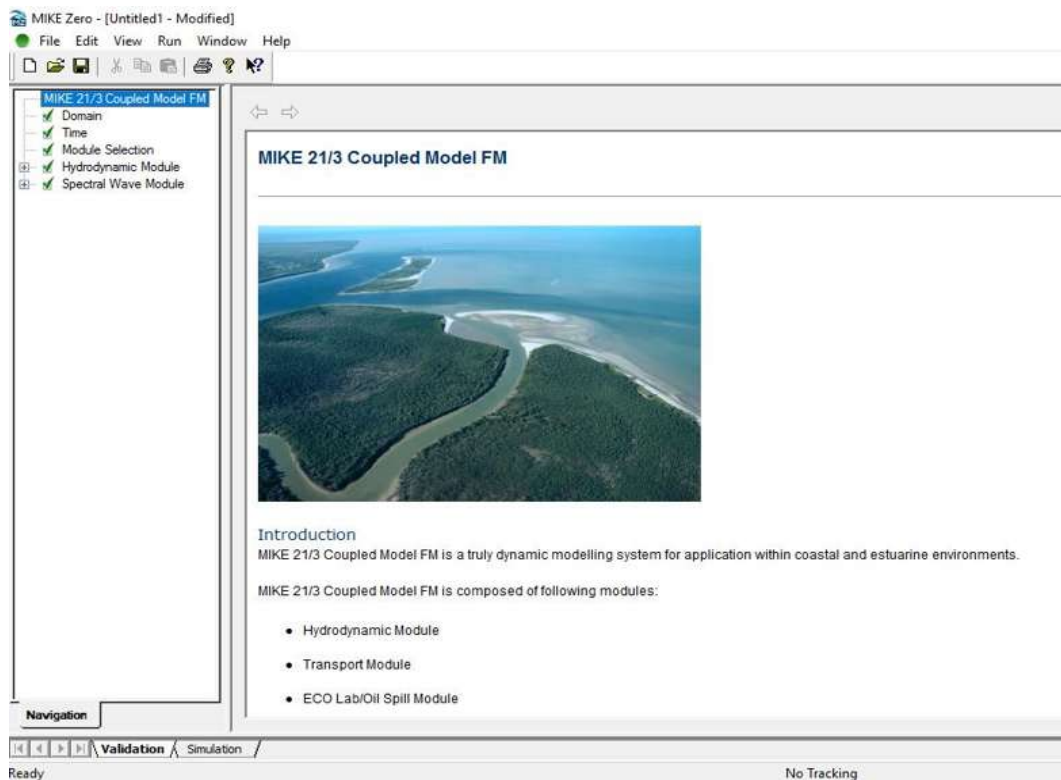
Le modèle numérique utilisé dans le cadre de cette étude est le **MIKE 21** qui est un logiciel professionnelle de modélisation numérique 2D des écoulements à surface libre, développée par DHI Water & Environnement.

II.2 Description du modèle de simulation MIKE

Le **MIKE21** 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 intégré 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 **MIKE21**, comprend les calculs suivants :

- **MIKE 21-SW** (Spectral Waves Flexible Mesh).
- **MIKE 21-HD** (Hydrodynamic model).
- **MIKE 21-ST** (Non-Cohesive sediment transport).



➤ **Modèle numérique spectral Wave (MIKE 21-SW):**

Modèle spectral de vague de 3^{ème} génération similaire au SWAN, avec certaines améliorations. Il simule : la croissance des vagues en présence du vent, l'interaction vague-vague non-linéaire, la dissipation par le déferlement et par la friction sur le fond, la réfraction par les changements de profondeur et l'interaction vague-courant. Les calculs du modèle **MIKE21-SW** utilisent une grille à maillage flexible. Le modèle équivalent sur maillage en différence finie est le modèle MIKE21-NSW.

➤ **Modèle numérique hydrodynamique (MIK 21-HD) :**

Traite le frottement sur le fond, l'effet des événements météorologiques (vents 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.

Donnée de base

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

Le modèle MIKE 21-ST est un modèle numérique qui calcule les taux de transport de sédiment 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 houle et des courants combinés. Les transports de sables sont déterminés par l'interpolation dans les tableaux de transport (DHI, 2014). Ces tableaux doivent être générés au préalable par « MIKE 21 Toolbox » avec le choix de « Generation of Q3D Sediment Tables ». Ils doivent intégrer une condition quelconque de bathymétrie, courant, houle, ou sédiment prédite par le module intégré (DHI, 2014).

II.3 Donnée de base

II.3.1 Données bathymétriques

La bathymétrie utilisée pour cette étude de réfraction est celle issue de la digitalisation de la carte publiée par le service hydrographique des Forces Navales. Alger Publication 1979 ; édition 1998 intitulée « Mer Méditerranée côte d'Algérie, de Tipaza Ras Matifou échelle : 1/120000 », ainsi que

celle issue de la campagne de reconnaissance sur site réalisée au mois d'août 2009 par le LEM dans le cadre de l'étude de protection et d'aménagement de la cote de Verte Rive

II.3.2 Données de houle au large

Tableau II- 4 : Données de houle au large

Période de retour	Hauteur et période de houle pour chaque direction			
	N345	N315	N360	N30
Annuelle	1	1.1	1	1.09
	2.67	2.64	2.67	2.56
Cinquantennale	4.92	4.53	4.92	5.05
	7.02	6.65	7.02	7.53

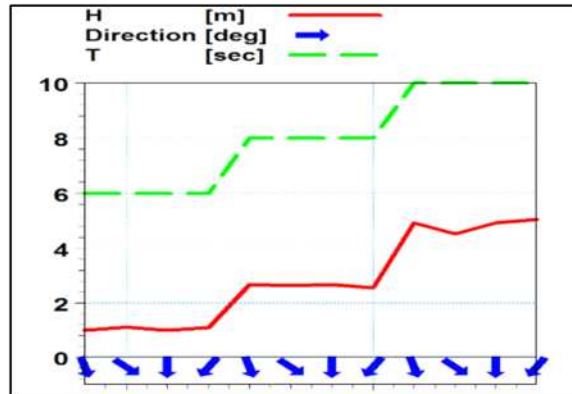


Figure II- 22 : Représentation graphique de données de houle au large (Réalisé par le logiciel Mike21)

II.3.3 Choix du secteur

Le secteur angulaire considéré correspond aux limites naturelles imposées, d'une part, par la configuration géographique du site d'étude, et d'autre part, par le secteur d'intérêt des houles du large.

Ainsi quatre (04) directions ont été retenues en tenant compte des tableaux de fréquence par direction des houles au large ainsi que l'incidence de ces houles par rapport à la zone d'étude :

- Une direction approximativement perpendiculaire à la côte pour mesurer les effets d'une houle frontale (**315°N**).
- Une direction de houle (**360°N**).
- La direction de (**30°N**) qui est plus au moins énergétique.
- Une direction de houle la plus énergétique (**345°N**).

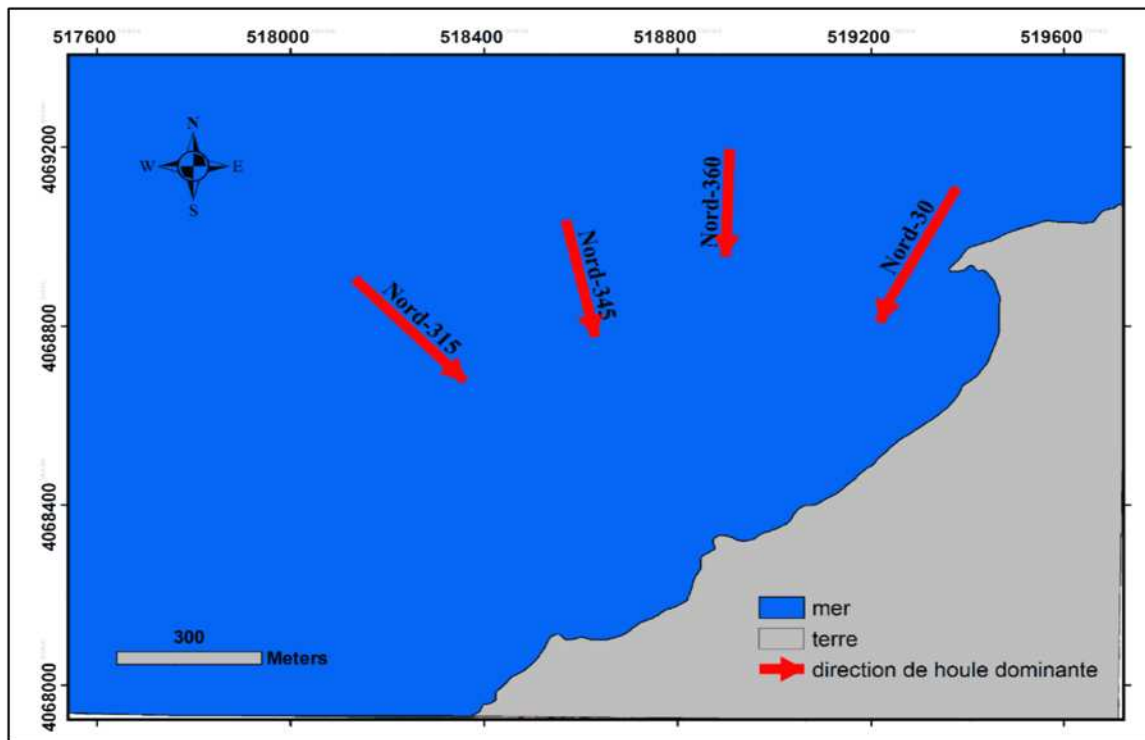


Figure II- 22 : Secteurs de houles dominants dans la zone de Verte Rive

II.4 Plan des points d'extraction de la réfraction de la houle

Le plan des points d'extraction a été fait à l'aide du module numérique spectrale MIKE 21-SW dans le but d'extraire les hauteurs de houle réfractées au point considéré, en introduisant les coordonnées de chaque point (16 points), afin d'obtenir les résultats graphiques de la réfraction

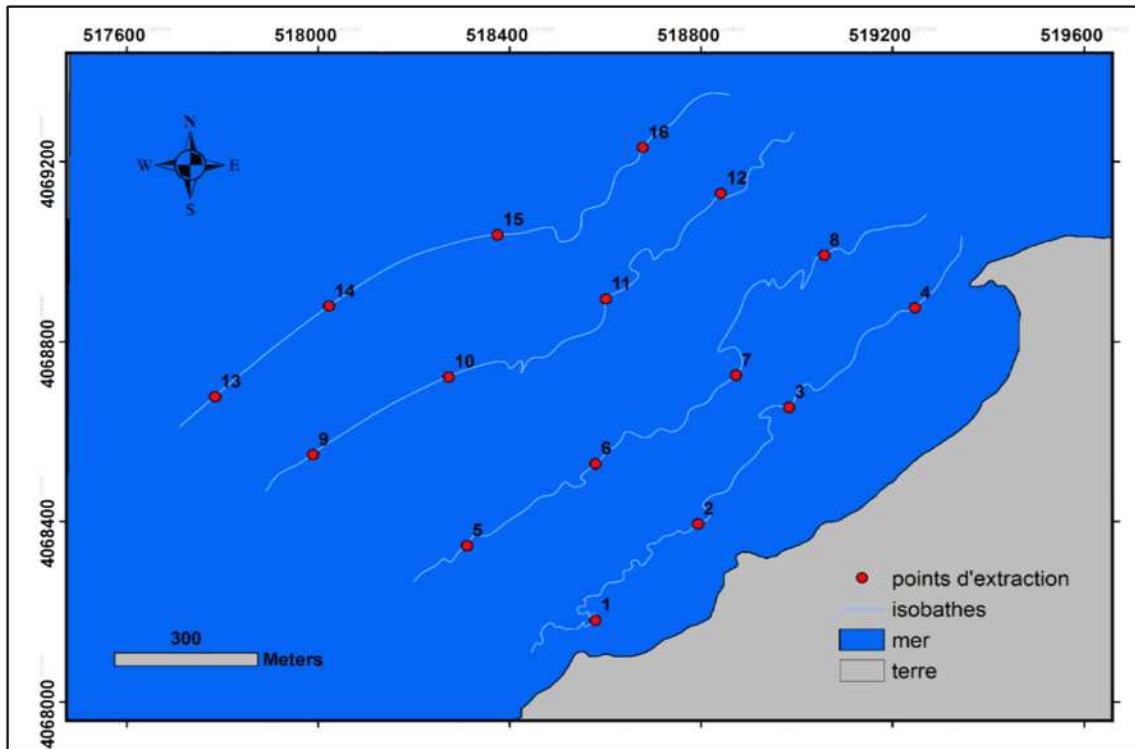


Figure II- 22 : Carte des points d'extraction de la réfraction de la houle

II.5 Les principales étapes de l’approche intégrée de la modélisation par le MIKE 21

Avant d’entamer la simulation il est important de créer un Mesh File, ce dernier relie la profondeur des eaux, extraite de données bathymétriques avec le système de référence ZH, à chaque point du domaine. Il contient donc les informations concernant la profondeur, les limites du mesh file (Boundary) et les éléments du maillage qui sont de type triangulaire plus serrés à la cote.

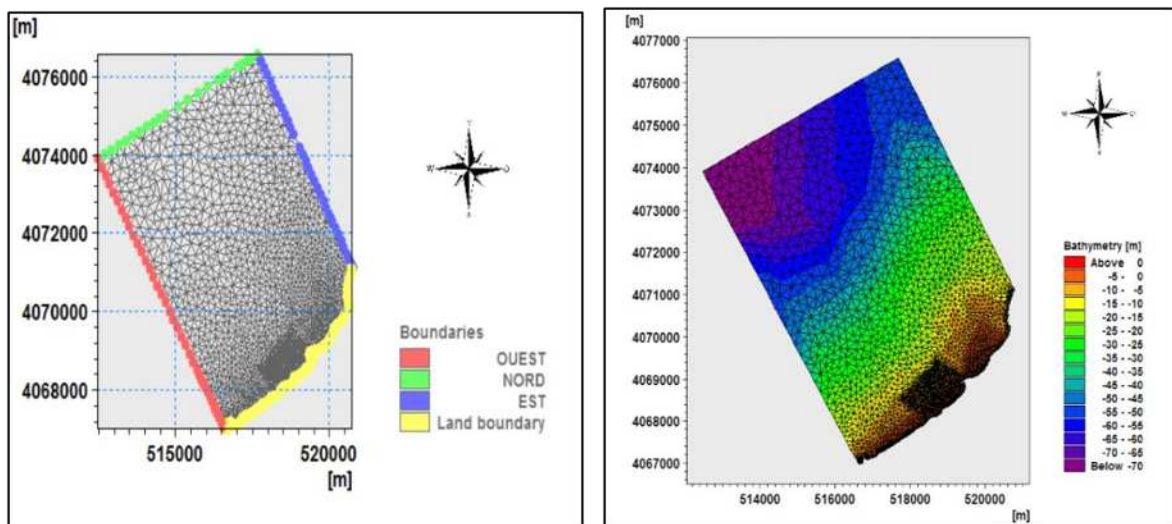


Figure II- 22 : Maillage de la zone de Verte Rive

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 une heure on aura un résultat (Output).
- ❖ Puis on génère la table sédimentaire (Q3D Sediment Transport Table) 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.
- ❖ Enfin on termine la préparation des données de simulation en rentrant la hauteur, la direction et la période des différents houles au niveau du modèle numérique Spectral Waves (MIKE 21-SW)

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

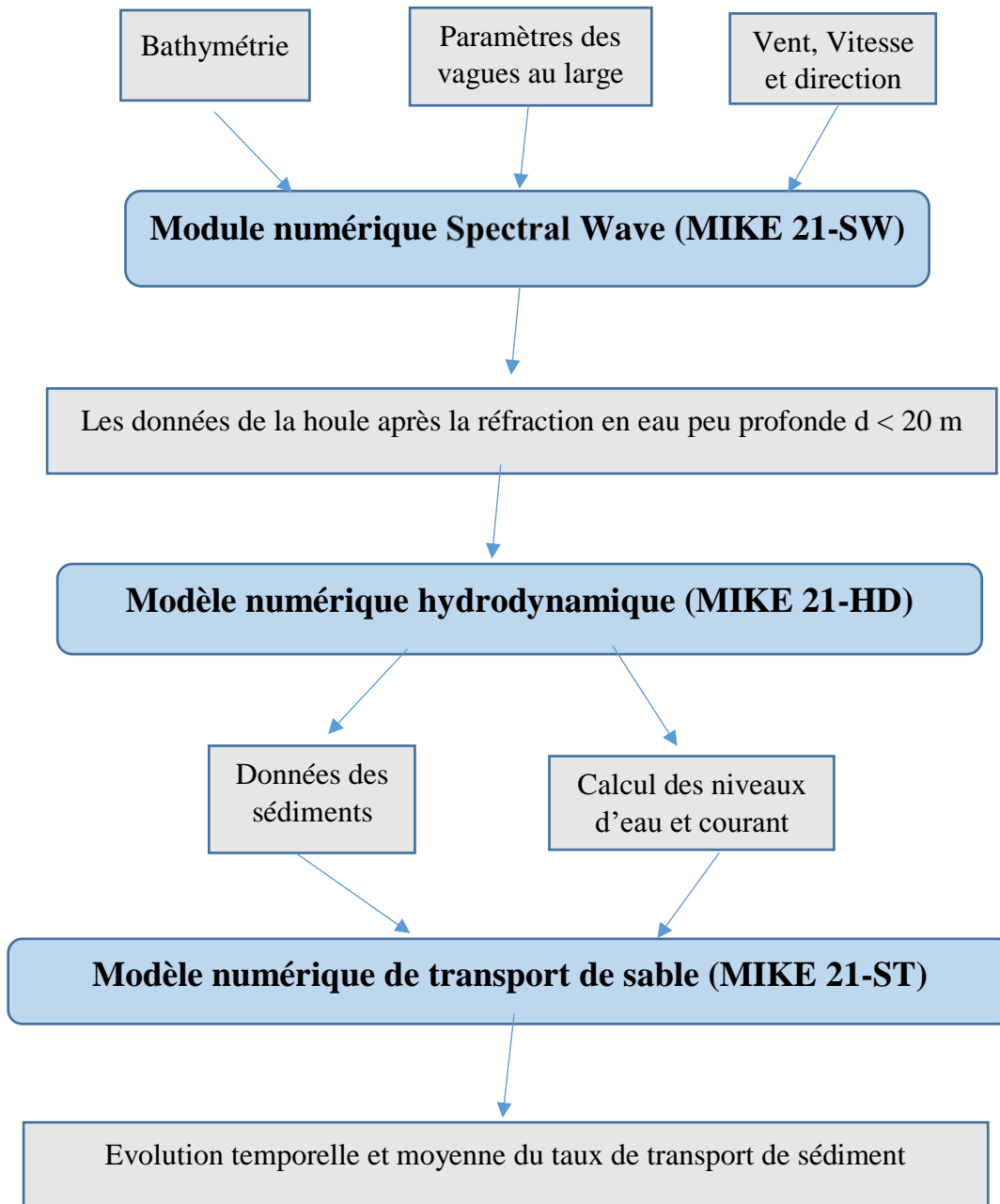


Figure II- 23 : Approche méthodologique de la modélisation par les codes MIKE-21

II.6 Résultats de simulation

Les résultats de simulation numérique sont présentés ci-après les directions considérées sont Nord 345 et Nord 315, les autres directions sont en Annexe

II.6.1 Action des houles de direction Nord-Ouest (345N°)

II.6.2.1 Réfraction de la houle (Spectral Wave, SW)

La propagation de la houle (**Figure II-27**) se traduit à l'approche du rivage par une modification de ces paramètres à savoir une diminution de la hauteur de la houle et une déviation de l'angle d'incidence (phénomène de réfraction).

Le paramètre H_s représente la hauteur de la houle en mètre qui varie globalement entre 0.16 et 2.24m au niveau du site, les vecteurs représentent 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 :

A l'Est la hauteur de la H_s varie entre 0 et 0.8m et entre 0.48 et 1.28m, donc elle est plus prononcée à l'ouest qu'à l'est, la houle arrive à la cote avec une hauteur de 0.64m.

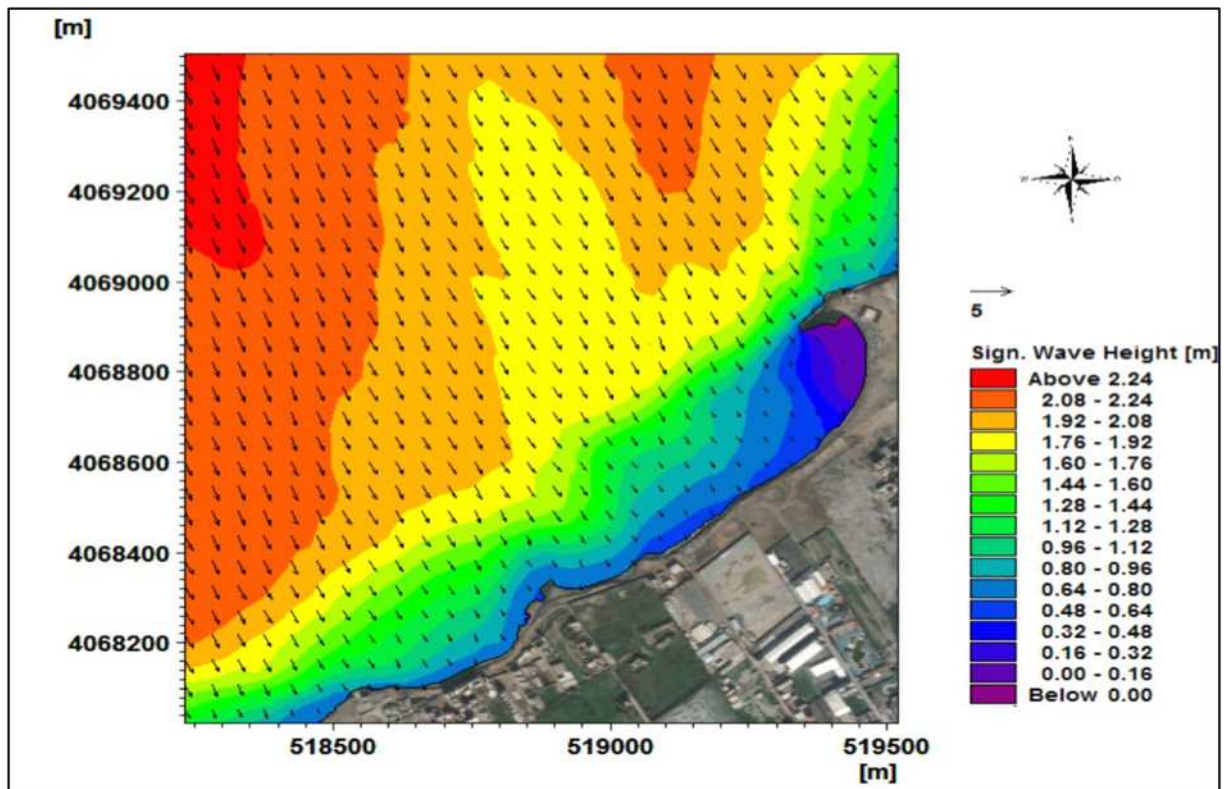


Figure II- 24 : Carte de répartition du champ de réfraction de la houle, MWD=345° ; H=2.67 ; T=8s (Réalisé à l'aide du logiciel Mike21).

Les résultats numériques sont présentés dans la figure et le tableau ci-après :

Tableau II- 5 : résultat numérique de la réfraction de

la houle, MWD=345° ; H=2.67 ; T=8s

(Réalisé à l'aide du logiciel Mike21).

Points	Profondeur m	Hs	Kr	Angle d'arrivé
2	-2	1.42	0.53	335
8	-5	1.79	0.67	334
10	-8	2.17	0.81	339
15	-10	2.23	0.84	338

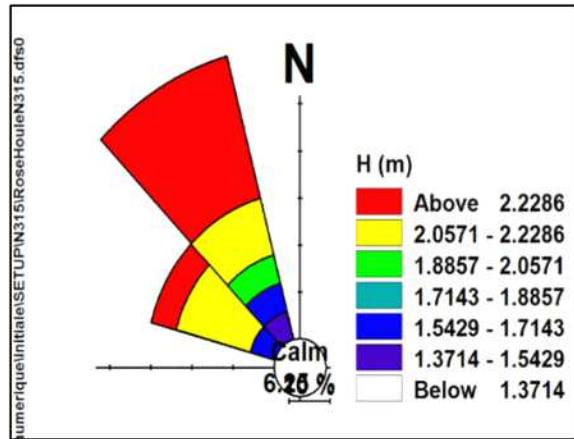


Figure II-25 : Rose des houles N345 à la cote de la zone de Verte Rive

II.6.2.2 Courantologie (Hydrodynamic, HD)

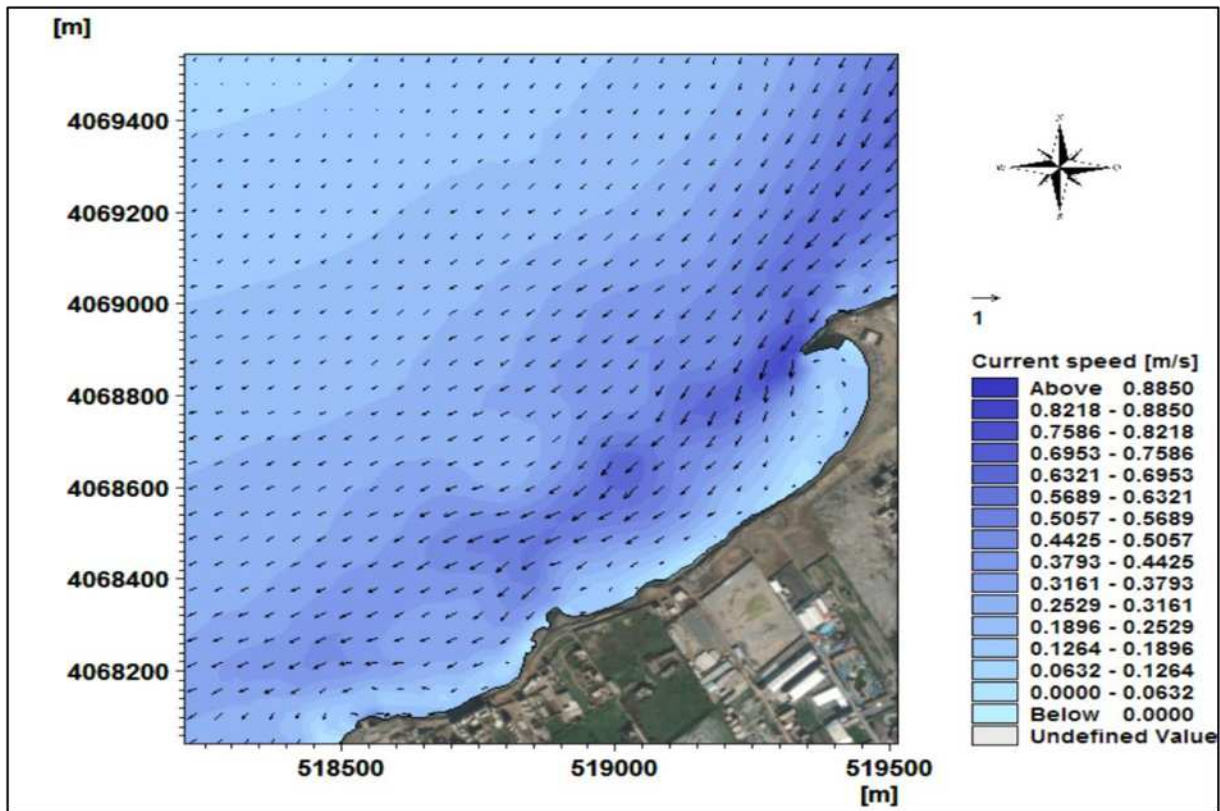


Figure II- 26 : Carte de répartition du champ des courants, MWD=345° ; H=2.67 ; T=8s (Réalisé à l'aide du logiciel Mike21).

Les courants littoraux induits par la houle (**Figure II-30**) sont de direction Est–Ouest et évoluent près du rivage en zone de déferlement, 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 de courant varient au voisinage du rivage de la manière suivante : ($U_{min}=0,06\text{m/s}$, $U_{max}=0.9\text{ m/s}$).

Il est également à noter la naissance d'un champ de turbulence à l'Est (au contact avec la partie rocheuse de la plage est ce qui est en faveur d'une mobilisation des sédiments et une alimentation permanente de la plage.

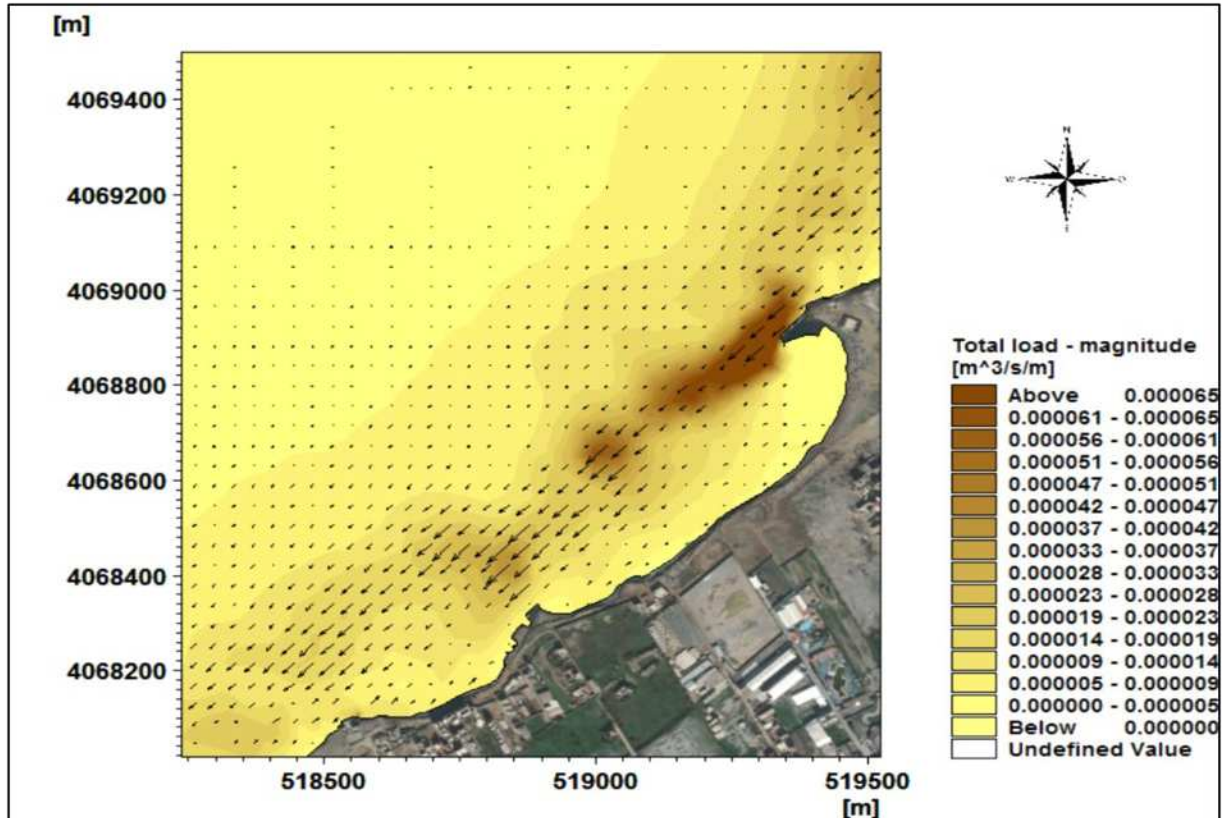


Figure II- 27: Carte de répartition du flux sédimentaire, MWD=345° ; H=2.67 ; T=8s (Réalisé à l'aide du logiciel Mike21).

Le transit sédimentaire dans la zone d'étude reflète l'activité hydrodynamique observée dans les champs des courants. Sur le plan Sédimentologique, on constate la présence de zone de couleur marron foncé à l'Est, traduisant des capacités de transport solide d'environ 715.4 m³/an/m.

En allant vers l'ouest et plus on s'éloigne de cette zone qui connaît une forte agitation hydrodynamique, la capacité du transport diminue graduellement suivant les vitesses de courants jusqu'à atteint une capacité moyenne de l'ordre de 2177.3m³/an/m.

II.6.2 Action des houles de direction Nord-Ouest (315N°)

II.6.3.1 Réfraction de la houle (Spectral Wave,SW)

La propagation de la houle (**Figure II-35**) se traduit à l'approche du rivage par une modification de ces paramètres à savoir une diminution de la hauteur de la houle et une déviation de l'angle d'incidence (phénomène de réfraction).

Le paramètre H_s représente la hauteur de la houle en mètre qui varie globalement entre 0.11 et 2.27m au niveau du site, les vecteurs représentent 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 :

A l'est la hauteur H_s est entre 0.11 et 1 m et entre 0.47 et 1.55 à l'ouest, elle est donc beaucoup prononcée à l'ouest qu'à l'est, il faut noter que la zone entourée en rouge est la plus exposée à l'énergie frontale, la houle arrive à la cote avec une hauteur de 0.47 à 0.65 m.

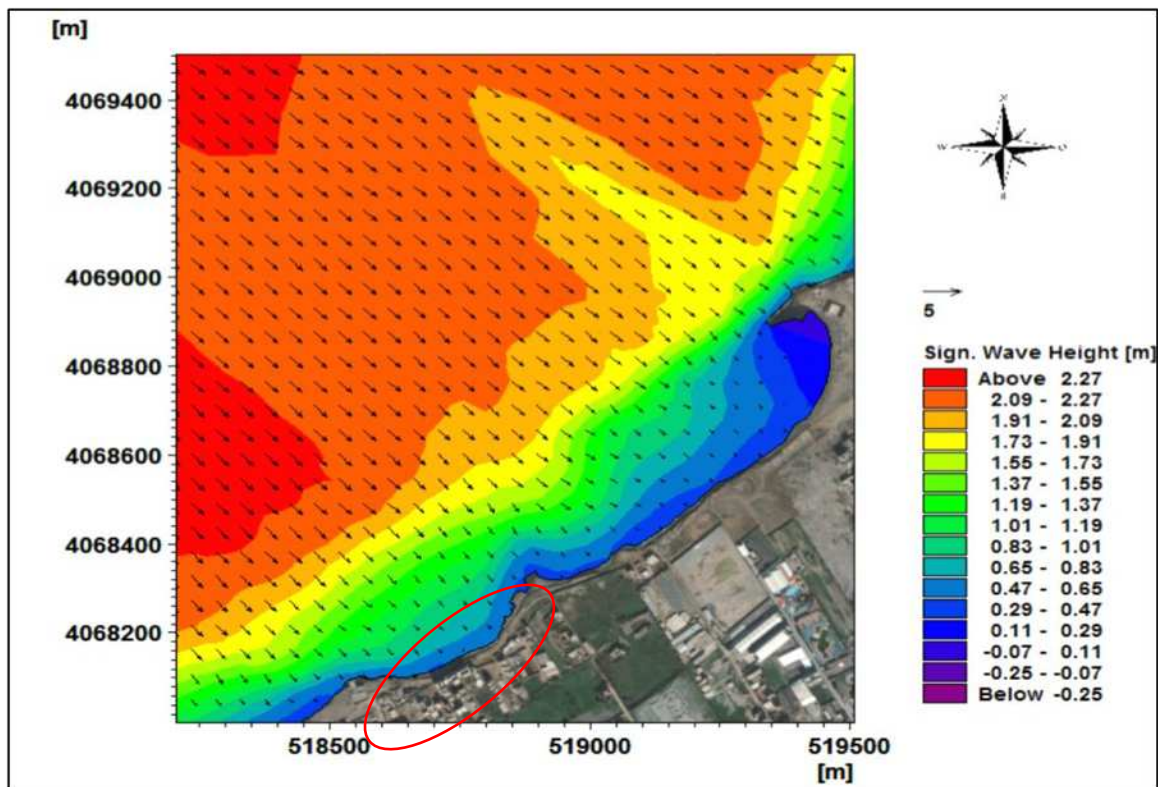


Figure II- 28 : Carte de répartition du champ de réfraction de la houle, MWD=315° ; H=2.64 ; T=8s (Réalisé à l'aide du logiciel Mike21).

Les résultats numériques sont présentés dans la figure et le tableau ci-dessous :

Tableau II- 6 : Résultat numérique de la réfraction de la houle MWD=315° ; H=2.64 ; T=8s

Points	Profondeur m	Hs	Kr	Angle d'incidence
2	-2m	1.45	0.55	320
8	-5m	1.89	0.71	315
10	-8m	2.30	0.87	316
15	-10m	2.20	0.83	316

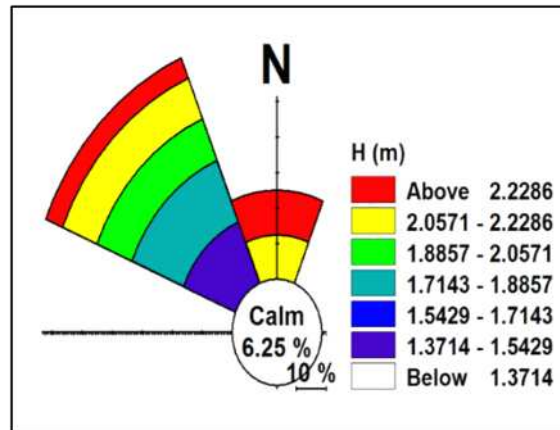


Figure II-29 : Rose des houles N315 à la cote

II.6.3.2 Courantologie (Hydrodynamic, HD)

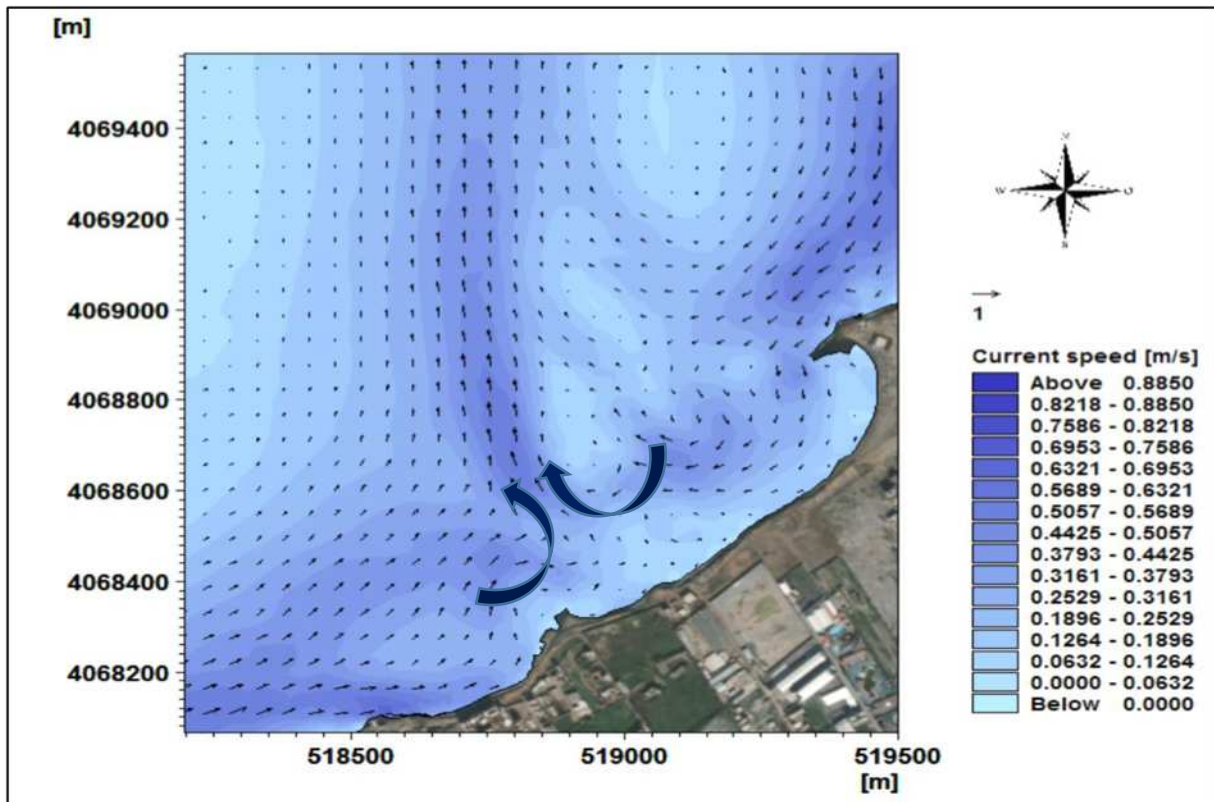


Figure II- 30 : Carte de répartition du champ des courants, MWD=315° ; H=2.67 ; T=8s (Réalisé à l'aide du logiciel Mike21).

D'après cette figure II.34, on observe que les champs des courants montrent 3 principaux courants littoraux, le premier est de direction Nord est avec un gradient de vitesse atteint un maximum 0.9 m/s à

l'est, une partie de ce dernier se converge avec le deuxième courant qui est de direction Ouest est plus virulent il atteint une vitesse maximale près de la cote à l'ouest de l'ordre de 0.82 m/s pour créer un troisième courant qui prendra la direction nord caractérisé par la vitesses moyennes varient entre 0.6 et 0.7 m/s, Ces courants sont capables de transporter des quantités importante de sable vers le large. Une autre partie se difracte au contact avec la partie rocheuse au niveau de la zone centre avec une vitesse plus en moins importante de l'ordre de 0.35 m/s.

II.6.3.3 Transport sédimentaire (Sand Transport, ST)

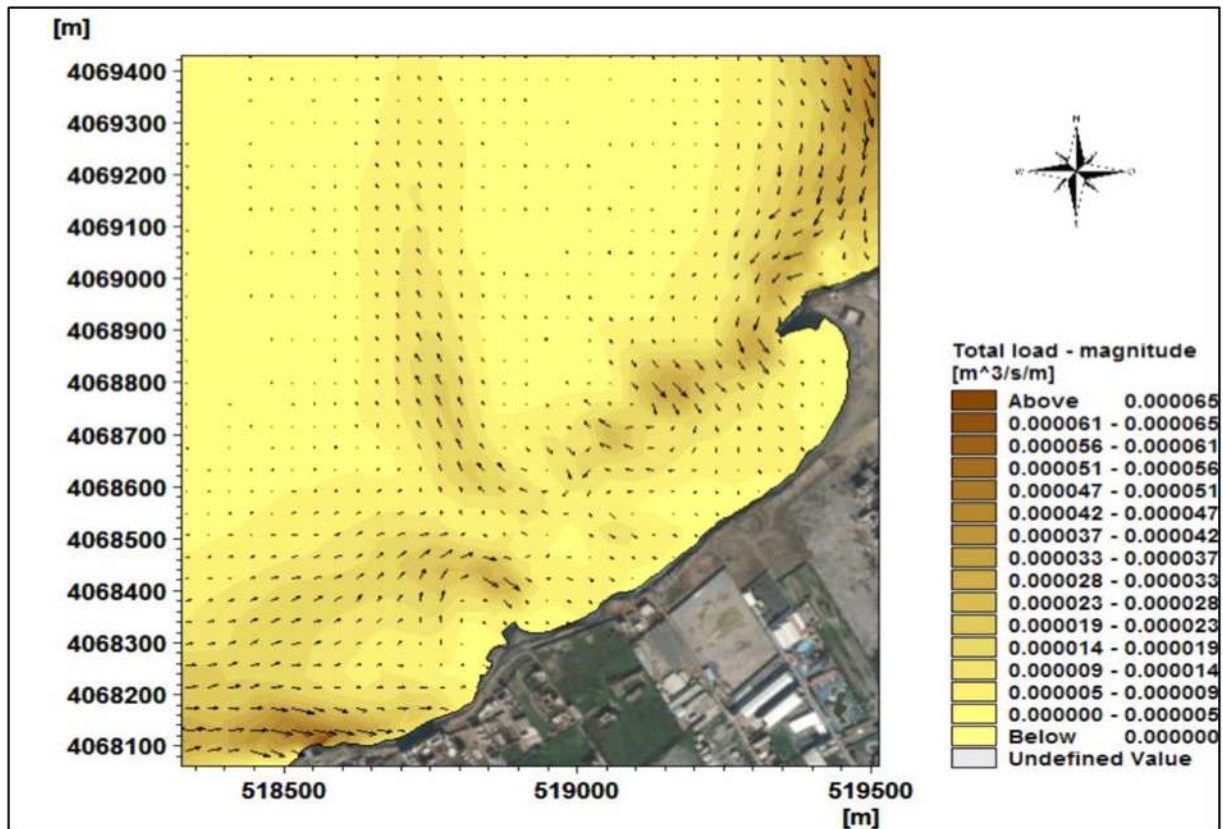


Figure II- 31 : Carte de répartition du flux sédimentaire, MWD=315° ; H=2.67 ; T=8s (Réalisé à l'aide du logiciel Mike21).

Le transit sédimentaire dans la zone d'étude reflète l'activité hydrodynamique observée dans les champs des courants. Sur le plan Sédimentologique, le graduant de couleur du marron jusqu'au jaune ainsi que les vectrices vitesses, traduisant des capacités de transport solide du plus important vers le moins important.

Le mouvement des particules solide va suivre le mouvement des champs de courant qui est un mouvement de convergence, une capacité de transport suivant les vitesses de courants de direction nord-est de l'ordre de 1866.2 $m^3/an/m$.

On note aussi une capacité de transport de direction ouest de l'ordre de 1555.2 $m^3/an/m$ qui va alimenter la plage du centre derrière la partie rocheuse après la diffraction du champ de courant.

Une capacité de transport de l'ordre de 715.4 $m^3/an/m$ va suivre la direction nord, c'est-à-dire y'aura une perte assez importante de sédiments vers le large.

CHAPITRE III

Etude d'aménagement

CHAPITRE V : ETUDE D'AMENAGEMENT

I. Introduction

La zone d'étude est en état d'érosion, compte tenu des études démontrées auparavant. Une étude d'aménagement alors s'impose, elle doit être cependant conduite avec rigueur afin d'obtenir la meilleure synthèse possible pour notre site.

II. Les solutions de protection

Parmi les solutions de protection, on a opté pour une promenade tout le long de la cote avec une protection frontale (digue à talus en enrochements), un épi en arc et une protection de haut de plage qui protègent la plage Est, et une plage artificielle protégée par un épi en arc.

II.1 Promenade avec une digue à talus en enrochement

II.1.1 Calcul de la houle de projet

Le calcul de la houle de projet s'est effectué à l'aide du logiciel MIKE 21-SW, avec l'extraction des points au pied de l'ouvrage considéré, la houle choisie est la houle la plus défavorable avec une hauteur plus grande est une direction frontale (N345), pour une période de retour cinquantennale la houle de projet prise est de 2m à une profondeur de (-2m).

Les étapes et résultats de la réfraction sont mentionnés dans le chapitre précédent (**Chapitre II**) et dans **l'Annexe II**.

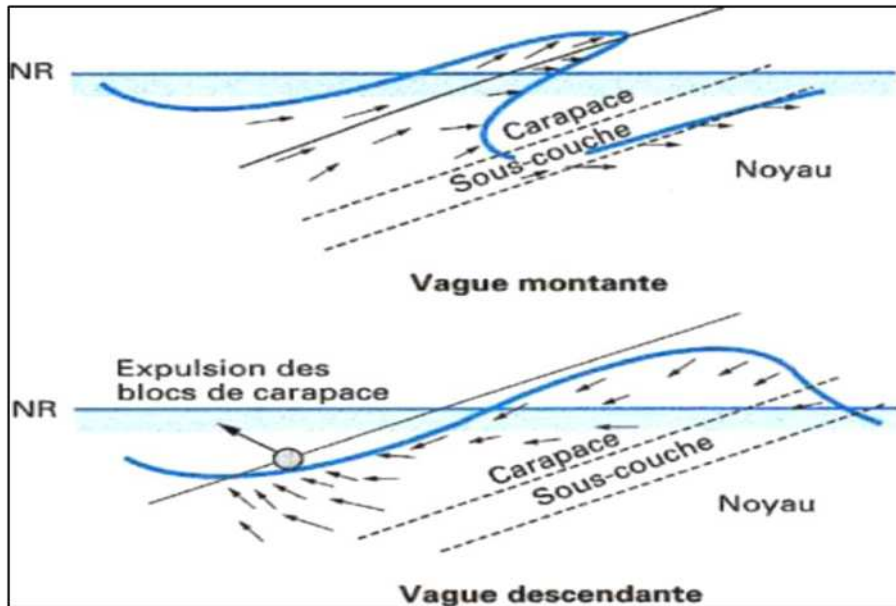


Figure III- 1 : Action de la houle sur une digue à talus

II.1.2 Dimensionnement et conception

A) Conception de la carapace

En utilisant la formule d'Hudson, l'application numérique a donné les résultats suivants :

$$W = \frac{\rho_s H^3}{K_D \left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 \right)^3 \cot \alpha} \dots\dots\dots(1)$$

ρ_s : la densité du matériau ρ_w : densité de l'eau

H_s : la hauteur caractéristique de la houle

K_D : le coefficient de stabilité d'Hudson

α : pente du talus

En prenant :

Tableau III- 1 : Paramètre pour le dimensionnement de la stabilité de carapace

Paramètre	Hs	cota	K _D	ρ _s	ρ _w
valeurs	2	3/2	4	2.65	1.025

D'après la formule d'Hudson : W= 2.02 t

La catégorie poids des blocs à retenir est de [1-3t]

$$0.75*W < W < 1.25*W \rightarrow 1.5 < W < 2.5$$

- L'épaisseur de la carapace et des sous-couches est estimée par la formule suivante (SGH, 1973) :

$$e = n * c * v^{1/3} \dots\dots\dots (2)$$

Avec : n : nombre de rangées.
 C : coefficient de couche dépendant de la forme des blocs.
 C (enrochement)=1.15.
 V : volume du bloc.

AN : $e = 2*1.15*(2.02/2.65)^{1/3} = 2.10 \text{ m}$

Détermination de la largeur de la berme : La largeur de la berme est déterminée par la formule :

$$B = n.K_D (w/\gamma_s)^{1/3} \dots\dots\dots (3)$$

AN : B = 6 m

B) Conception du premier filtre et du noyau

Le noyau réalisé avec des éléments de petite taille ne peut en général pas résister à la houle venant frapper l'ouvrage. Il devra être défendu par une carapace dont les éléments peuvent atteindre plusieurs dizaines de tonnes. Entre les deux, il est nécessaire de disposer des éléments de transition : la ou les sous-couches qui ont un rôle multiple.

Le noyau est constitué généralement de sédiments du Tous venant Carrière (TVC) de diamètre moyen compris entre [0 – 500 kg].

Le premier rôle que doivent assurer les sous-couches est un rôle de filtre granulométrique permettant de retenir les matériaux les plus fins. On pourra à cet effet vérifier que les règles énoncées par

Terzaghi sont bien respectées. Si :

F est le filtre ;

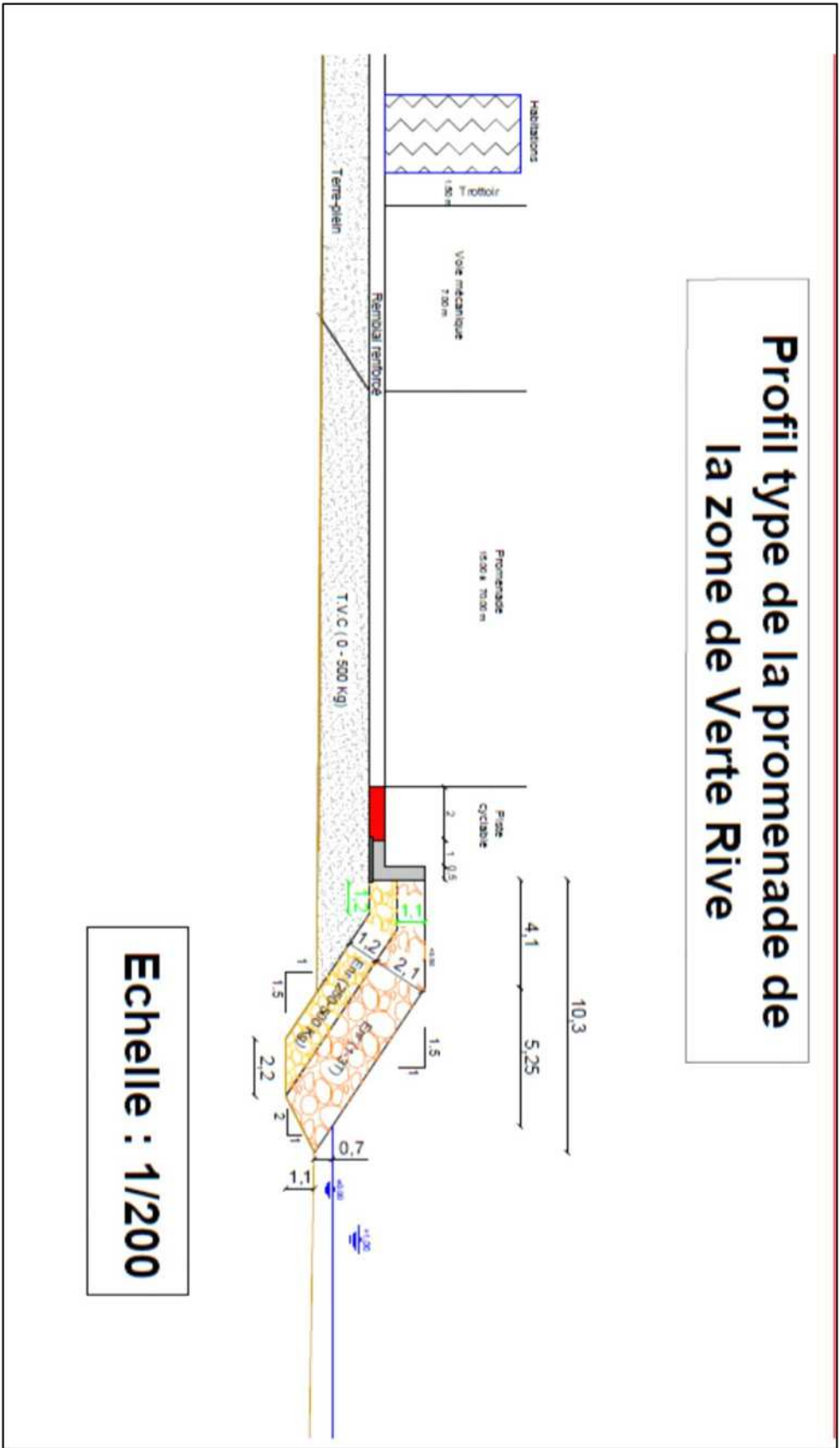
B le matériau à protéger ;

Dx la dimension du tamis pour lequel on observe x % de passant,

Les règles de Terzaghi établies pour des matériaux de faible dimension (sables, graviers ou cailloux) sont :

$$\begin{aligned} D_{15}(F) &\leq 5D_{85}(B) \\ D_{50}(F) &\leq 25D_{50}(B) \quad \dots\dots\dots(4) \\ 4 &< \frac{D_{15}(F)}{D_{15}(B)} < 20 \end{aligned}$$

Profil type de la promenade de la zone de Verte Rive



Echelle : 1/200

Profil type de la protection en enrochement de la zone de Verte Rive

II.2 Protection de haut de plage

Les aménagements présents en haut de plage sont très variés dans leurs formes et leur mode de construction. Ils visent en général à stabiliser le trait de côte, à valoriser un terrain notamment en le nivelant et en le remblayant, et à délimiter une propriété.

De plus, dans le cas de l'occurrence d'un évènement fort à extrême, la destruction au moins partielle de ces ouvrages n'est pas à exclure surexposant alors l'enjeu à l'aléa. Ce type d'aménagement contribue donc fortement diminuer la résilience du littoral face aux processus d'érosion et indirectement à favoriser les constructions d'enjeux dans des zones d'aléa.

II.2.1 Calcul de Run-Up

Le Run-Up de la houle est défini comme le niveau maximal que l'eau atteint sur le talus d'un ouvrage ou sur une pente de la plage du fait de l'action de la houle. L'estimation de Run-Up, peut reposer sur des modèles physiques, ou sur des modèles numériques.

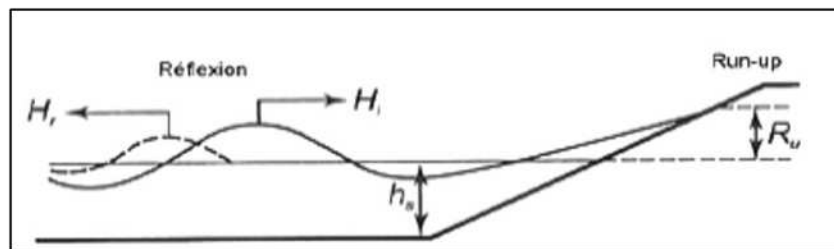


Figure III- 2 : Interactions hydrauliques liées à la houle et paramètres dimensionnant (CETMEF, 2009)

Il est calculé par cette formule :

$$\frac{R_{U2\%}}{H_s} = A\zeta + B \dots\dots\dots(5)$$

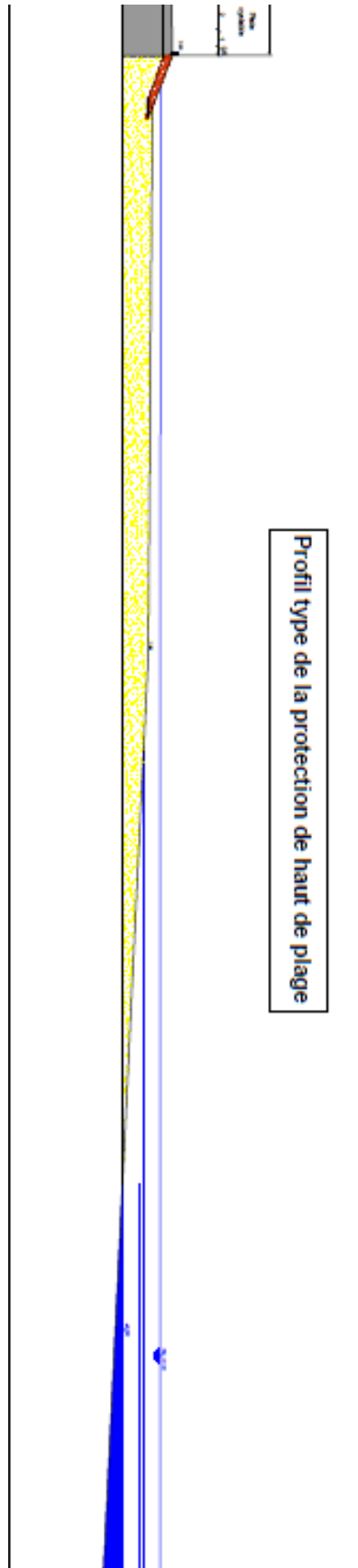
Tableau III- 2 : les constantes A et B en fonction du paramètre de déferlement

	ζ_p	A	B
Ahrens (1981)	$\zeta_p < 2.5$	1.6	0
	$\zeta_p > 2.5$	-0.2	4.5
Allsop et al. (1985)	$2.8 < \zeta_p < 6$	-0.21	3.39

Le paramètre de déferlement ζ : est le paramètre le plus utile pour décrire l'action de la houle sur un talus, ainsi que certains de ses effets, également connu sous le nom de nombre d'Iribarren, le paramètre de déferlement a souvent été utilisé pour décrire la forme de la houle qui déferle sur une plage ou sur un ouvrage, il est calculé par la formule suivante :

$$\zeta = \text{tanga} / \sqrt{S_0} \quad \text{avec } S_0 = H/L_0 = 2\pi h/gT^2$$

Profil type de la protection de haut de plage de la Zone de Verte Rive



Profil type de la protection de haut de plage

En prenant : $T = 8s$ $H = 0.2$ (la hauteur de la houle cinquantennale réfractée près de la plage, issu des résultats de réfraction, MIKE21).

$$AN : S_0 = (0.2+1)*\pi/9.81*8^2 = 6.10^{-3}$$

$$\zeta = \tan^3 \alpha / 0.077 = 0.68$$

$$\zeta < 2.5 \rightarrow A = 1.6 \text{ et } B = 0$$

$$\text{Donc : } Ru_{2\%}/H = 1.6 * 0.68 = 1.09$$

$$Ru_{2\%} = 1.09 * 1.2 = 1.31m \text{ (plus 1m au-dessus du niveau 0)}$$

Le Run-Up est de 2.31m.

II.2 Plage artificielle avec un épi en arc

Elle comporte un épi en arc et une plage artificielle

II.2.1 Epi en arc

Les ouvrages perpendiculaires au rivage, généralement appelés épis, ont pour fonction de réduire, voire d'interrompre, le transit hydro-sédimentaire. Les épis les plus courts n'agissent que sur le transport par jet de rive, tandis que les plus longs agissent également sur le transport par courant littoral s'ils barrent la zone de déferlement.

Les épis n'agissent que sur les déplacements fluides et solides longitudinaux par rapport au trait de côte. Ils ne sauraient donc s'opposer aux actions érosives des courants de retours ou des courants sagittaux qui opèrent dans la section verticale normale au trait de côte.

Ainsi, ces ouvrages en forme d'arc peuvent constituer une solution adéquate pour notre site d'étude, de plus le fait qu'il existe un saillant à l'Est de la plage qui constitue une sorte d'obstacle naturel, ainsi il fonctionnera comme un épi et aidera ainsi à préserver le sable mis en place.

Le dimensionnement de la section des différentes parties d'un épi en arc implique une combinaison des concepts abordés ci-dessus.

II.2.1.1 Calcul de la houle de projet

Le calcul de la houle de projet s'est effectué à l'aide du logiciel MIKE 21-SW, avec l'extraction des points au pied de l'ouvrage considéré, la houle choisie est la houle la plus défavorable avec une hauteur plus grande est une direction frontale (N345), pour une période de retour cinquantennale la houle de projet prise est de 2.10m à une profondeur de (-3m).

II.2.1.2 Dimensionnement et conception

A) Conception de la carapace

En utilisant la formule d'Hudson, l'application numérique a donné les résultats suivants :

$$W = \frac{\rho_s H^3}{K_D \left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 \right)^3 \cot \alpha} \dots\dots\dots(6)$$

ρ_s : la densité du matériau ρ_w : densité de l'eau

H_s : la hauteur caractéristique de la houle

K_D : le coefficient de stabilité d'Hudson

α : pente du talus

En prenant :

Hs=2.10m ; $\cot\alpha=3/2$ $K_D=3.5$;

Tableau III- 3: paramètres de dimensionnement de l'épi en arc

Paramètre	Hs	cota	K_D	ρ_s	ρ_w
valeurs	2	3/2	4	2.65	1.025

D'après la formule d'Hudson : $W= 2.34t \rightarrow$ la catégorie poids des blocs à retenir est $W= (1-3t)$

- L'épaisseur de la carapace et des sous-couches est estimée par la formule suivante (SGH, 1973) :

$$e = n * c * v^{1/3} \dots\dots\dots(7)$$

Avec : n : nombre de rangées.

C : coefficient de couche dépendant de la forme des blocs.

C (enrochement)=1.15.

V : volume du bloc.

$$AN : e = 2*1.15*$$

$$e = 2.21 \text{ m}$$

A) Conception du premier filtre et du noyau

Le noyau est constitué généralement de sédiments du Tous venant Carrière (TVC) de diamètre moyen compris entre [0 – 500 kg].

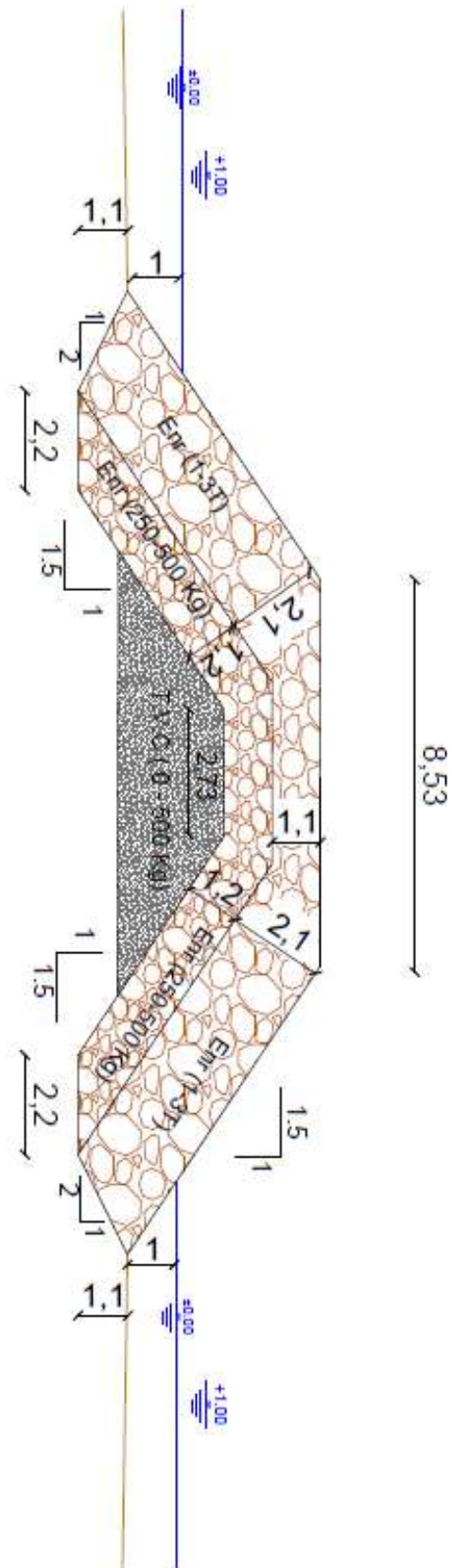
B) Conception du musoir et de la partie coude

Le musoir protège l'ouvrage des houles frontales et le coude le protège des houles obliques, leurs stabilités peut être vérifiées par la formule de Hudson, et un K_D égal à 2,5 ; les calculs obtenus pour les paramètres structuraux sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau III- 4 : paramètres structuraux de l'ouvrage

Partie de l'ouvrage	Symbole	Résultats
Carapace	W_{carapace} Epaisseur (E)	Catégorie 1 – 3 t
Le premier filtre et noyau	W_{filtre} Epaisseur (E)	
La largeur en crête	$B=4 *H_s$ $B=4*2.10$	$B = 8.4 \text{ m}$

Profil type de l'épi en arc de la zone de Verte rive



Echelle : 1/130

Profil type de l'épi en arc de la zone de Verte Rive

II.2.2 Une plage artificielle

Comme son nom l'indique, la plage artificielle comporte un terre-plein sableux gagné sur la mer, dans une zone où il n'existe pas naturellement, il est bordé par une bande où les fonds sableux décroissent progressivement jusqu'à environ 3 m.

Pourtant, la vraie plage artificielle est relativement étroite par rapport à la surface hors d'eau. Il faut savoir que seulement 10% des « plagistes » sont en général dans l'eau ; cette frange est donc suffisante.

- Le dimensionnement des plages hors d'eau est à faire sur une base de 8 m² par baigneur pour les plages de luxe, à 5 m² pour les plages urbaines. On peut observer environ 1.5 personnes/m² en haut des plages à pleine mer.
- Les matériaux nobles (sable ou gravillons) sont à utiliser jusqu'à -3m. on choisira un gravillon qui s'émousse rapidement en mer (3-8mm) lors de sa mixture avec le sable de couverture. La granulométrie doit être serrée pour éviter de donner un aspect moucheté à la plage.
- Les baigneurs ne doivent pas pouvoir entrer involontairement en contact avec le soubassement de la plage, mais seulement avec le lit de sable. Ils doivent donc perdre pied avant d'arriver à l'extrémité du lit de sable qui se trouve à la hauteur h_m au-dessous de la plus basse mer. $h_m > 1.5m$.

Pour éviter toute inondation, notamment en hiver, les installations en haute de plage doivent être au moins à 1.5m au-dessus de la cote haut de la plage et avec la surélévation actuelle de la mer on prendra une précaution avec une cote à +2m.

Enfin la mer remaniant sans cesse le sable de la plage, il faut prévoir un coefficient de sécurité de 1.5 sur le volume de sable à apporter par rapport à celui prévu sur la plage.

Les plages sans ouvrage de pied sont les plus simples et les plus économiques à réaliser.

Elles peuvent être envisagées lorsque les fonds naturels ne descendent pas trop rapidement, et qu'un soubassement stable peut être édifié avec des matériaux de faible granulométrie.

Dans la zone de Verte Rive la pente des fonds est relativement faible, elle est de l'ordre de 1.2 à 2% sur toute la cote

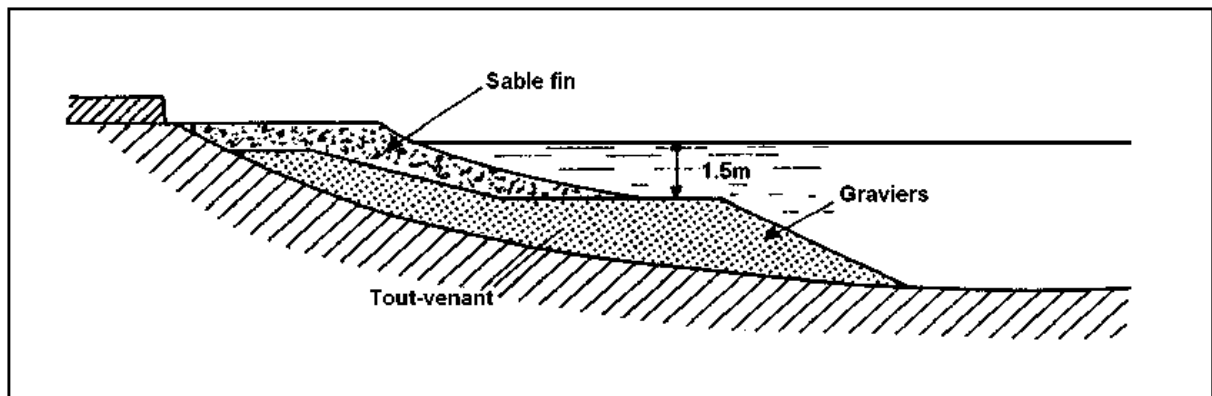


Figure III- 3 : Plage sans ouvrage de pied : La Croisette à Cannes (d'après R. Bonnefille).

Un lit de graviers est mis en place avec des moyens terrestres (bulldozer). Son toit se situe aux environs de 1.5 mètre au-dessous des plus basses mers. Il est ensuite recouvert, en haut de plage et dans la zone intertidale, d'un lit de sable plus ou moins fin en fonction des conditions d'équilibre imposées par l'énergie des lames.

II.2.2.1 Dimensionnement de la plage artificielle

Pour que les plages artificielles puissent répondre à l'attente des touristes, il convient de leur donner des dimensions minimales qui assurent un minimum de confort.

La largeur L_m de la plage au-dessus des plus hautes eaux doit avoir une largeur minimale qui lui permettra d'assurer son rôle de protection de l'arrière plage contre les effets de la houle

$$L_m > 15 \text{ à } 20 \text{ m}$$

Les baigneurs ne doivent pas pouvoir entrer involontairement en contact avec le soubassement de la plage, mais seulement avec le lit de sable. Ils doivent donc perdre pied avant d'arriver à l'extrémité du lit de sable qui se trouve à la hauteur h_m au-dessous de la plus basse mer.

$$h_m > 1.5 \text{ m}$$

Enfin la surface S de la plage émergente doit permettre d'accueillir le nombre N de touristes prévu :

$$S > N s$$

Avec une surface individuelle minimale s comprise entre 5 et 6 m² par personne en zone urbaine et de l'ordre de 8 m² à l'extérieur des agglomérations.

A partir de l'abaque en **Annexe III-2** on peut tirer la pente de la plage en fonction du diamètre moyen de la plage artificielle.

Les dimensions de la plage artificielle sont mesurées à partir d'AutoCad, après avoir sélectionné la surface désiré. Un profil type est tracé pour pouvoir mesurer sa surface cette surface sera multiplier fois la largeur de la plage (un linéaire), ces dimensions sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau III- 5 : caractéristiques de la plage artificielle

Linéaire de la plage	135.5 m
Surface du profil	2643 m ²
La pente de la plage	4%
Le volume de la plage	358126.5m ³

II.2.2.1 Rechargement de la plage

Les quantités de matériaux à mettre en place sur une plage par rapport au volume minimum nécessaire pour l'établir sont déterminées en fonction de différents paramètres.

Comme le sable naturel (indice n), le sable de rechargement (indice r) subit, de la part de la mer, un tri granulométrique. Ses fractions plus fines, comme ses fractions plus grossières que celle du sédiment naturel subissent des pertes importantes. Le rapport R_s entre la quantité de matériau naturel et celle du matériau de rechargement dépend du diamètre moyen des grains et de l'écart type de la distribution granulométrique de chacun des sables.

Il apparaît toutefois, d'après les études réalisées par Dean puis par James, que la fraction du sable de rechargement plus grossière que le sable naturel reste en place plus ou moins totalement. Ce phénomène reste valable pour des matériaux plus grossiers comme les graviers et les galets. Le **tableau III-6** met en évidence les différentes configurations possibles. Il montre qu'il faut toujours éviter des rechargements avec des matériaux plus fins que les matériaux naturellement en équilibre sur le site, que ce soit du sable, des graviers ou des galets.

Tableau III- 6 : configuration de la fraction du sable de rechargement

	Matériau de rechargement mieux trié que le naturel	Matériau de rechargement moins bien trié que le naturel
Matériau de rechargement plus fin que le naturel	Distributions non assorties. Pertes importantes à attendre	Volume à mettre en place donné par le calcul de R_s
Matériau de rechargement plus gros que le naturel	Distributions non assorties. Rechargement stable.	Volume à mettre en place plus faible que celui calculé

On établit la granulométrie des sédiments à ramener au niveau du site de la plage de Verte Rive grâce aux choix effectués sur la base d'abaque de **Wiegel (Annexe III-1)** qui nous a permis de donner suivant l'exposition de la plage la granulométrie et la pente de stabilité requise.

II.2.2.2 Caractéristique granulométrique

Tableau III- 7 : caractéristiques des sédiments in situ et d'emprunt

	Emprunt	In situ
Le diamètre D₁₆	0.160	0.170
Le diamètre D₈₄	1.6	0.315
Φ₁₆	2.64	2.56
Φ₈₄	-0.68	1.67
Médiane MΦ	0.98	4.23
Ecart type	-1.74	-0.89

Détermination du volume de sédiments d'apport pour reconstituer 1m³ de plage

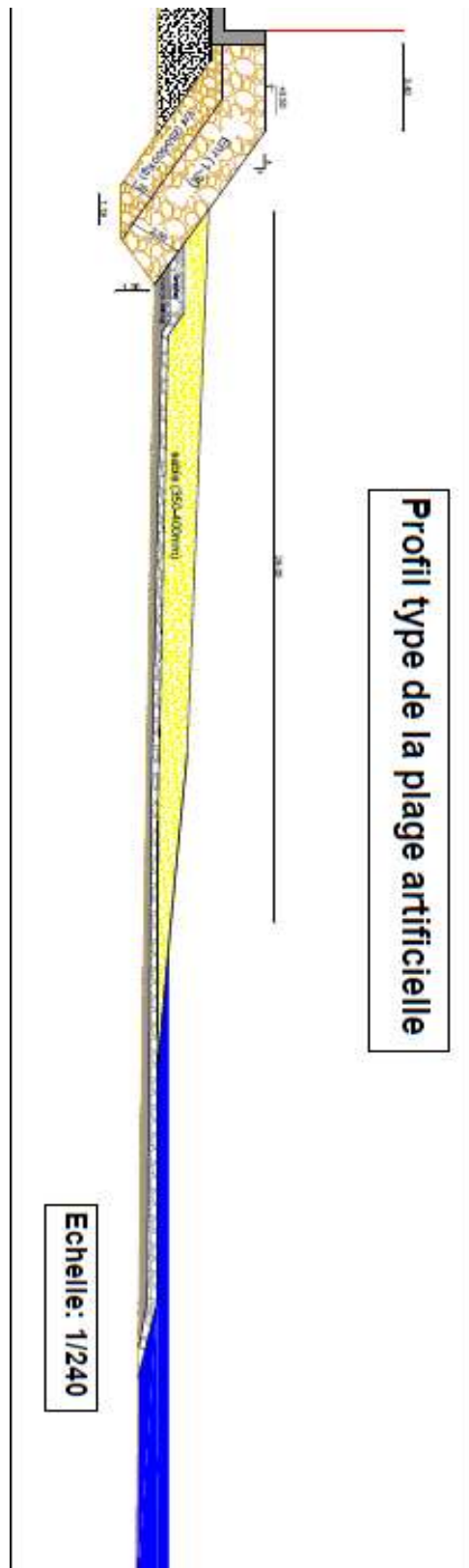
$$R_s = \frac{\sigma_{\phi r}}{\sigma_{\phi n}} \exp\left(-\frac{M_{\phi n} - M_{\phi r}}{2(\sigma_{\phi n} - \sigma_{\phi r})}\right) \dots\dots\dots(8)$$

$$R_s = -174/(-0.89) \exp(4.24-0.98)/2*(-0.89+1.74)$$

$$R_s = 0.29 \text{ m}^3$$

Le volume a rechargé V_r est de : V_r= V *R_s = 0.29 * 358126.5

$$V_r = 103856.685 \text{ m}^3$$



Profil type de la plage artificielle de la zone de Verte Rive

CHAPITRE IV

Modélisation de la solution d'aménagement

CHAPITRE IV : MODELISATION DE LA SOLUTION D'AMENAGEMENT

Introduction

Les ouvrages et les aménagements maritimes sont généralement très coûteux, il est donc nécessaire, avant de les réaliser, de bien prévoir leur fonctionnement (**Viguié, 1992**).

Ainsi, lors de la mise au point du projet, il faut :

- ✓ S'assurer de l'atteinte des objectifs visés ;
- ✓ S'assurer de la résistance des ouvrages aux actions de la mer ;
- ✓ Prévision des risques, définir les impacts sur les fonds et littoraux avoisinants et proposer des mesures compensatoires si besoin, c'est-à-dire savoir concilier entre l'aspect économique, technique et environnemental.

La conciliation entre tous ces paramètres étant très complexes, des outils ont été développés pour maîtriser les processus hydrodynamiques et sédimentologies pour pouvoir mieux étudier la conception et les impacts des aménagements maritimes. La modélisation constitue l'essentiel de ces outils.

Dans ce chapitre on va se consacrer sur l'évaluation de notre aménagement en utilisant les outils de la modélisation, que ce soit physique ou numérique.

Dans la première partie on a utilisé la modélisation numérique hydrodynamique de la zone de Verte Rive à l'aide du logiciel **MIKE 21**, afin d'observer tous les paramètres hydrodynamiques et bien prévoir le fonctionnement de l'aménagement proposé.

La deuxième partie consiste à développer la modélisation physique à 2 dimensions dans un canal à houle au Laboratoire Des Etudes Maritimes (**LEM**), pour étudier la stabilité de l'ouvrage.



PARTIE I

Modélisation numérique

PARTIE I : MODELISATION NUMERIQUE

I. Modélisation de la dynamique hydrosédimentaire

La modélisation numérique consiste à suivre le comportement des paramètres physiques tel que la hauteur de houle à la coté le phénomène de réfraction, le courant le et le transport sédimentaire avec le nouveau aménagement proposé. Ce dernier ne doit pas poser problème d'instabilité ni d'avoir une conséquence sur le transport sédimentaire et causé le phénomène d'érosion.

I.1 Création du maillage

Le model de la modélisation numérique de la zone de Verte Rive avec la solution d'aménagement est plus petit que le premier, c'est à dire les conditions au limites du Nord sont à – 10m de profondeur.

Le maillage est triangulaire avec un nombre de nœuds de 100000 nœuds. Les résultats sont présentés dans les figures ci-dessous :

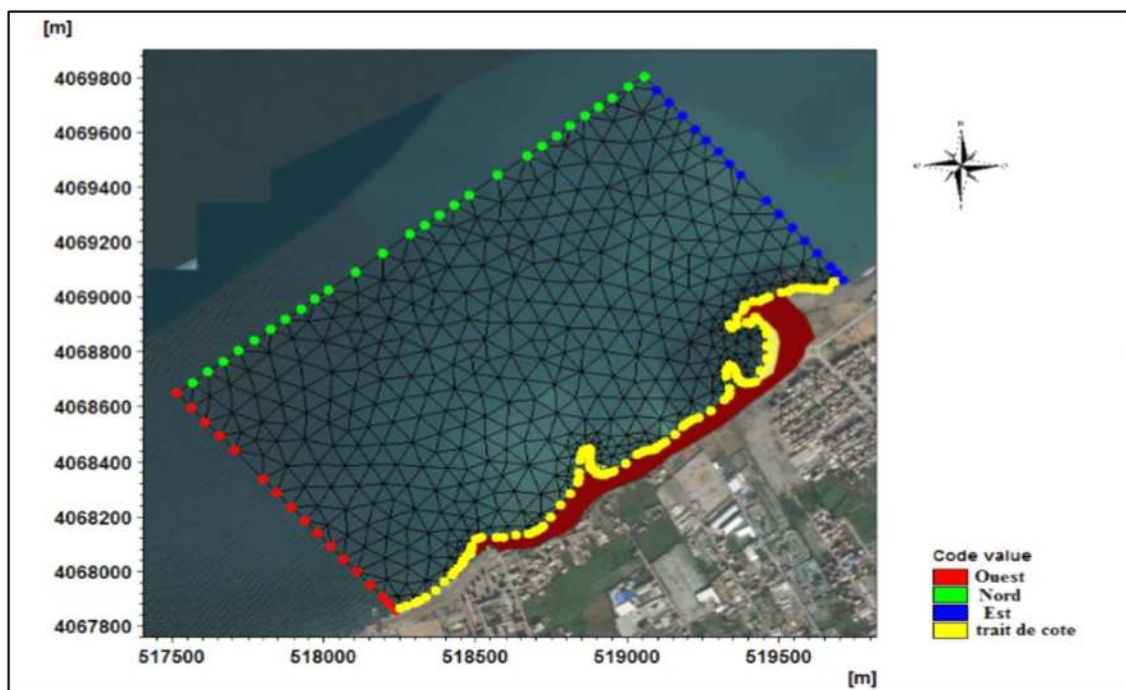


Figure IV- 1 : code limite du maillage de la zone de Verte Rive avec plan de masse

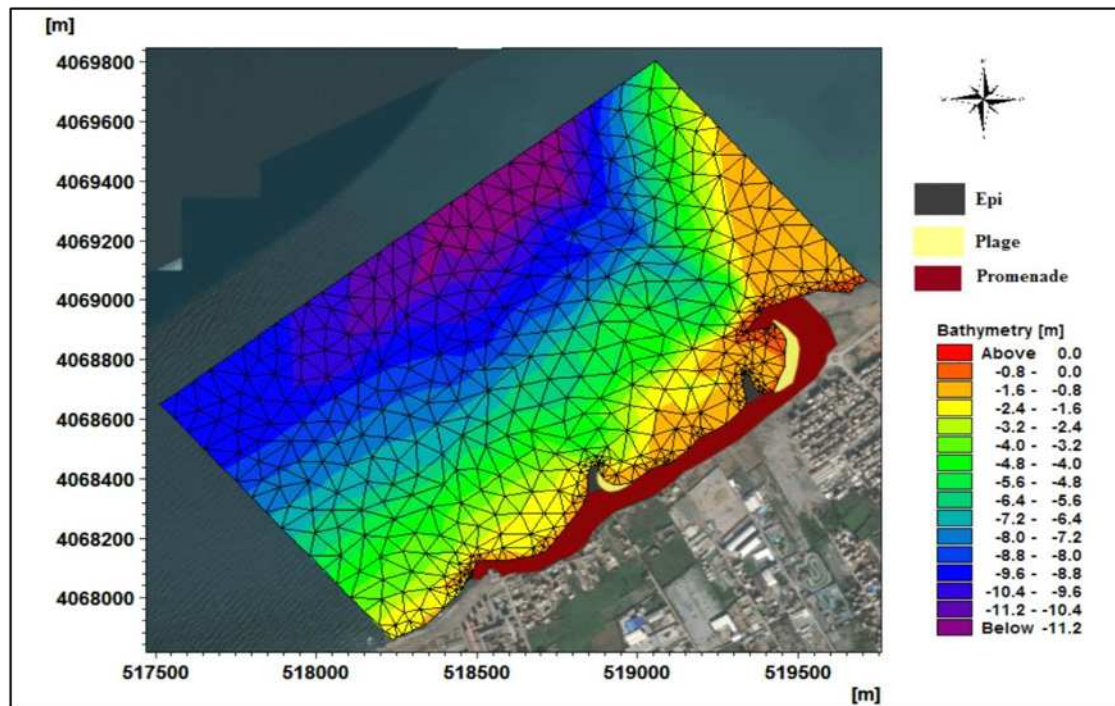


Figure IV- 2 : Mesh de la zone de Verte Rive avec plan de masse

I.2 Condition de houle

Les conditions de houle sont issue des résultats de réfraction de la houle à -10m de profondeur

Tableau IV- 1 : condition de houle à -10m de profondeur

	Hs	Tp
315	2.26	7.81
345	2.16	7.87
360	1.7	6.08
30	1.55	7.57

I.3 Résultats de simulation

I.3.1 Action des houles de direction (315°N)

I.3.1.1 Réfraction de la houle (Spectral Wave,SW)

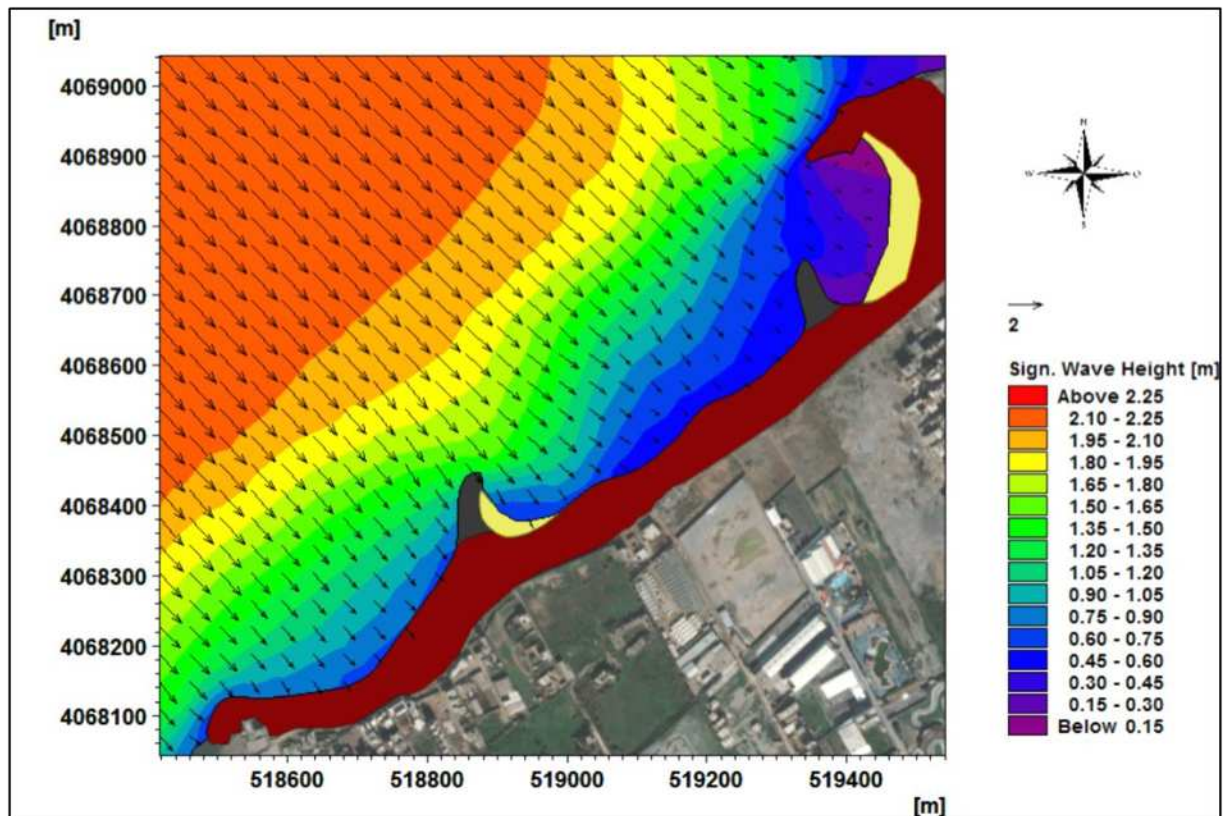


Figure IV- 3 : Carte de répartition du champ de réfraction de la houle, MWD=315° ; H=2.16 ; T=7.81s (Réalisé à l'aide du logiciel Mike21).

La propagation de la houle (**Figure IV-3**) se traduit à l'approche du rivage par une modification de ces paramètres à savoir une diminution de la hauteur de la houle et une déviation de l'angle d'incidence (phénomène de réfraction).

Le paramètre H_s représente la hauteur de la houle en mètre qui varie globalement entre 0.15 et 2.25m au niveau du site, les vecteurs représentent 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 :

Les deux épis favorise la naissance du phénomène de diffraction avec une petite déviation vers les plages (plage est et plage artificielle) le H_s varie entre 0.30 et 1.20 m pré de l'ouvrage.

A l'ouest l'ouvrage est plus exposé à l'énergie de la houle, la hauteur arrive avec une auteure de 1.2 m

I.3.1.2 Courantologie (Hydrodynamic, HD)

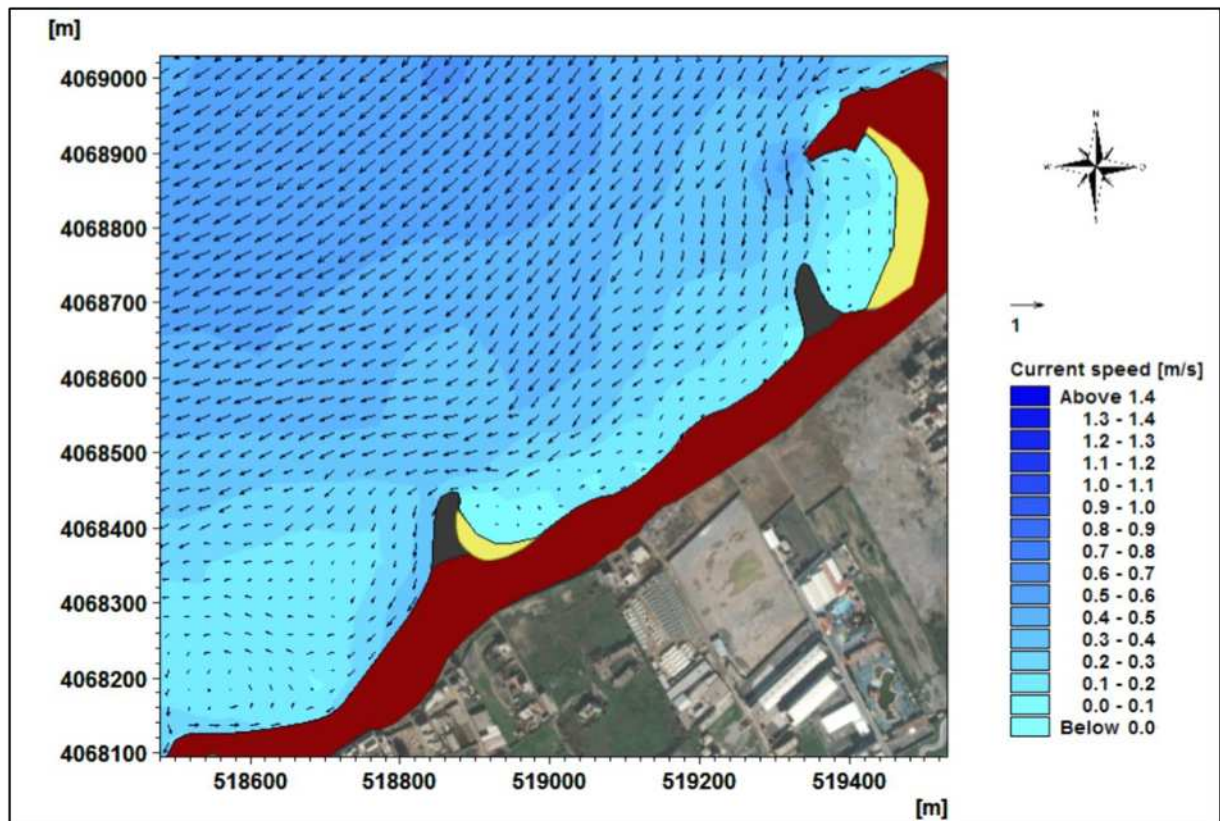


Figure IV-4 : Carte de répartition du champ de courant de la houle, MWD=315° ; H=2.16 ; T=7.81s (Réalisé à l'aide du logiciel Mike21).

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

Les courants littoraux induits par la houle (**Figure IV-4**) sont de direction Ouest et évoluent près du rivage en zone de déferlement avec une intensité importante qui varie entre 0.1 et 0.6 m/s au contact avec l'épi ouest de la plage artificielle, Il est également à noter la naissance d'un champ turbulence avec une intensité de 0.1 à 0.4m/s, ce qui est en faveur d'un affaiblissement des vitesses de courants, ainsi qu'une diffraction et une déviation des champs des courants vers le large.

I.3.1.3 Transport sédimentaire (Sand Transport, ST)

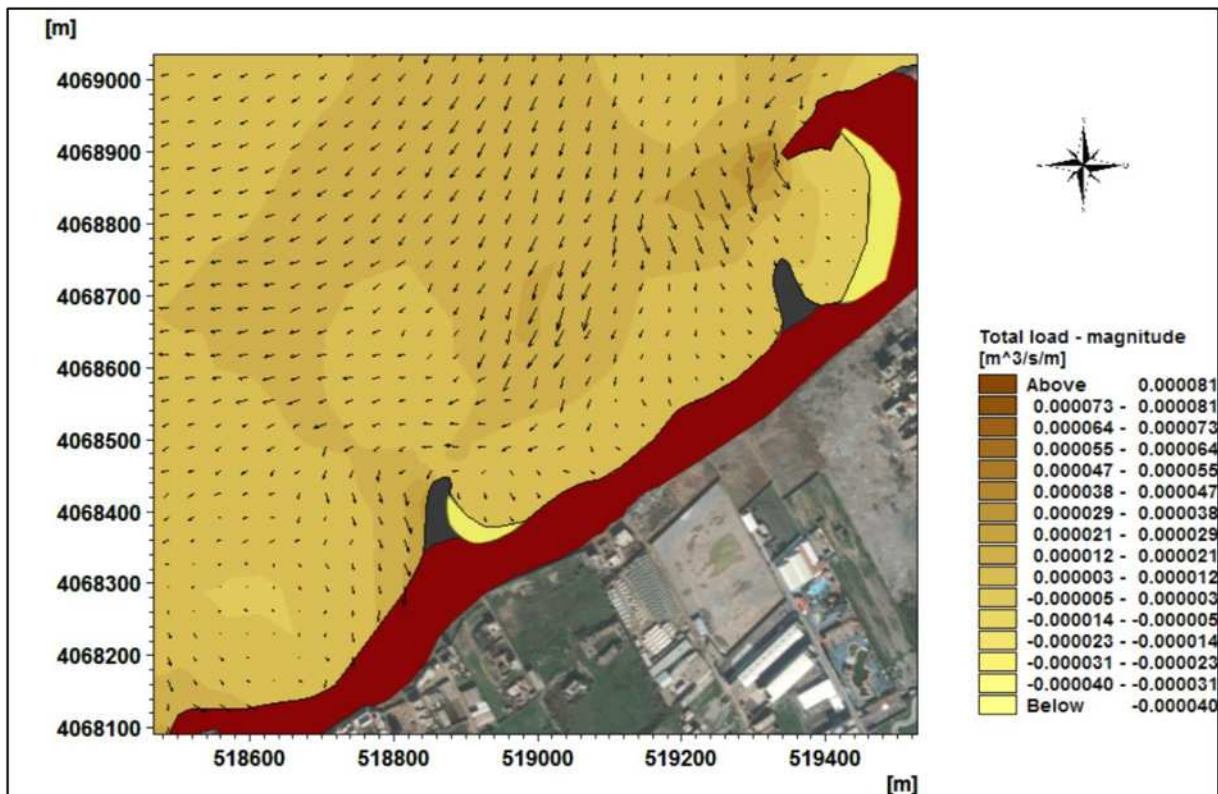


Figure IV-5 : Carte de répartition du flux sédimentaire, MWD=315° ; H=2.16 ; T=7.81s (Réalisé à l'aide du logiciel Mike21).

Sur le plan sédimentologique la capacité de transport solide exprimée en $m^3 / an / m$ (**Figure IV-5**) .La capacité du transport solide des courants caractérise le mouvement des particules sédimentaires non cohésives. Notamment, les résultats montrent que la zone littorale est sujette au transport sédimentaire, ce transport de secteur Nord et Nord-Est alimente les deux plages ; la plage est et la plage artificielle, des quantités importante se dépose en place. A l'ouest on constate une très faible capacité de transport de sédiment ce qui est en concordance avec l'hydrodynamique de la zone, le champ de turbulence des courants favorise la décantation et le dépôt des quantités importante de sable.

I.3.2 Action des houles de direction Nord-Ouest (345N°)

I.3.2.1 Réfraction de la houle (Spectral Wave,SW)

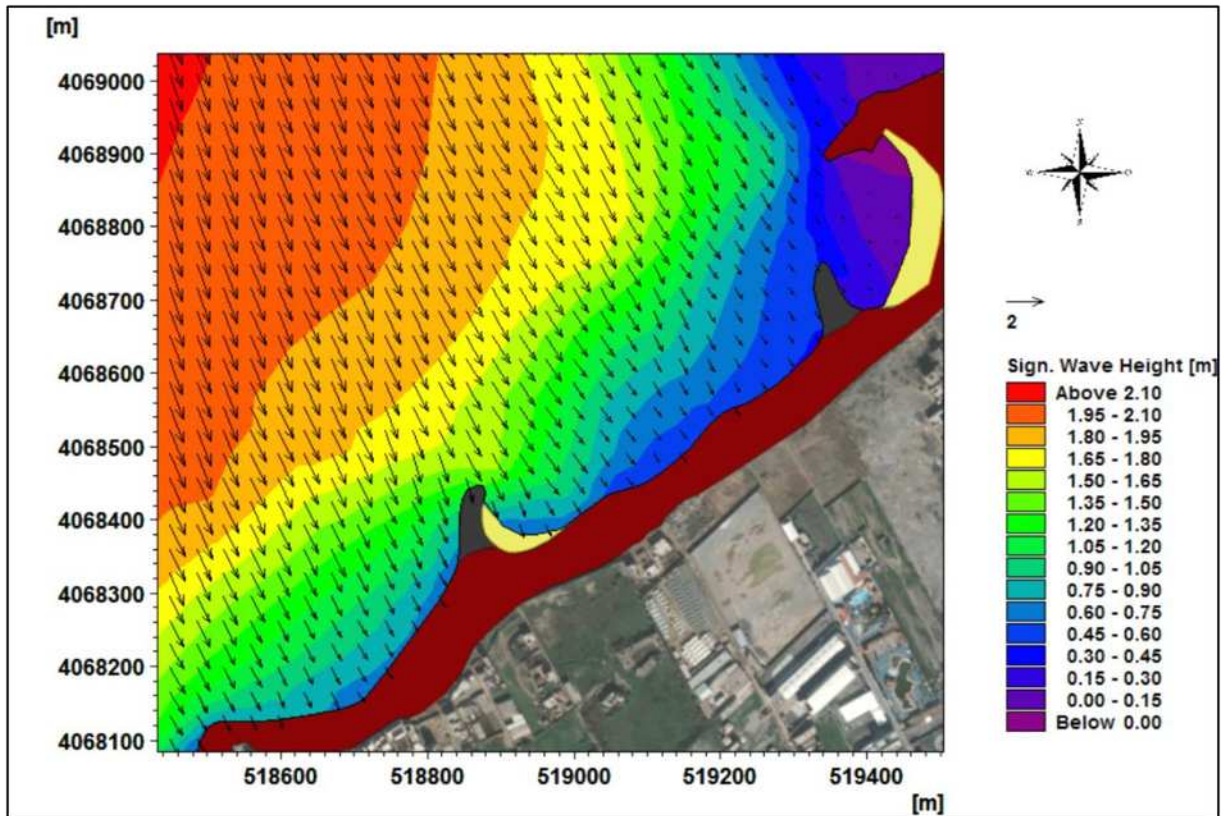


Figure IV-6 : Carte de répartition du champ de réfraction de la houle, MWD=345° ; H=2.26 ; T=7.87s (Réalisé à l'aide du logiciel Mike21).

La propagation de la houle (**Figure IV-6**) se traduit à l'approche du rivage par une modification de ces paramètres à savoir une diminution de la hauteur de la houle et une déviation de l'angle d'incidence (phénomène de réfraction).

Le paramètre H_s représente la hauteur de la houle en mètre qui varie globalement entre 0.15 et 2.10m au niveau du site, les vecteurs représentent 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 :

- A l'est près de la cote, la houle arrive avec une anergie faible, la hauteur varie entre 0.6 et .015 m
- A l'ouest l'ouvrage est plus exposé à l'énergie de la houle, elle arrive avec une auteure de 1.5 m

I.3.2.2 Courantologie (Hydrodynamic, HD)

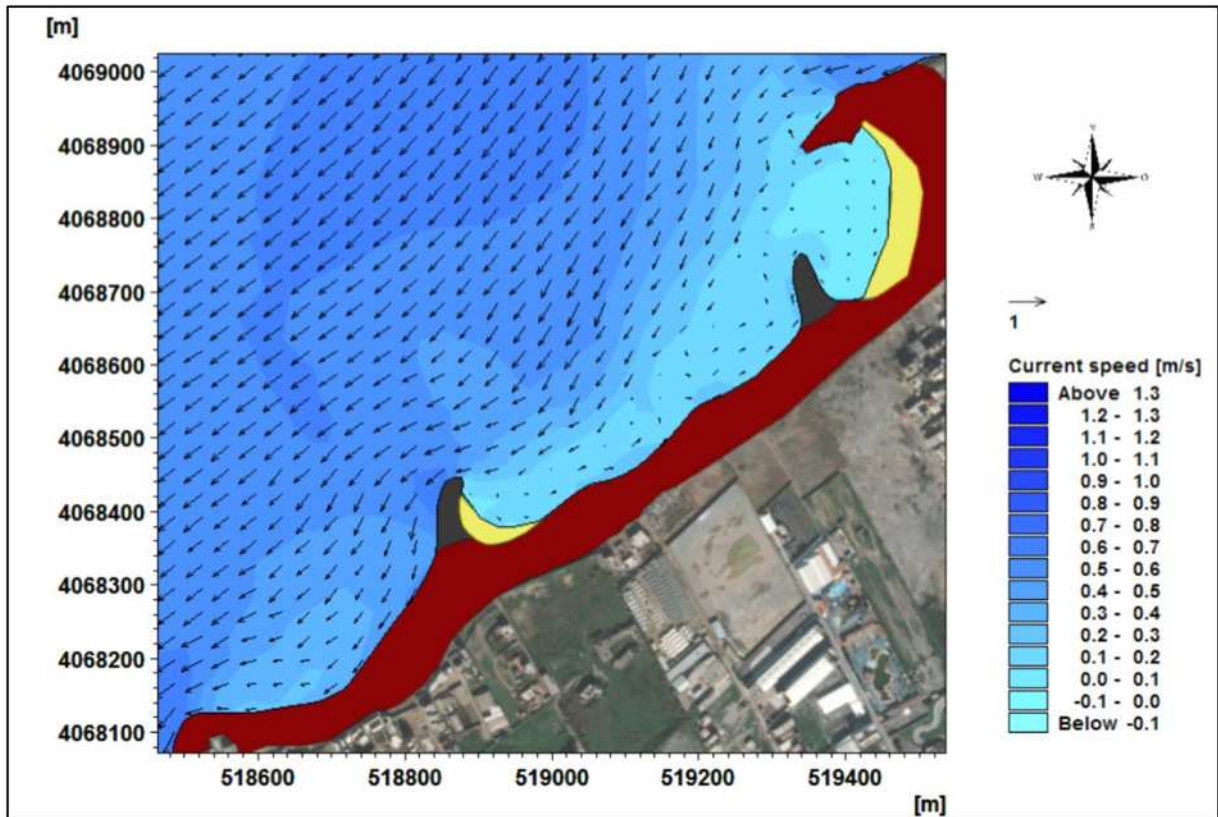


Figure IV-7 : Carte de répartition du champ de courant de la houle, MWD=345° ; H=2.26 ; T=7.87s (Réalisé à l'aide du logiciel Mike21).

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

Les courants littoraux induits par la houle (**Figure IV-7**) sont de direction Ouest et évoluent près du rivage en zone de déferlement à partir de la ligne bathymétrique -3 m avec une intensité importante qui varie entre 0.2 et 1m/s; Il est également à noter la naissance d'un champ turbulence à l'est (au contact avec l'épi est, ce qui favorise la diminution de l'intensité de la vitesse des courants.

I.3.2.3 Transport sédimentaire (Sand Transport, ST)

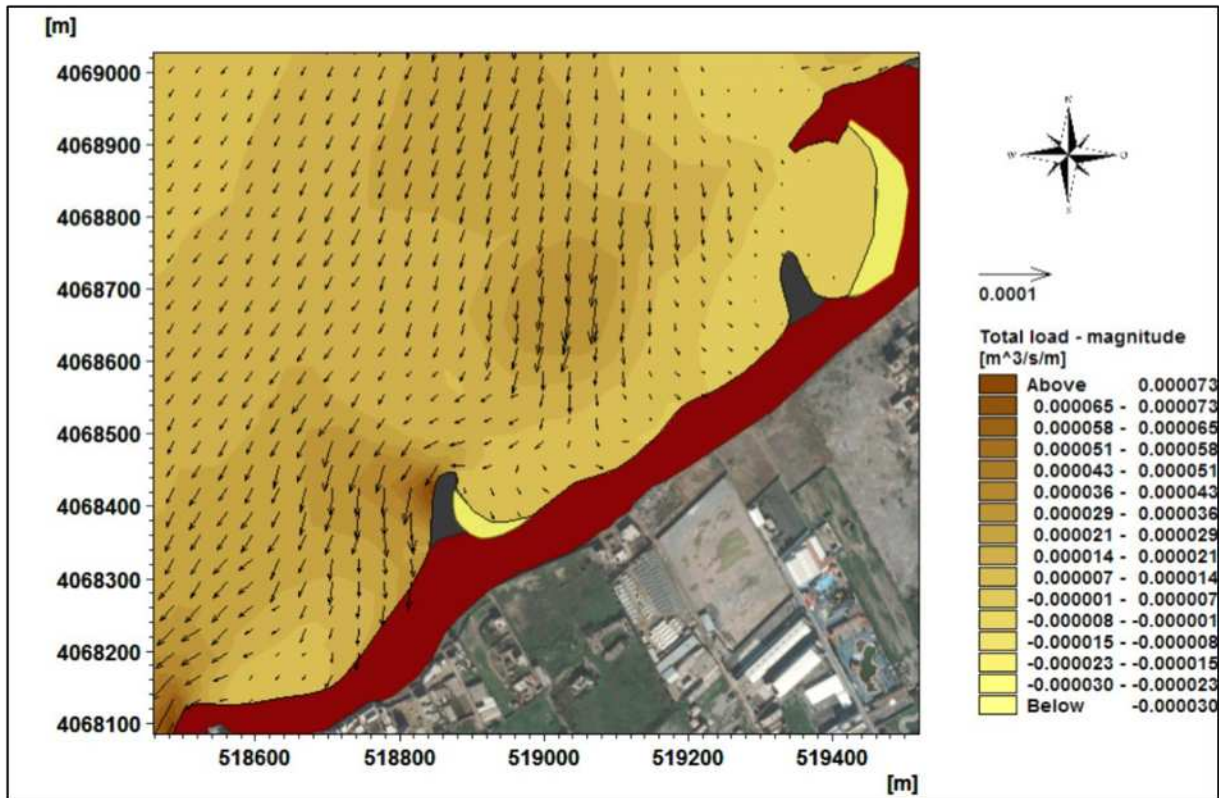


Figure IV-8 : Carte de répartition du flux sédimentaire, MWD=345° ; H=2.26 ; T=7.87s (Réalisé à l'aide du logiciel Mike21).

Sur le plan sédimentologique la capacité de transport solide exprimée en m³ /an /m (**Figure IV-8**) .La capacité du transport solide des courants caractérise le mouvement des particules sédimentaires non cohésives. Notamment, les résultats montrent que la zone littorale est sujette au transport sédimentaire, ce transport de direction ouest et sud-ouest atteint une capacité de 1368 m³/an/m alimente la plage artificielle des quantités très importantes de sédiment se dépose en place.il est également à noter que la zone Est est relativement calme la capacité de transport est très faible voir même nul.

II. Modélisation du transport sédimentaire avec LITPACK

II.1 Aperçu du code LITPACK

Le logiciel MIKE possède un code de calcul dénommé LITPACK qui traite les problèmes relatifs au transport sédimentaire et la dynamique côtière. Le code LITPACK, renferme les modules ci-après :

- LITSTP : Module destiné pour le transport de sédiments
- LITDRIFT : Module destiné pour le transport sédimentaire dû aux courants littoraux
- LITPROF : Module destiné à l'évolution du profil des plages
- LITTREN : Module destiné au calcul de sédimentation dans un chenal
- LITLINE : Module destiné à l'évolution du trait de côte.

Les résultats de modèle FM MIKE21/3 Couplé, dans les sections 3.3.4 ont été remis au modèle morphodynamique, qui simule l'évolution du littoral dans la zone de mise au point. C'est pourquoi, nous avons utilisé le modèle numérique LITPACK.

Le modèle mathématique LITPACK développé par DHI est un logiciel d'ingénierie professionnelle pour la modélisation du transport des sédiments non cohésif dans les vagues et les courants, la dérive littorale, l'évolution du trait de côte et le développement de profil le long des plages quasi-uniformes (DHI, 2014b). Il contient des modules tels que LITDRIFT, LITLINE et LITPROF, etc. ... Ce logiciel permet de calculer la houle dans la zone de déferlement, le courant de houle et le transport sédimentaire pour une plage uniforme. Les données nécessaires pour ce modèle sont des houles assez proches de la côte qui est extrait des résultats de modèle FM MIKE21/3 Couplé, des profils de plage et des paramètres des sédiments.

II.2 La dérive littorale

Le premier module LITDRIFT, un modèle de transport sédimentaire à une dimension, permet de coupler des houles, des courants et des vents pour calculer la capacité de transport sédimentaire. Ce modèle prend en compte les effets du frottement sur le fond, des hauts fonds, du déferlement et de l'agitation des vagues. Les données d'entrée du modèle sont un profil et une granulométrie moyenne caractéristiques de la plage et les données de houle près du rivage. Le transport total par charriage et suspension est alors évalué par le modèle. Le modèle calcule le transport net et brut du littoral (DHI, 2014a).

Pour la modélisation du transport sédimentaire et l'estimation de la dérive littorale on utilise le module **LITDRIFT** du code **LITPACK** du logiciel **MIKE**. Pour ce faire on doit :

- Introduire les données topo-bathymétrique et tracer les profils coastline
- Préparer un fichier **time series** qui contient les données de houle.
- Création d'une ligne parallèle à la cote (base line) qui passe par les deux profils

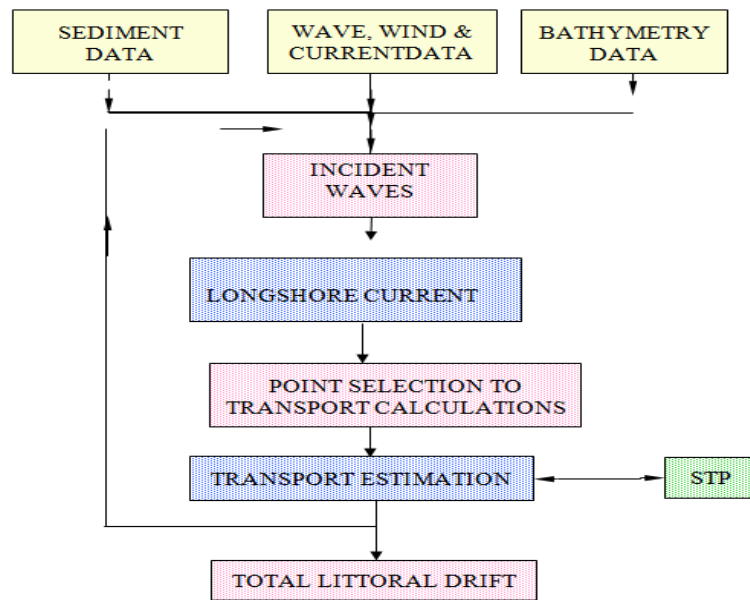


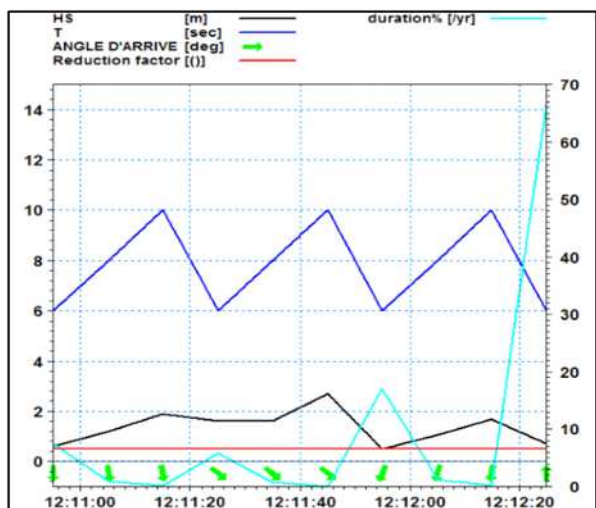
Figure IV-9 : Diagramme de l'estimation de la dérive littorale dans la zone de surf (Source: DHI-LITPACK manual, 2010)

A) **Time seris file:** c'est un fichier d'entré indispensable dans la configuration de **Litdrift**, il contient les données de houle dans la zone de déferlement (H, Tp, direction, duration% et le facteur de réduction qui est de 0.5). la duration est calculée à partir des fréquences de houle. La hauteur de la houle utilisée est :

$$H_{s_0} = \frac{H}{\sqrt{2}} \dots\dots\dots(9)$$

Tableau IV- 2 : paramètres de la houle dans la zone de déferlement

Hs ₀ (m)	Tp(s)	Angle d'arrivé	duration %	Facteur de réduction
0.6	6	360	7.52	0.5
1.2	8	354	0.94	0.5
1.9	10	352	0.09	0.5
1.6	6	314	5.72	0.5
1.6	8	315	0.81	0.5
2.7	10	314	0.03	0.5
0.5	6	17	17.02	0.5
1.07	8	12	1.21	0.5
1.7	10	8	0.11	0.5
0.7	6	180	66.55	0.5



FigureIV-10 : Profils de données de houle dans la zone de déferlement

- B) **Les profils** : 2 profils ont été tracés, le premier à la plage Est et le deuxième au centre à côté de l'épi en arc

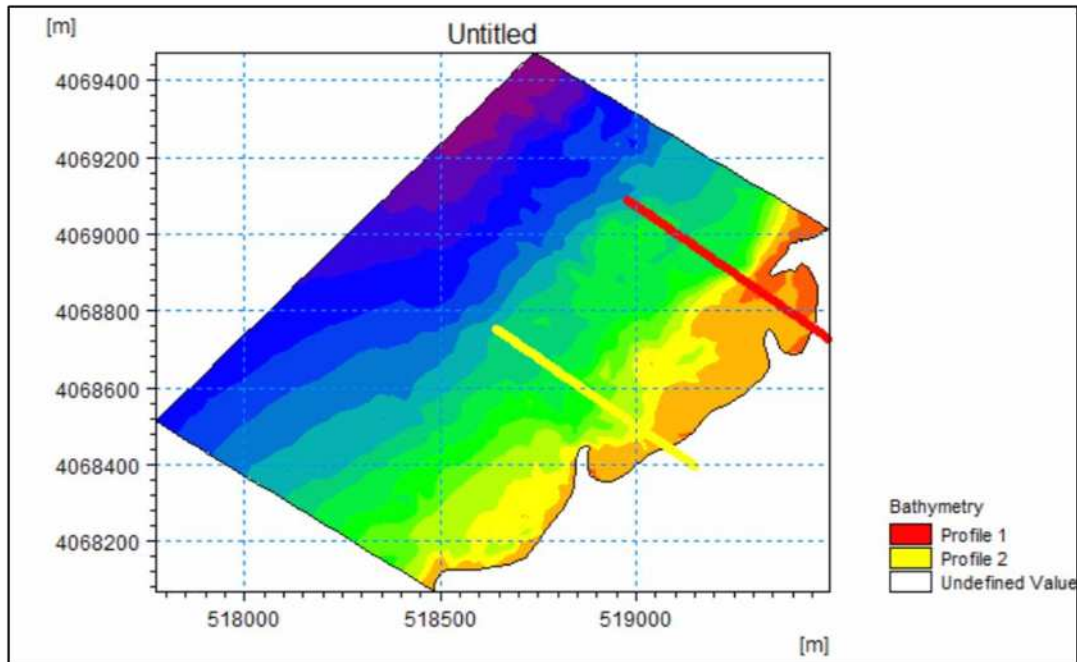


Figure IV-11 : les deux profils réalisés pour l'estimation de la dérive littorale

- C) **Résultat** : Les résultats décrits sont : Taux de transport sédimentaire parallèle au trait de côte (ou dérive littorale) : Le transport net, le transport brut, les composantes en direction de l'est et de l'ouest du transport le long de la côte dans la zone littorale et la distribution du transport sur le profil considéré.

- **Pour la plage Est (Profil 1) :**

Les taux annuels de transport sédimentaire longitudinal sont présentés à la **Figure IV-12**. Une taille de grain de $d_{50}=0.250$ mm est appliquée pour les calculs.

Le transport total annuel net est calculé égal à - 4274 m³/an vers l'ouest (les chiffres positifs correspondent au transport vers l'est) voir figure.

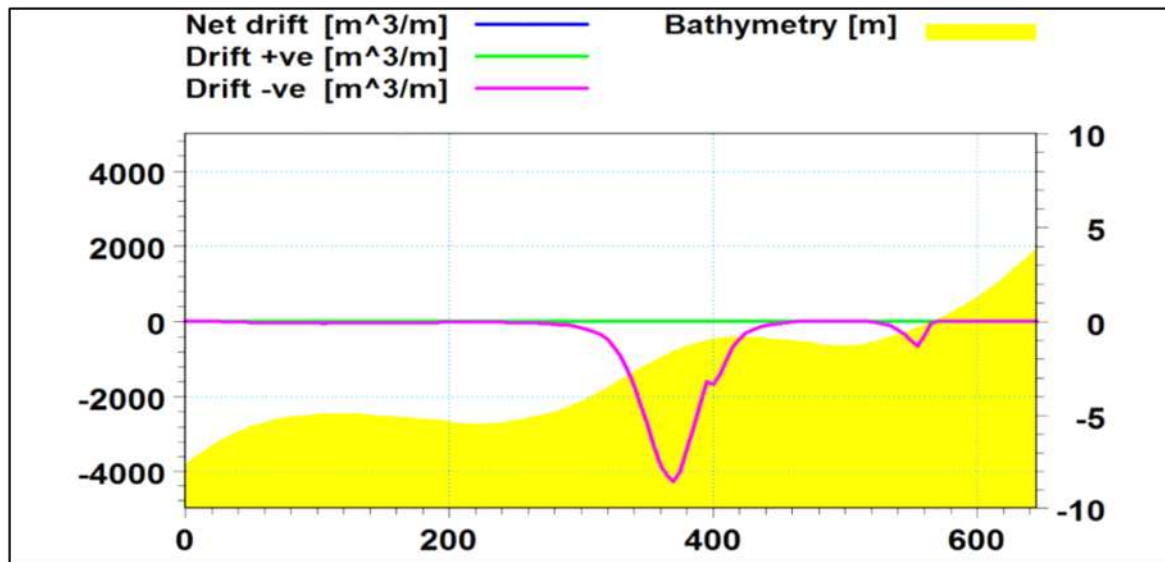


Figure IV-12 : La dérive littorale du profil Est (plage Est), transport négatif vers l'ouest, transport positif vers l'est et transport net (**LITDRIFT**)

- Pour le centre (Profil 2) :

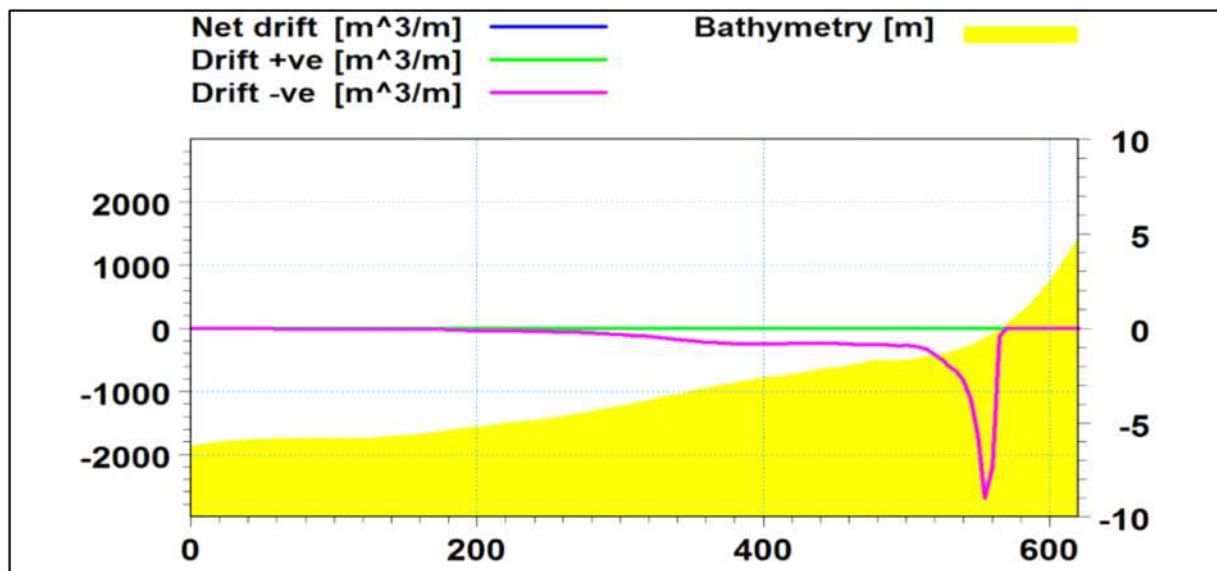


Figure IV-13 : La dérive littorale du profil Est, transport négatif vers l'ouest, transport positif vers l'est et transport net (**LITDRIFT**).

Les taux annuels de transport sédimentaire longitudinal sont présentés à la **Figure IV-13**. Une taille de grain de $d_{50}=0.250$ mm est appliquée pour les calculs, la direction.

Le transport total annuel net est calculé égal à - 4274 m³/an vers l'ouest (les chiffres positifs correspondent au transport vers l'est) voir figure.

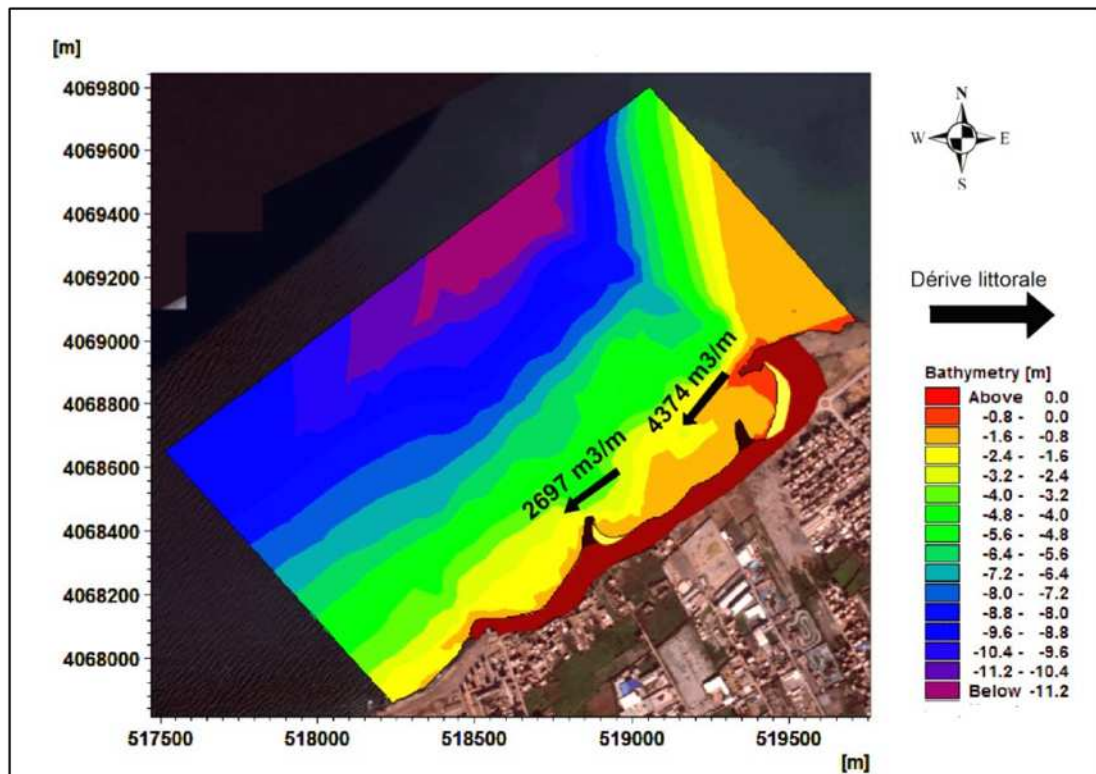


Figure IV-14 : Carte de la dérive littorale de la zone de Verte Rive (LITPACK)

La direction des houles incidentes relative à l'orientation de la plage détermine la direction et l'amplitude du transport sédimentaire le long de la côte. L'estimation principale du transport annuel moyen résultant est d'environ 4274 m³/an en direction de l'Ouest dans la zone l'Est, cette quantité diminue en allant vers l'Ouest jusqu'à atteindre une valeur de 2697 m³/an. Cela peut indiquer qu'il y a un captage de quantité importante de sédiments.

Ce transit littoral vers l'ouest est généré par les houles de direction N-Est ayant une fréquence d'apparition et une amplitude élevées comparativement aux deux autres directions considérées. La plus grande partie du transit littoral s'effectue entre la plage et les profondeurs de 3m, soit à une distance d'environ 100m de la côte.

La mise en place d'un épi et la plage artificielle a pour effet le blocage du transit littoral ce qui conduit à l'accumulation du sable sur la plage le long des épis et l'évolution du trait de côte le long de la plage vers la mer, jusqu'à saturation ou profil d'équilibre avec une alimentation en apports solide régulière et continue

II.3 Simulations numériques de l'évolution du trait de côte avec le modèle LITLINE

LITLINE développé par DHI est un modèle de transport de sédiments unidimensionnel qui calcule l'évolution du trait de côte. La morphologie du littoral est décrite par la position du trait de côte dans une direction cross-shore, cela signifie que le profil cross-shore, à la fois en termes de caractéristiques de bathymétrie et de sédiments, reste constant tout au long de la simulation.

Différentes sections transversale peuvent être définies le long de la côte. Cela signifie que la forme du profil, ainsi que les caractéristiques des sédiments peuvent varier le long de la côte. Pour réduire les besoins de calcul, le nombre de profils littoraux transversaux est limité à cinq, ce qui signifie que cinq profils représentatifs (caractéristiques bathymétriques et de sédiments) ont besoin d'être choisis pour décrire l'ensemble du littoral simulé.

Pour le site de Verte Rive une seule section transversale a été définie pour l'étude. Cette section est représentative de toute la côte en étude. Cela signifie que la forme du profil, ainsi que les caractéristiques des sédiments sont constants le long de la côte.

II.3.1 Configuration du modèle

Les paramètres physiques de la côte sont les principaux paramètres d'entrée du modèle numérique LITLINE pour le calcul de la capacité de transport sédimentaire et l'évolution du trait de côte dans l'espace et dans le temps. Les paramètres les plus importants dans le modèle sont le profil côtier et l'orientation de la plage, les informations sur les sédiments et les conditions de houle ainsi que la position initiale du trait de côte.

Tableau IV- 3 : Paramètres de modèle litline

Paramètres du modèle	Configuration
Houles à la côte et niveau	Données de houle du SSMO réfracté à -10m
Conditions de courant	Aucun courant ajouté au courant de houle
Profil côtier	Profil côtier issu de la bathymétrie mesurée sur site
Sédiments	D50 =0.250 mm et écart type $\delta g = 1.5$
Rugosité	Rugosité des fonds marins pour le calcul du transport sédimentaire =2.5 fois le D50
Porosité	Porosité incluse dans le taux de transport = 0.4
Paramètre de Shields critique	$\theta_c = 0.045$
Température de l'eau	18°C
Taille de la maille de la grille	1m
Position initiale du trait de côte	Position du trait de côte calculée par rapport à la ligne de base
Profondeur active	Profondeur active = 6m
Structures à aménager	Position des structures, coordonnées XY

II.3.2 Résultat de simulation

- position du trait de cote après 1 an

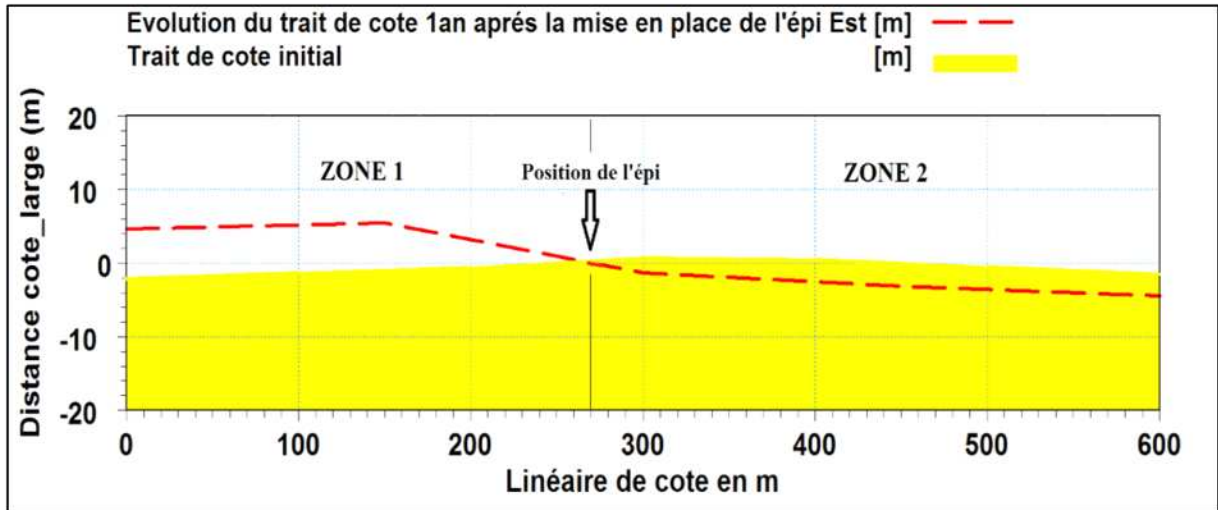


Figure IV-15 : Evolution du trait de côte 1an après la mise en place de l'épi Est (LITPACK-litline)

On note une accumulation de 4 à 6 m au niveau de la plage Est (zone 1) sur un linéaire de 250m de cote.

L'érosion qui devait se reproduire au niveau de la zone 2 est résorbée par la mise en place de la protection frontale.

- Position du trait de cote 10ans après

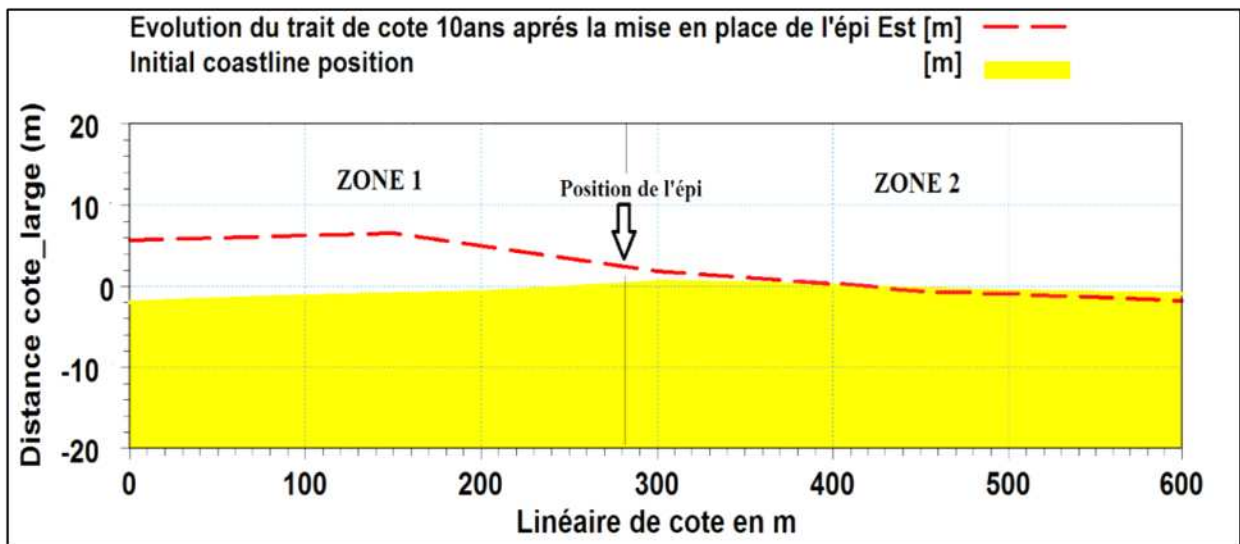


Figure IV-16 : Evolution du trait de côte 10ans après la mise en place de l'épi Est (LITPACK-litline)

On observe une accumulation de 4 à 6 m au niveau de la plage Est (zone 1) sur un linéaire de 350m de cote. L'érosion qui devait se reproduire au niveau de la zone 2 est résorbée par la mise en place de la protection frontale.



PARTIE II

Modélisation physique

PARTIE II : MODELISATION PHYSIQUE

I. Introduction

Il convient pour tout ouvrage maritime de s'assurer de la teneur de cet ouvrage qui doit résister à l'action dynamique de la houle pour les tempêtes les plus fortes dans un site donné, lorsque une houle atteint un obstacle, une partie de son énergie se réfléchit et se superpose à l'énergie incidente donnant ainsi naissance aux clapotis, une autre est transmise derrière l'ouvrage ou l'obstacle.

De très nombreuses études expérimentales ont permis d'observer les processus d'action de la houle sur différents ouvrages et de dégager des formules pour pré-dimensionner un ouvrage au stade d'avant-projet.

Ces formules empiriques sont insuffisantes pour optimiser le dimensionnement des ouvrages justificatifs toujours le recours à une modélisation, qui étant donné la complexité des interactions houle-ouvrage, et pour l'instant est probablement pour longtemps des domaines.

L'étude en canal à houle a pour objet la vérification de la stabilité du profil de protection de la cote de Verte Rive. L'ouvrage étudié est situé dans une zone partiellement rocheuse.

Les essais se sont déroulés dans le canal à houle du centre d'essais sur modèle (CEM) du laboratoire d'étude maritimes. Les dimensions principales de ce canal sont : 0.60m en largeur, 1.10 m en profondeur et 39.0m en longueur.

Les franchissements ne sont pas tolérés dans ce cas d'étude, puisqu'il y a une promenade aménagée.

II. Loi de similitude

Il est à rappeler que les modèles réduits physiques doivent satisfaire à une similitude géométrique, cinématique et dynamique.

En effet, le but de tels modèles est de reproduire la propagation de l'énergie de la houle et son action sur des obstacles (ouvrages).

Le choix de la similitude consiste à définir une relation de réduction géométrique et les échelles de représentation des autres grandeurs, pour ce type d'essai, la nature des principaux phénomènes mis en jeu (propagation d'une onde de gravité, équilibre de corps solide, etc.) suggère de privilégier la représentation des forces déterminantes que sont les forces liées aux accélérations (gravité inertie).

Pour cela, il est nécessaire que la similitude adoptée laisse invariant le nombre de Froude :

$$\boxed{F = \frac{V}{\sqrt{gD}}} \dots\dots\dots(10)$$

Avec :

V : vitesse caractéristique (vitesse orbitale, célérité, etc.).

g : accélération de la pesanteur

En opérant dans le même champ de pesanteur que celui du prototype et en adoptant une représentation invariante des accélérations, le respect de ce critère détermine les échelles des vitesses, donc des temps d'une part, et des volumes, donc des masses et des poids d'autre part :

Vitesse, temps : \sqrt{L}

Volume, masse, poids : L^3

Pour des raisons de simplicité pratique, on se contente de ne respecter que cette similitude dite similitude de Froude. Il en résulte quelques distorsions sur certains phénomènes généralement secondaires pour la dynamique du modèle.

Distorsions :

- **Distorsion due à la viscosité :**

Pour que la représentation des forces de viscosité soit correcte, il est théoriquement nécessaire que la similitude adoptée laisse invariant le nombre de Reynolds :

$$\boxed{\text{Re} = \frac{V \cdot D}{\nu}} \dots\dots\dots(11)$$

Avec :

V : vitesse caractéristique (vitesse orbitale célérité).

ν : viscosité cinématique du fluide.

D : dimension caractéristique (dimension d'un bloc, hauteur d'eau,...).

Or, l'adoption à priori de la similitude de Froude impose une échelle de $L^{3/2}$ pour le groupement VD.

Pour satisfaire à la fois aux critères de similitude de Froude et de Reynolds, il serait donc théoriquement nécessaire d'utiliser pour le modèle, un fluide de très faible viscosité : 1/189.57 fois celle de l'eau dans ce cas, cette impossibilité pratique conduit généralement à préférer le simple choix de l'eau pour le modèle et donc à accepter une distorsion sur la représentation du nombre de Reynolds, distorsion d'autant plus importante que l'échelle de réduction des longueurs soit plus grande.

Cependant, pour une échelle donnée, les conséquences pratiques de cette distorsion (distorsion des seules forces de viscosité) restent relativement négligeables tant que le modèle fonctionne dans des conditions d'écoulement telles que les forces de viscosité restent négligeables.

- **Distorsion due à la densité de l'eau :**

L'eau utilisée dans le modèle est douce ($\delta_w=1000\text{kg/m}^3$) alors qu'elle est salée en nature, donc plus dense, dans la réalité ($\delta_w=1025\text{kg/m}^3$). La masse spécifique de l'eau intervient directement dans les forces de nature inertielle, proportionnelles aux volumes et aux accélérations, ainsi que dans les poussées d'Archimède. En fait, cette caractéristique intervient globalement sur la stabilité suivant une relation empirique (formule de stabilité d'Hudson) qui traduit les conditions d'apparition d'un certain degré de dommage.

Pour compenser de manière simple la distorsion qu'entraîne l'emploi de l'eau douce, il suffit donc d'adopter pour les modèles de blocs (réduit à l'échelle) un matériau de densité inférieure à celle de blocs du prototype de manière à ce que le groupement :

$$\left(\frac{\delta_s}{\delta_w} - 1 \right) \dots\dots\dots(12)$$

Avec :

$\delta_w = 1025\text{kg/m}^3$ pour le prototype et $\delta_w = 1000\text{kg/m}^3$ pour le modèle. Les valeurs de la masse spécifique des matériaux à utiliser pour représenter les blocs artificiels de béton sont : **2341 kg/m³** au lieu de **2400 kg/m³**, pour les enrochements naturels, un facteur de correction égal à **0.87** intervient directement sur leurs poids.

III. Choix du profil

Pour les essais hydrauliques en canal à houle (bidimensionnel), la direction de houle à prendre en considération est la direction frontale à l'ouvrage. Dans notre cas c'est la direction N345 réfracté à N327, donc on retient cette direction pour la construction.

On note que le choix de ce profil ne se fait pas au hasard, il s'agit du secteur le plus défavorable en termes d'incidence frontales (la perpendiculaire) mais aussi en termes de bathymétrie (l'existence d'un bas-fond qui risque d'amplifier la hauteur des houles), ce choix est le plus sécuritaire.

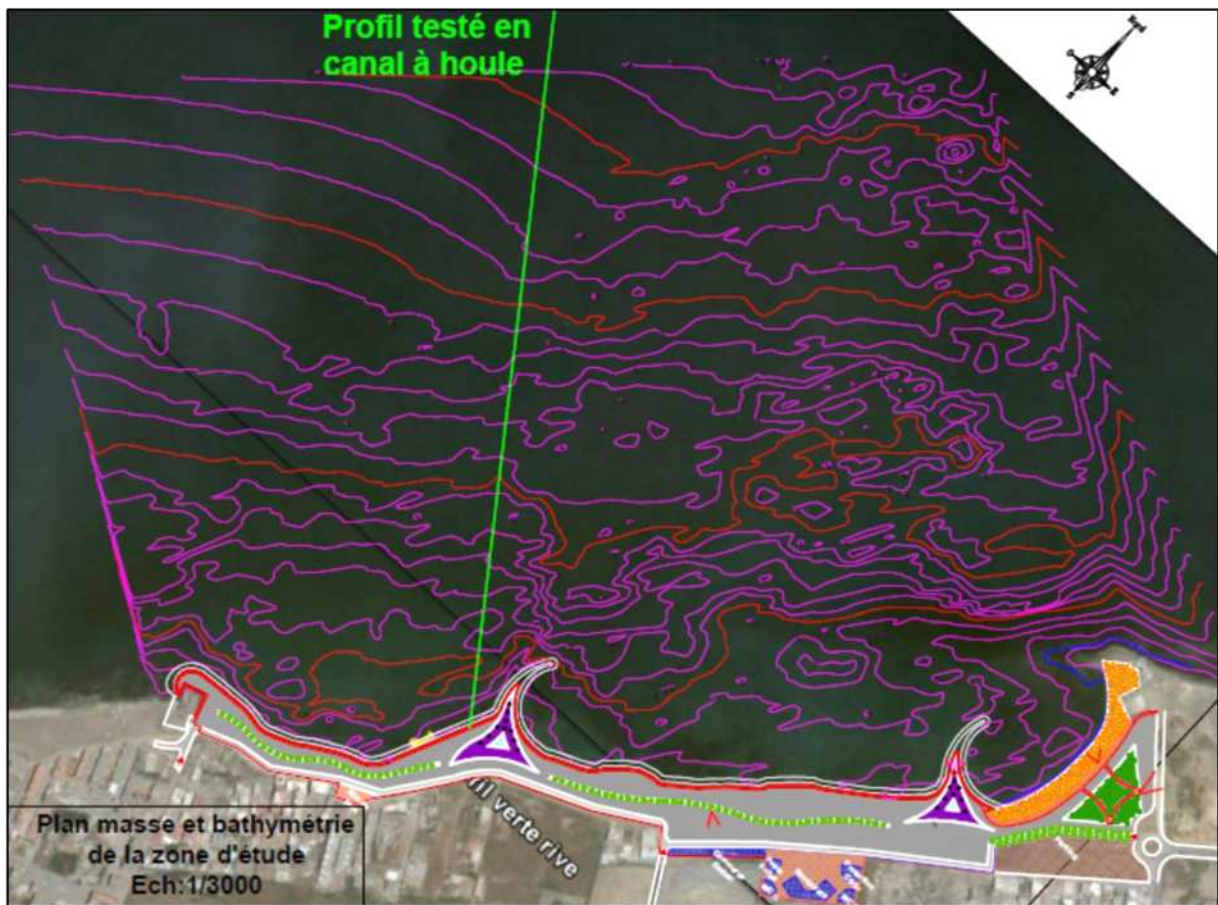


Figure IV-17 : Plan masse et bathymétrie avec position du profil testé en canal

IV. Choix de l'échelle

Le choix de l'échelle dans le canal repose sur plusieurs paramètres :

- les dimensions du canal.
- Les dimensions de l'ouvrage (hauteur, implantation).
- Les conditions hydrographiques du modèle : profondeur de l'eau possibilité de génération des houles voulues.

On note que l'échelle ne doit pas être très petite, car elle peut entraîner des « effets modèle » tels qu'un amortissement très important de la houle provoqué par la trop grande importance des forces de viscosité dans la masse d'eau, un frottement excessif sur les fonds ou des phénomènes de tension superficielle à la surface libre, comme elle ne doit pas être trop grande non plus.

Compte tenu de tous ces paramètres, l'échelle du modèle qui a été retenue est de 1/35.

III.1 Choix des matériaux de l'ouvrage

Les matériaux constituant les différentes parties de l'ouvrage, sont sélectionnés en fonction de leurs poids et de leurs tailles.

Chaque catégorie d'enrochements fait l'objet d'un tri soigné. En ce qui concerne le tout-venant de carrière, il est soumis à un lavage préliminaire afin d'éliminer les éléments fins susceptibles de déformer la représentation de la perméabilité de l'ouvrage.

Les caractéristiques des matériaux constituant l'ouvrage ont été déjà évoquées. Pour les matériaux du modèle, on appliquera la relation suivante :

$$P_{\text{modèle}} (g) = \frac{P_{\text{nature}} (g)}{\gamma^3} * 0.87 \dots\dots\dots(13)$$

Tableau IV- 4 : Catégories des enrochements

Type de matériaux	Caractéristique en nature		Caractéristique en modèle	
	Poids(t)	Densité (t/m ³)	Poids(g)	Densité (g/cm ³)
Catégories des enrochements	0.25 - 0.5	2.65	5.1 – 10.2	2.65
	1 - 3		20.3 – 60.9	

On constate que les densités des matériaux entre nature et modèle sont les même, car on a utilisé des enrochements naturels pour toutes les catégories de l'ouvrage et on a pesé pour chaque catégorie.

V. Construction des fonds et positionnement des sondes

V.1 Construction des fonds

La pente moyenne des fonds du profil à tester de la cote jusqu'à -13m de profondeur est de 1.2%

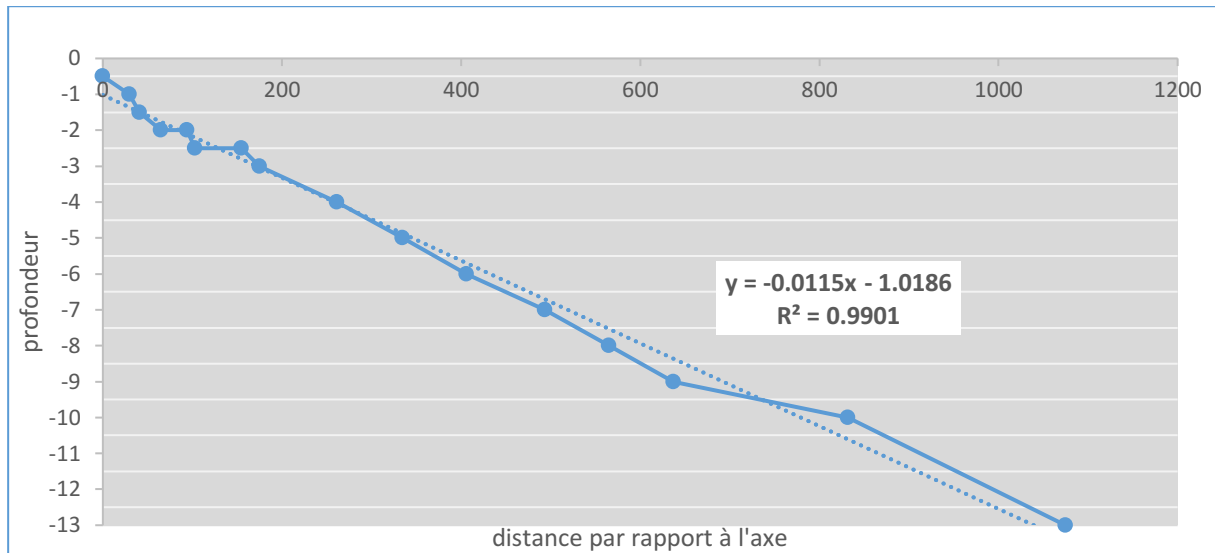


Figure IV-18 : Profil et pente des fonds du profil à tester dans le canal à houle

Les fonds sont construits, jusqu'à des profondeurs de -13m, par du sable lissé par une couche de mortier.

V.2 Positionnement des sondes

La distance entre la limite de l'ouvrage et le point S8 doit être d'au moins 1 m

La première distance entre ma première sonde et la profondeur -10 est calculée par la formule suivante :

$$D_1 = \left(\frac{L}{\lambda} \right) \times 0.0987 \dots\dots\dots(14)$$

Avec :

L : la longueur d'onde ;

λ : l'échelle ; 1/35

Les résultats sont mentionnés dans le tableau suivant :

Tableau IV- 4 : distance entre les ondes

Au niveau de h = -10 m	
D1	0.33
D2	0.53
D3	0.83
Au niveau de h = -2 m vers l'ouvrage	
D1	0.33
D2	0.53
D3	0.83

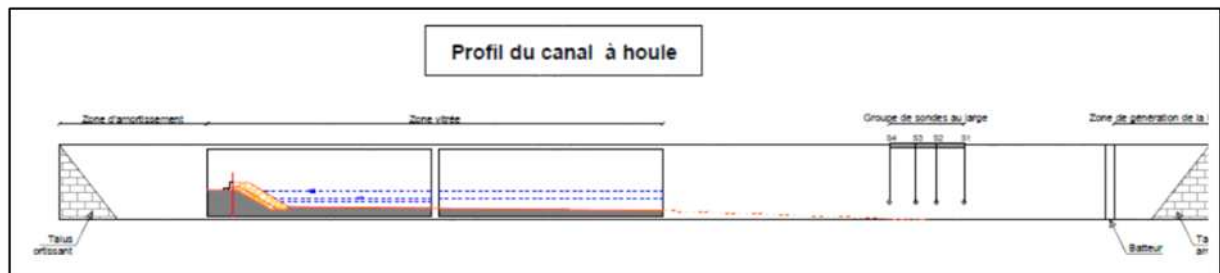


Figure IV-19 : profil du canal à houle

Ce canal est équipé d'un générateur de houle régulière et aléatoire constitué :

- D'un volet plan.
- D'un vérin hydraulique asservi en position sur un signal de commande lié à un programme de génération à l'aide d'un ordinateur, représentant un train de houle réel enregistré en nature et converti en train de houle en modèle.

Dans le cas de la houle aléatoire (houle utilisée pour l'ensemble de l'étude), le signal est effectivement aléatoire suivant une durée de tempêtes préalablement fixée.

Deux grandes baies vitrées (6m de longueur) permettent l'observation directe des évolutions des maquettes de l'ouvrage.

Une conduite met en communication permanente la partie du canal située à l'arrière de la maquette de l'ouvrage et la partie profonde où se trouve le batteur. Ce dispositif évite une éventuelle surélévation du plan d'eau par suite de franchissements répétés



Figure IV-20 : Ouvrage et fonds en canal à houle

VI. Condition de houle

Pour les besoins de l'étude, une de réfraction de la houle a été réalisé, qui a fait ressortir les caractéristiques de la houle selon les directions prédominantes arrivant sur le site et ce depuis le large jusqu'à la cote.

Les valeurs de la houle réfractée à la cote (-10m) et les périodes correspondantes sont reprises par direction et selon leurs récurrences dans le tableau suivant :

Tableau IV- 5 : Condition de houle

La houle de direction N345° réfractée		
les périodes de houle	Hs au pied de l'ouvrage (-2m)	Hs au large (-10m)
houle de tassement	0.8	0.9
1 an	1.48	2.17
5 ans	2.04	4.25
10 ans	2.07	4.67
20 ans	2.1	5.01
50 ans	2.13	5.41
100 ans	2.15	5.65

Les niveaux d'eau considérés pour cette étude sont comme suit :

- ± 0.00 NGA pour les essais de la série progressive.
- $+1.00$ NGA pour l'essai d'endurance.

Chaque essai est exécuté avec une houle augmentée par palier progressif, un palier de houle est caractérisé par un couple hauteur significative (Hs) et une période de pointe (Tp).

La durée de chaque test varie en fonction du cycle time défini par le logiciel de génération (Hr Wave Data).

Avant d'appliquer les houles significatives, l'ouvrage est soumis à des houles dites de tassement, qui ont pour but de réaliser l'imbrication des blocs de la carapace.

VII. Génération de la houle

La houle appliquée sur la maquette est générée par un batteur fonctionnant dans un plan horizontal, dont le placement est comparable à un piston. Le déplacement du volet est assuré par un vérin, lui-même actionné par un groupe de puissance hydraulique à 110bars.



Figure IV-21 : Canal à houle et matériels du laboratoire

Tout est piloté par un générateur électronique qui est lié à un logiciel informatique dénommé Wavgen représentant un train de houle théorique en nature et converti en train de houle en modèle.

Cette fonction est introduite dans un système « servo » qui contrôle le mouvement du vérin. Le générateur reproduit des houles aléatoires relevant du spectre d'énergie déterminé. Les périodes et amplitudes simulées en modèle sont obtenus respectivement par variation de la vitesse et par amplification du signal de puissance (Out-put) du générateur électrique.



Figure IV-22 : Chambre de pilotage liée au canal et dispositif électronique de génération des houles, laboratoire du LEM.

VIII. Mesure de la houle

La houle générée dans le modèle est enregistrée par des capteurs de houle (sondes) basé sur le principe de conductance électrique entre deux électrodes.

Les signaux des capteurs de houle sont enregistrés en continu et analysés par une chaîne de mesure informatisée préprogrammé « Multi Chanel Wawe Analyser » qui peut traiter jusqu'à 32 canaux. A la fin de chaque essai, la chaîne de mesure transmet à l'imprimante les répartitions statistiques de tous les signaux enregistrés. Un exemple des résultats imprimés est montré ci-dessous.

Pour l'interprétation des résultats des essais, H_s serait la moyenne du 1/3 des vagues les plus hautes dans le train de houle en modèle, H la moyenne des vagues enregistrées et T_p période qui correspond à la plus grande densité d'énergie spectrale.

IX. Analyse et synthèse des Résultats

IX.I Résultats des essais

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau IV- 5 : résultats des essais

DIRECTION N345 Réfractée							
Niveau d'eau ±0.00 NGA							
T retour	Hs large	Hs désiré à -10m	Hs désiré à -2m	Hs obtenu à -10m	Hs obtenu à -2m	T s (mn)	Observation
Houle de tassement		0.9	0.8	0.88	0.37	4.33	Rien à signaler
1 an		2.17	1.48	2.27	0.87	6.98	Rien à signaler
5 ans		4.25	2.04	4.50	1.22	10.12	Rien à signaler
10 ans		4.67	2.07	4.67	1.23	10.62	Rien à signaler
20 ans		5.01	2.1	4.97	1.24	11.01	Embruns très importants, et jet des embruns atteint jusqu'à 7m derrière le mur de garde Dérangement de 1 enrochements de 1(-3t) au niveau du talus à environ +1m
50ans		5.41	2.13	6.99		11.43	Embruns importants, le jet des embruns atteint jusqu'à 9m derrière le mur de garde Observation d'un (1) franchissement assez important ; -dérangement de 2 enrochements (1-3t) au niveau du talus à environ +0.5 à +1m ; -glissement d'un enrochement (1-3t) de 0.5m environ au pied de l'ouvrage.
Niveau d'eau +1.00 NGA							
50 ans		5.41	2.13	5.57	1.66	11.43	-franchissements très importants ; -pas d'évolution des dégâts.
100 ans		5.65	2.15	5.65	1.63	11.68	-Franchissement très important ; -Glissement de (6) enrochements posé à environ +1m ; -Dérangement de (1) enrochement au niveau de la berme.
Série d'endurance ± 1.00 12 heures de tempêtes							
100 ans		5.65	2.15	5.77	1.62	11.68	-franchissements très importants ; -pas d'évolution des dégâts.

VII.1 Evaluation des dégâts

Pour mettre en évidence l'évolution des dommages, à l'aide de l'observation et des résultats au cours de chaque essai, on a pu calculer le pourcentage de dégâts afin d'évaluer notre variante et notre essai.

$$V_{t+p} = S+L = 18.11 * 0.6 * 35 = 380.31 \text{ m}^3 \quad V_{ENR} = V_{t+p} * 0.63 = 239.6 \text{ m}^3$$

$$V_{ENR}/V_{unit} = \text{nombre de blocs total}$$

$$V_{unit} = \text{Poids moyen} / \text{Densité} = ((1+3)/2)/2.65 = 0.94 \text{ m}^3$$

$$V_{unit} = 239.6/0.94 = 254.9 \text{ m}^3$$

$$\text{Nombre de blocs total} = 239.6/0.94 = 255$$

$$\text{Nombre de blocs glissé} / \text{nombre de blocs total} = \% \text{ de dégâts}$$

$$6/255 = 0.02 = 2 \%$$

Le pourcentage de dégâts est de 2 %.

VII.2 Evaluation du débit de franchissement

Tableau IV- 6 : évaluation du débit de franchissement pour chaque période

T retour	Hs Désirée au large(m)	Durée du test en modèle (s)	Durée équivalente en nature (s)	Volume de franchissements en modèle (L)	Volume de franchissements en nature (m3)	Q [m3/s] nature	q(m3/s/ml) nature
50 ans	5.41	989	5851	28.5	1221.94	0.21	0.011
100 ans	5.65	1011	5981	42.3	1813.61	0.30	0.016

A partir du tableau de l'Annexe IV-7 on constate que le pourcentage de dégât est faible, et y'aura pas de dégâts importants.

Conclusion

Les essais nous ont permis d'observer la zone la plus sollicitée, qui est l'extrémité de la berme de la carapace, suite à ces essais, le profil est jugé stable.

CHAPITRE V

Gestion intégrée des zones côtières

CHAPITRE V : GESTION INÉGRÉE DES ZONES COTIERES

Le littoral, un espace naturellement fragile et artificiellement fragilisé !

L'espace littoral est un milieu écologique fragile et de nature vulnérable. C'est un système complexe, il est sans cesse agressé par des actions et des rétroactions qui fragilisent ses structures et qui risquent d'interrompre son équilibre naturel (R. PASKOFF, 1993). L'espace littoral est très convoité. L'homme le modifie en continuité à travers un ensemble d'actions agissant sur ses composantes naturelles. Les actions anthropiques sur l'espace littoral ne sont pas sans effets ; elles engendrent des rétroactions soit bénéfiques soit néfastes pour l'homme et pour l'espace lui-même. Donc, les activités humaines et l'espace littoral forment un système d'actions, d'interactions et de rétroactions très complexe et difficile à cerner.

La GIZC est un processus dynamique qui réunit gouvernement et société, science et décideurs, intérêt public et privé, en vue de la protection et du développement des systèmes et des ressources côtières... ce processus vise à optimiser les choix à long terme privilégiant les ressources et leur usage raisonné et raisonnable... (Cicin-Sain Knecht).

Approche du programme GIZC dans la zone d'étude

Le linéaire côtier étudié occupe 10 km environ, de Oued El Harrach à l'Ouest jusqu'à Oued El Hamiz à l'Est, il englobe, le Lido, Sirène, Verte Rive, Bateau Cassé et Stamboul. L'évaluation de cette portion côtière nous a permis de ressortir les menaces potentielles et les pressions environnementales examinées (aussi bien anthropiques que naturelles) exercées ; ainsi que les solutions probables qui doivent être prévues dès aujourd'hui.

En effet plusieurs paramètres interviennent dans l'évolution de cette zone et dégradent d'une manière directe ou indirecte le milieu et les ressources qui le recèlent. Les différentes pressions aussi bien anthropiques que naturelles qu'on peut recenser au niveau de ces zones, ainsi que les solutions prévues dès aujourd'hui sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau V- 1: Récapitulatif des menaces et impacts sur l'écosystème de la zone étudiée

Thèmes du littoral, problèmes ou objectifs	Solutions alternatives	Coût, bénéfiques, impacts	Indicateurs
Lutte contre l'érosion	<ul style="list-style-type: none"> · Alimentation de plage · Etudes sérieuses avant l'édification des ouvrages de défense · Stratégie globale pour la gestion du littorale 	<ul style="list-style-type: none"> · Arrêt du recul du trait de côte · Restauration de plage 	<ul style="list-style-type: none"> · Recul de trait de côte -0.42m/an · Extraction de sable m³ /an
Lutte contre la pollution	<ul style="list-style-type: none"> · Traitement des eaux usées à 100 % · Interdiction des rejets directs des eaux usées · Collecte des déchets solides · Police urbaine pour la protection de l'environnement 	<ul style="list-style-type: none"> · Amélioration de la qualité des eaux · Amélioration de l'état de plage · Recréation de la plage 	<ul style="list-style-type: none"> · Rejet des eaux usées · Rejet des déchets solides · Plage interdite à la baignade
Elimination des constructions illégales	<ul style="list-style-type: none"> · Démolition · Rééquilibrage de l'armature urbaine (villes nouvelles) · Déplacer les constructions illégales vers les régions intérieures 	<ul style="list-style-type: none"> · Récupération et préservation du domaine maritimo-terrestre publique 	<ul style="list-style-type: none"> · Nombre total des constructions
Promotion du tourisme durable	<ul style="list-style-type: none"> · Plan de développement touristique durable · Gestion des flux touristiques 	<ul style="list-style-type: none"> · Préservation du potentiel touristique · Conservation des ressources touristiques 	<ul style="list-style-type: none"> · Nombre de touristes / linéaire côtier

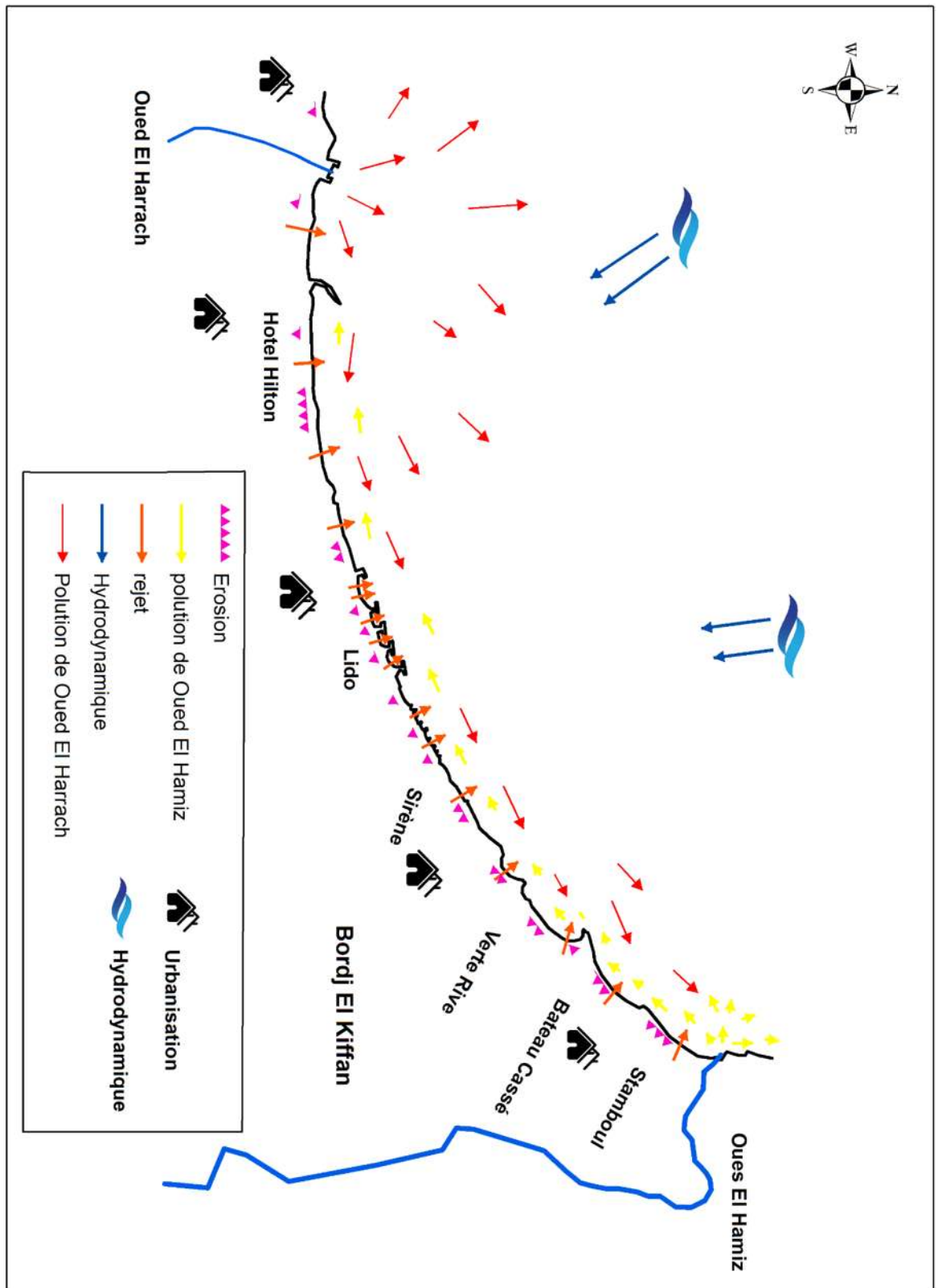


Figure V-1 : Pressions naturelles et anthropique dans le centre de la Baie d'Alger



CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Notre étude nous a permis de constater que la diversité des facteurs à l'origine des phénomènes auxquels fait face le littoral de la zone de Verte Rive le rendait sensible à toutes autres interventions qui très souvent ne représentent que des solutions temporaires à un problème d'ordre régional.

Il est à rappeler que l'érosion est souvent un phénomène naturel lié aux effets météorologiques, hydrodynamiques et hydro-sédimentaires. Ces phénomènes sont toutefois accélérés par les effets perturbateurs liés à l'emprise humaine sur le rivage. Dans la zone de Verte Rive l'étude de l'évolution du trait de côte nous a permis de dégager un taux de recul annuel moyen de -0.42 m/an entre 1975 et 2017.

Cependant la diversité des phénomènes à l'origine de l'érosion littorale conduit à une diversité de réponses techniques qui s'opposent pas forcément les unes aux autres, mais qui sont souvent complémentaires. En effet, pour améliorer l'efficacité des interventions de protection sur le site de Verte Rive, on a opté pour des défenses de natures mixtes (aménagement en promenade, deux épis en arc et une plage artificielle). Les solutions de protection envisagées ont mis en évidence une relation étroite entre la solution de protection proposée et caractéristiques du site, à savoir les caractéristiques hydrodynamiques et morphologiques.

Les modélisations numérique et physique, avec toutes les études secondaires qu'elles imposent nous ont été un outil incontournable pour l'aménagement du littoral de Verte Rive, à la fois à cause de la diversité des questions qui se posent durant la conception d'ouvrage maritimes, à cause des développements que les expérimentateurs ont mis en œuvre pour améliorer son utilisation (génération des phénomènes hydrauliques, et mesures automatisés, simulation des matériaux...) et parce que cet outil est beaucoup plus parlant pour le grand public.

Loin de s'opposer, les modélisations physique, numérique et mathématique sont aujourd'hui très complémentaires et bien adaptées à une utilisation conjointe pour la simulation des phénomènes hydrauliques et maritimes les plus délicats. Avec l'utilisation du logiciel LITPACK nous avons pu évaluer l'évolution du trait de côte dans futur et étudier l'impact de l'aménagement proposé sur ce dernier.

Malgré la fiabilité prouvée en modèles de cette protection, il est recommandé de suivre son évolution dans le temps, de mettre en place des étude d'observation de l'évolution du trait de côte afin d'évaluer l'impact de l'ouvrage et la nécessité d'effectuer des interventions d'entretien, d'estimer dans l'optique d'un développement durable de la zone, il est donc souhaitable que des études GIZC soient effectuées pour non seulement trouver des solutions adéquates mais aussi harmoniser le type de protection ou proposer des solutions à la hauteur du phénomène observé.



BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

AL SID CHIKH S. (2011). Etude 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. Alger. ENSSMAL, 80 p.

AMROUNI, Oula. (2008). Morphodynamique d'une plage sableuse microtidale à barres : côte nord de Mahdia (Tunisie orientale) [En ligne]. *Thèse de doctorat. Sciences Géologiques*. Tunis : l'Université Tunis-el Manar. [Consulté le 15 Avril 2017]. Disponible sur le web https://www.academia.edu/8885997/Morphodynamique_d_une_plage_sableuse_microtidale_%C3%A0_barres_c%C3%B4te_nord_de_Mahdia_Tunisie_orientale.

BACHOUCHE, S. (2003). Mesure des paramètres physico-chimiques et analyse des sels nutritifs dans le littoral algérois. *Mémoire de DEUA. Environnement. Alger. ISMAL. 49 p.*

BELKESSA, R. (1991). Évolution géomorphologique et sédimentologique du bas Isser et de son embouchure. *Thèse de Magister. Aménagement. Alger. ISMAL. 54p.*

BERKHOFF, J.C.W., (1972). Computation of combined refraction-diffraction, *Proc. 13th Coastal Engrg Conf.*, Vancouver ,pp 471-490.

BIJKER, E.W. (1969). *Littoral drift as a function of waves and Current*. Publication no. 58, Delft Hydraulics Laboratory, Delft, The Netherlands. pp 415-435.

BONNEFILLE. R. (1992). Cours D'Hydraulique Maritime. *Paris : Masson 208 p.*

CASTELLE, B. (2004). Modélisation de l'hydrodynamique sédimentaire au-dessus des barres sableuses soumises à l'action de la houle : application à la côte aquitaine [En ligne]. [Consulté le 20 Février 2017]. *Thèse de doctorat. Océanographie. Bordeaux* : l'Université Bordeaux 1. Disponible sur le web http://www.epoc.u-bordeaux.fr/indiv/bonneton/Divers/These_Castelle.pdf.

DAHMANI, H. (2012). Étude hydro-sédimentaire en domaine bidimensionnel d'un milieu cotier par un progiciel de calcul (mike 21 et litpack). *Thèse de Magister. Science de l'eau. Alger : ENP. 66 p.*

DEAN R.G (2003). Beach nourishment: Theory and Practice, *Advances Series on Ocean Engineering – Vol. 18 . 70 p.*

DHI 2014a. MIKE ZERO: Creating 2D Bathymetries. Bathymetry Editor & Mesh Generator. [En ligne]. [Consulté le 4 mars 2017]. *Scientific Documentation. Disponible sur le web ≤ www.mediafire.com/view/yc3w6h2c2elqnhh/BathymetryGeneration_ScientificDoc.pdf.*

DHI 2014b. MIKE 21 Spectral Wave Module. [En ligne]. [Consulté le 4 Juillet 2017]. *Scientific Documentation. Disponible sur le Web www.mediafire.com/view/rr6pv2o6bf6k87u/M21SW_Scientific_Doc.pdf.*

DHI 2014c. MIKE 21/3 Couple Model FM. [En ligne].[Consulté le 5 Mai 2017]. *Disponible sur le web*

www.mediafire.com/view/4extjtmhec4v69v/MIKE_213_Coupled_Model_FM.pdf.

DUFOIS.F. Décembre (2008). Modélisation du transport particulaire dans le Golfe du Lion en vue d'une application au devenir des traceurs radioactifs issus du Rhône. *Laboratoire de Physique Hydrodynamique et Sédimentaire IFREMER* : Centre de Brest et Laboratoire d'Etudes Radioécologiques en milieux Continental et Marin : IRSN La Seyne/mer.

FAYE, Ibrahima. (2010). Dynamique du trait de côte sur les littoraux sableux de la Mauritanie à la Guinée-Bissau (Afrique de l'Ouest) : Approches régionale et locale par Photo-interprétation, traitement d'images et analyse de cartes anciennes. *Thèse de doctorat. Géographie. Bretagne* : l'Université de Bretagne Occidentale. 75 p.

GÍSLASON, Fannar. (2011). Along-Shore Sediment Transport at the Coast of Vík í Mýrdal. Master. Faculty of Civil Engineering: University of Iceland. 45 p.

JICA, Ministère de l'Habitat et de l'urbanisme, C.G.S. (2006) Etude de Microzonage sismique de la wilaya d'Alger. Document non publié. Alger: JICA.

LALU.M, ANITHA.J, TILBA.T. (2013). Performance Evaluation of Groynes for Protecting Coastlines - A Case Study of Alappad Coast. Institute of Research Engineers and Doctors.

MAOUCHE, S. (1987). Mécanismes hydro sédimentaires en baie d'Alger (Algérie) : approche sédimentologique, géochimique et traitement statistique. *Thèse de doctorat. Aménagement. France* : Université de Perpignan. 213 P.

MEZOUAR, K. (2009). Étude comparative entre les méthodes de protection des deux littoraux Algérien et Roumain. *Thèse de Doctorat. Aménagement. Roumanie* : Université technique de construction de Bucarest. 209 p.

MICHAUD, H. (2011). Impacts des vagues sur les courants marins : modélisation multi-échelle de la plage au plateau continental [En ligne]. [Consulté le 25 Mars 2017]. *Thèse de doctorat. Sciences de la Terre et de l'Univers. Montpellier* : l'Université Montpellier 2. 96 p.

MOUHOUBI, N. Ouabal, K (2012). Etude d'une solution de protection pour la plage centre de Sidi Ghiles (Cherchell). *Mémoire d'ingénieur. Aménagement. Alger. ENSSMAL.* 60 p.

OTHMANI, H (2014). Impact des infrastructures maritimes sur le littoral : Cas du port de Cap Djinet. *Thèse de magister. Aménagement. Alger. ENSSMAL.* 20p.

P. Mohamed Rajab, K. Thiruvengatasamy (2016). Shoreline Change Studies Due to Construction of Breakwaters at Ariyankuppam River Mouth in Puducherry – a Union Territory of India, South India. *Department of Harbor and Ocean Engineering, AMET University*

PAC. (2005): Programme d'Aménagement Côtier : Zone côtière algéroise. *Rapport final intégré. Document non publié. MATE : PAC.*

PASKOFF. R (1993). Côtes en danger. Paris : Ed Masson. 250 p.

RIVOIRE,M et FERRIER,J.2001. Matlab Simulink, Stateflow, avec des exercices d'automatique résolus. Paris : *Edition Technip*.75 p.

SOROUSH.S and BABAK.B.(2011). A case study of hydrodynamic and morphological modeling of a re-migrating inlet. *Journal of Sedimentary Petrology*,n° 62(6). pp 1130-1146.



ANNEXE

ANNEXE I

Annexe I-1 :

	classes	Hs	Nord	Nord Est	Ouest	Nord Ouest	Est		Total
6	0	ind	0	0	0	0	0		0
	0.5	0 à 0,5	179	236	255	97	353	0.35	767
	1	0,5 à 1	263	615	546	182	818	0.79	1606
	1.5	1 à 1,5	148	462	607	147	574	1.27	1364
	2	1,5 à 2	77	197	363	81	226	1.77	718
8	2.5	2 à 2,5	41	69	224	41	49	2.26	375
	3	2,5 à 3	25	25	107	19	25	2.76	176
	3.5	3 à 3,5	14	8	53	7	6	3.26	82
	4	3,5 à 4	3	5	31	5	1	3.76	44
10	5	4 à 5	5	5	24	3	0	4.53	37
	6	5 à 6	3	5	5	0	0	5.52	13
	7	6 à 7	0	0	6	0	1	6.52	6
	9	7 à 9	0	0	3	0	0	8.06	3
	11	9 à 11	0	0	1	0	0	10.05	1
	13.5	11 à 13,5	0	0	0	0	0	12.31	0

Annexe I-2 :

	classes	Hs	Nord		Ouest	Nord Ouest			
6	0	ind	0		0	0	0		
	0.5	0 à 0,5	2.02	2.66	2.87	1.09	3.98	0.35	
	1	0,5 à 1	2.97	6.93	6.16	2.05	9.22	0.79	
	1.5	1 à 1,5	1.67	5.21	6.84	1.66	6.47	1.27	
	2	1,5 à 2	0.87	2.22	4.09	0.91	2.55	1.77	
8	2.5	2 à 2,5	0.46	0.78	2.53	0.46	0.55	2.26	
	3	2,5 à 3	0.28	0.28	1.21	0.21	0.28	2.76	
	3.5	3 à 3,5	0.16	0.09	0.60	0.08	0.07	3.26	
	4	3,5 à 4	0.03	0.06	0.35	0.06	0.01	3.76	
10	5	4 à 5	0.06	0.06	0.27	0.03	0.00	4.53	
	6	5 à 6	0.03	0.06	0.06	0.00	0.00	5.52	
	7	6 à 7	0.00	0.00	0.07	0.00	0.01	6.52	
	9	7 à 9	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	8.06	
	11	9 à 11	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	10.05	
	13.5	11 à 13,5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.31	

ANNEXE II

Annexe II-1 : coordonnées et profondeurs des points d'extraction de résultats de réfraction de la houle

Points	X	Y	Z
1	518578.8515	4068180	-2
2	518793.0935	4068393.8904	-2
3	518984.2775	4068653.3776	-2
4	519246.5939	4068875.0292	-2
5	518310.0918	4068345.9781	-5
6	518579.3329	4068528.3124	-5
7	518873.1198	4068724.8935	-5
8	519056.8326	4068991.6989	-5
9	517988.7349	4068548.2910	-8
10	518272.0841	4068721.3098	-8
11	518600.9769	4068894.4014	-8
12	518840.9133	4069129.3253	-8
13	517783.5376	4068677.3145	-10
14	518021.5035	4068878.5872	-10
15	518373.6052	4069037.3021	-10
16	518677.8234	4069231.4660	-10

Annexe II-2 : résultats numérique de la réfraction de la houle à la cote (H=2.56, Tp=8, MWD N30)

Points	X	Y	Z	H	Kr	Angle d'arrivé
1	518578.8515	4068180	-2	0.40	0.16	4.40167
2	518793.0935	4068393.89	-2	0.50	0.19	6.23563
3	518984.2775	4068653.378	-2	0.55	0.21	4.07571
4	519246.5939	4068875.029	-2	0.18	0.07	3.10621
5	518310.0918	4068345.978	-5	1.14	0.45	6.16965
6	518579.3329	4068528.312	-5	0.83	0.32	5.38698
7	518873.1198	4068724.894	-5	0.93	0.36	7.68298
8	519188.4816	4068909.867	-5	0.54	0.21	4.11316
9	517988.7349	4068548.291	-8	1.40	0.55	9.45112
10	518272.0841	4068721.31	-8	1.45	0.57	10.1304
11	518600.9769	4068894.401	-8	1.25	0.49	9.30045
12	518840.9133	4069129.325	-8	1.45	0.56	11.1086
13	517783.5376	4068677.315	-10	1.52	0.59	11.5595
14	518021.5035	4068878.587	-10	1.55	0.60	11.7131
15	518373.6052	4069037.302	-10	1.51	0.59	11.646
16	518677.8234	4069231.466	-10	1.44	0.56	11.5821

Annexe II-3 : résultats numérique de la réfraction de la houle à la cote (H=7.53, Tp=13.32, MWD N30)

Points	X	Y	Z	H	Kr	Angle d'arrivé
1	518578.8515	4068180	-2	0.423981	0.06	4.48134
2	518793.0935	4068393.89	-2	0.634079	0.08	6.30313
3	518984.2775	4068653.378	-2	0.809919	0.11	3.79704
4	519246.5939	4068875.029	-2	0.207759	0.03	2.51219
5	518310.0918	4068345.978	-5	1.91618	0.25	3.29558
6	518579.3329	4068528.312	-5	0.948544	0.13	3.8229
7	518873.1198	4068724.894	-5	1.2627	0.17	7.32595
8	519188.4816	4068909.867	-5	0.717585	0.10	3.39702
9	517988.7349	4068548.291	-8	2.69414	0.36	4.58878
10	518272.0841	4068721.31	-8	2.77958	0.37	4.73227
11	518600.9769	4068894.401	-8	1.63365	0.22	6.00872
12	518840.9133	4069129.325	-8	2.10242	0.28	9.13188
13	517783.5376	4068677.315	-10	3.44278	0.46	6.71985
14	518021.5035	4068878.587	-10	3.24083	0.43	5.83529
15	518373.6052	4069037.302	-10	2.76654	0.37	5.50656
16	518677.8234	4069231.466	-10	1.93925	0.26	7.91386

Annexe II-4 : résultats numérique de la réfraction de la houle à la cote (H=1.09, Tp=6, MWD N30)

Points	X	Y	Z	H	Kr	Angle d'arrivé
1	518578.8515	4068180	-2	0.267211	0.25	4.87558
2	518793.0935	4068393.89	-2	0.275079	0.25	6.50168
3	518984.2775	4068653.378	-2	0.280297	0.26	4.63124
4	519246.5939	4068875.029	-2	0.119454	0.11	3.85181
5	518310.0918	4068345.978	-5	0.578998	0.53	9.07516
6	518579.3329	4068528.312	-5	0.488564	0.45	7.47534
7	518873.1198	4068724.894	-5	0.491246	0.45	8.87699
8	519188.4816	4068909.867	-5	0.51339	0.47	9.67436
9	517988.7349	4068548.291	-8	0.726376	0.67	14.8068
10	518272.0841	4068721.31	-8	0.726119	0.67	14.8133
11	518600.9769	4068894.401	-8	0.672175	0.62	12.7764
12	518840.9133	4069129.325	-8	0.700305	0.64	13.6012
13	517783.5376	4068677.315	-10	0.779599	0.72	17.8432
14	518021.5035	4068878.587	-10	0.799393	0.73	18.1153
15	518373.6052	4069037.302	-10	0.773035	0.71	16.7307
16	518677.8234	4069231.466	-10	0.752114	0.69	15.4299

Annexe II-5 : résultats numérique de la réfraction de la houle à la cote (H=2.64, Tp=8, MWD N315)

Points	X	Y	Z	H	Kr	Angle d'arrivé
1	518578.852	4068180	-2	1.30342	0.49	318
2	518793.094	4068393.89	-2	1.44704	0.55	320
3	518984.278	4068653.38	-2	1.67167	0.63	310
4	519246.594	4068875.03	-2	1.55707	0.59	315
5	518310.092	4068345.98	-5	2.26329	0.86	318
6	518579.333	4068528.31	-5	2.24074	0.85	317
7	518873.12	4068724.89	-5	2.0993	0.80	313
8	519188.482	4068909.87	-5	1.88591	0.71	315
9	517988.735	4068548.29	-8	2.34633	0.89	316
10	518272.084	4068721.31	-8	2.30025	0.87	316
11	518600.977	4068894.4	-8	2.18817	0.83	315
12	518840.913	4069129.33	-8	2.12139	0.80	312
13	517783.538	4068677.31	-10	2.29969	0.87	314
14	518021.504	4068878.59	-10	2.35341	0.89	315
15	518373.605	4069037.3	-10	2.20205	0.83	316
16	518677.823	4069231.47	-10	2.185	0.83	313

Annexe II-6 : résultats numérique de la réfraction de la houle à la cote (H=6.65, Tp=12.6, MWD N315)

Points	X	Y	Z	H	Kr	Angle d'arrivé
1	518578.852	4068180	-2	1.51	0.23	319
2	518793.094	4068393.89	-2	1.71	0.26	322
3	518984.278	4068653.378	-2	2.05	0.31	309
4	519246.594	4068875.029	-2	2.01	0.30	315
5	518310.092	4068345.978	-5	3.20	0.48	318
6	518579.333	4068528.312	-5	3.20	0.48	318
7	518873.12	4068724.894	-5	2.97	0.45	313
8	519188.482	4068909.867	-5	2.61	0.39	315
9	517988.735	4068548.291	-8	4.47	0.67	316
10	518272.084	4068721.31	-8	4.37	0.66	317
11	518600.977	4068894.401	-8	4.38	0.66	315
12	518840.913	4069129.325	-8	4.33	0.65	311
13	517783.538	4068677.315	-10	5.18	0.78	313
14	518021.504	4068878.587	-10	5.29	0.80	317
15	518373.605	4069037.302	-10	4.92	0.74	315
16	518677.823	4069231.466	-10	5.00	0.75	312

Annexe II-7 : les indicateurs de l'EPR

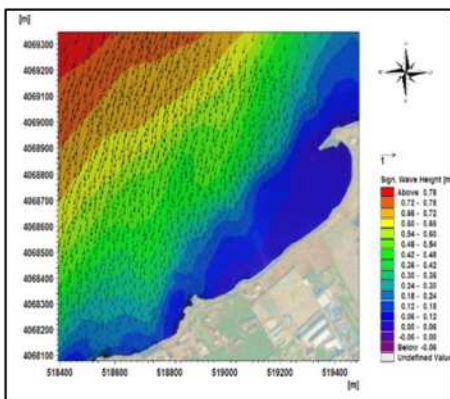
IntersectX	IntersectY	EPR	IntersectX	IntersectY	EPR
De 1957- 2004			De 2004-2010		
518385.2	4067926.71	0	518382.745	4067929.5	0.64
518402.906	4067946.85	0.1	518401.458	4067948.19	0.34
518419.917	4067965.68	0	518421.658	4067964.01	-0.42
518435.888	4067991.24	0.21	518439.762	4067987.35	-0.94
518459.311	4068008.74	-0.07	518457.719	4068010.25	0.38
518488.105	4068028.73	-0.22	518485.74	4068036.33	1.19
518508.424	4068061.5	-0.37	518510.339	4068060.43	-0.39
518544.246	4068098.33	-0.1	518546.87	4068105.25	1.01
518571.727	4068100.09	-0.53	518571.923	4068098.94	-0.2
518601.662	4068102.96	-0.95	518601.953	4068101.24	-0.3
518630.985	4068095.93	-0.76	518624.427	4068101.4	0.92
518660.247	4068098.91	-0.7	518655.685	4068102.2	0.75
518684.495	4068106.87	-0.6	518684.431	4068107.05	0.03
518709.292	4068112.3	-0.61	518707.173	4068116.04	0.73
518731.444	4068131.12	-0.29	518728.761	4068133.65	0.63
518757.88	4068142.86	-0.12	518756.378	4068147.19	0.77
518784.848	4068156	-0.26	518781.037	4068162.36	1.27
518810.031	4068168.66	-0.39	518805.854	4068174.79	1.27
518828.8	4068190.01	-0.13	518825.275	4068198.64	1.38
518841.088	4068215.4	0.46	518836.626	4068223.34	1.4
518851.663	4068237.57	0.12	518846.578	4068242	1.16
518852.37	4068274.47	0.31	518854.885	4068259.57	0.61
518877.495	4068289.67	-0.02	518855.532	4068283.97	0.24
518926.312	4068313.94	-1.22	518924.444	4068318.9	0.91
518956.99	4068316.06	-1.33	518955.557	4068320.67	0.84
518982.548	4068330.33	-0.87	518981.336	4068334.48	0.75
519011.074	4068337.38	-0.82	519009.246	4068341.61	0.79
519038.444	4068344.46	-0.9	519034.912	4068351.44	1.34
519062.825	4068356.83	-0.85	519058.889	4068364.27	1.45
519087.034	4068368.44	-0.94	519082.584	4068374.36	1.27
519109.989	4068386.59	-0.89	519105.516	4068392.26	1.24
519133.057	4068405.12	-0.9	519128.138	4068411.2	1.34
519158.249	4068425.69	-1.01	519153.308	4068432.88	1.5
519179.272	4068442.04	-1.08	519172.318	4068450.24	1.85
519201.596	4068461.94	-1.23	519191.516	4068471.88	2.38

519223.488	4068479.36	-1.37	519211.492	4068492.03	3
519237.612	4068502.5	-1.22	519224.323	4068514.13	3.03
519265.108	4068525.75	-1.24	519255.908	4068537.27	2.53
519288.374	4068542.84	-1.32	519279.537	4068554.38	2.5
519309.862	4068561.06	-1.36	519301.396	4068569.95	2.11
519331.045	4068581.74	-1.35	519325.282	4068587.66	1.42
519356.366	4068602.72	-1.38	519353.293	4068606.48	0.83
519375.281	4068621.58	-1.35	519372.37	4068624.49	0.71
519393.561	4068641.36	-1.31	519392.186	4068647.11	0.8
519409.613	4068662.52	-1.24	519409.059	4068666.7	0.45
519425.239	4068688.79	-1.09	519427.133	4068687.44	-0.4
519438.072	4068709.74	-1	519438.338	4068709.54	-0.05
519450.375	4068731.51	-0.99	519450.375	4068731.51	0
519460.944	4068755.33	-1	519456.891	4068756.5	0.72
519467.172	4068781.63	-0.92	519463.802	4068782.33	0.59
519468.276	4068806.89	-0.75	519464.917	4068806.04	0.6
519465.974	4068829.91	-0.65	519466.568	4068828.36	-0.08
519463.868	4068852.37	-0.58	519467.418	4068851.98	-0.61
519460.496	4068877.02	-1.52	519462.799	4068877.91	-0.42
519449.836	4068900.59	-1.57	519451.74	4068901.57	-0.37
519462.39	4068989.5	-0.58	519462.292	4068989.86	0.06
519489.454	4069004.25	-0.5	519488.303	4069008.46	0.75
519516.955	4069017.41	-0.44	519516.514	4069019.03	0.29
519544.244	4069031.35	-0.52	519544.906	4069028.93	-0.43
519581.346	4069039.15	-0.55	519581.72	4069036.68	-0.43
519611.832	4069038.21	-0.58	519606.199	4069037.81	-0.06
519632.369	4069035.24	-0.67	519632.58	4069034.64	-0.11
519659.007	4069030.66	-0.81	519655.95	4069036.09	1.07
519684.309	4069051.09	-0.39	519679.946	4069050.7	0.01
519702.475	4069065.77	-0.35	519704.864	4069062.42	-0.71
De 2010-2017			Bilan 1957-2017		
518384.495	4067927.51	-0.37	518384.495	4067927.51	0
518401.566	4067952.49	0.41	518400.023	4067949.53	0.14
518420.063	4067964.55	0.19	518420.536	4067964.77	-0.02
518433.39	4067993.74	1.26	518433.39	4067993.74	0.22
518461.469	4068012.16	-0.01	518458.496	4068009.52	-0.04
518484.562	4068033.21	-0.22	518479.881	4068028.95	-0.1
518505.223	4068058.28	0.4	518500.27	4068049.16	-0.12
518547.438	4068099.15	-0.85	518543.427	4068097.22	-0.09
518576.022	4068097.36	-0.29	518572.145	4068097.63	-0.46
518601.484	4068104.03	0.39	518601.483	4068104.03	-0.73
518630.915	4068100.91	-0.09	518631.023	4068100.89	-0.51
518659.457	4068102.26	-0.03	518659.457	4068102.26	-0.49

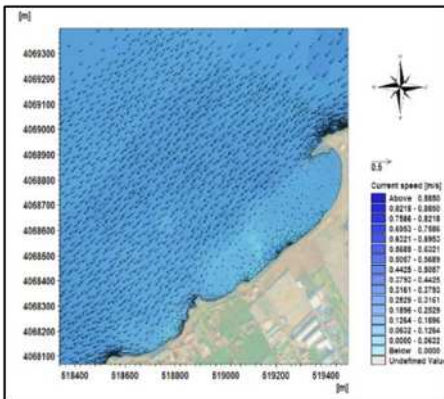
518683.392	4068109.97	0.43	518683.391	4068109.97	-0.41
518708.345	4068121.08	0.56	518708.065	4068120.95	-0.32
518729.965	4068135.27	0.08	518731.114	4068136.1	-0.06
518756.371	4068149.48	0.27	518756.412	4068149.5	0.02
518781.203	4068162.09	-0.04	518781.203	4068162.09	-0.09
518806.316	4068174.11	-0.11	518806.316	4068174.11	-0.2
518824.954	4068196.2	-0.1	518824.847	4068195.87	0.01
518833.198	4068223.96	0.37	518833.22	4068224.04	0.56
518846.801	4068241.81	-0.04	518846.801	4068241.81	0.2
518854.254	4068259.59	0.09	518846.27	4068266.94	0.27
518854.871	4068286.62	0.27	518857.582	4068289.05	0.28
518924.923	4068317.63	-0.19	518924.923	4068317.63	-0.89
518954.808	4068320.95	0.06	518958.445	4068322.29	-0.87
518981.718	4068333.5	-0.15	518987.407	4068336.09	-0.52
519007.743	4068345.08	0.53	519007.743	4068345.08	-0.5
519030.664	4068359.85	1.31	519030.664	4068359.85	-0.42
519048.605	4068382.3	2.9	519047.43	4068381.25	-0.19
519067.563	4068394.34	3.49	519067.563	4068394.34	-0.2
519098.436	4068401.24	1.59	519098.436	4068401.24	-0.39
519121.325	4068419.62	1.51	519121.325	4068419.62	-0.4
519144.664	4068437.66	1.31	519147.799	4068440.9	-0.49
519165.626	4068458.12	1.44	519165.626	4068458.12	-0.5
519188.439	4068477.23	0.85	519187.087	4068476.19	-0.62
519207.96	4068495.76	0.72	519207.96	4068495.76	-0.7
519229.75	4068517.79	-0.05	519231.502	4068519.56	-0.67
519255.22	4068538.14	0.15	519255.22	4068538.14	-0.71
519278.993	4068553.97	0	519278.748	4068553.8	-0.79
519301.65	4068569.68	-0.05	519301.65	4068569.68	-0.87
519325.144	4068587.8	0.03	519325.144	4068587.8	-0.92
519348.712	4068607.19	0.49	519347.943	4068606.47	-0.94
519370.546	4068626.32	0.36	519370.546	4068626.32	-0.95
519384.702	4068651.4	1.19	519385.785	4068653.52	-0.78
519401.531	4068673.23	1.39	519401.654	4068673.44	-0.74
519415.321	4068695.88	2.03	519415.321	4068695.87	-0.65
519427.543	4068715.94	1.75	519427.436	4068715.77	-0.58
519439.644	4068735.81	1.61	519439.644	4068735.81	-0.58
519451.786	4068757.97	0.74	519451.786	4068757.97	-0.63
519458.898	4068783.35	0.7	519458.898	4068783.35	-0.58
519460.706	4068806.51	0.59	519460.708	4068806.58	-0.48
519460.813	4068828.09	0.81	519460.792	4068829.53	-0.42
519461.684	4068851.82	0.81	519461.674	4068852.04	-0.41
519456.408	4068875.42	0.96	519456.408	4068875.42	-1.12
519446.601	4068898.94	0.8	519446.601	4068898.94	-1.17

519460.535	4068996.27	0.93	519460.535	4068996.27	-0.34
519487.632	4069010.91	0.35	519487.632	4069010.91	-0.28
519515.805	4069021.62	0.37	519515.804	4069021.62	-0.28
519544.244	4069031.35	0.35	519544.244	4069031.35	-0.4
519576.919	4069034.41	-0.52	519582.038	4069034.59	-0.51
519608.59	4069032.4	-0.78	519607.912	4069031.97	-0.57
519634.465	4069029.27	-0.79	519634.465	4069029.27	-0.63
519661.863	4069029.69	-1.2	519660.085	4069028.74	-0.67
519682.384	4069047.38	-0.56	519681.893	4069046.92	-0.34
519708.56	4069057.25	-0.89	519708.56	4069057.25	-0.44

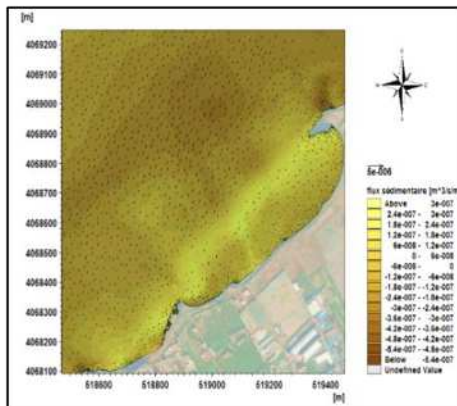
Annexe II-8 : Carte de la réfraction de la houle de direction N30



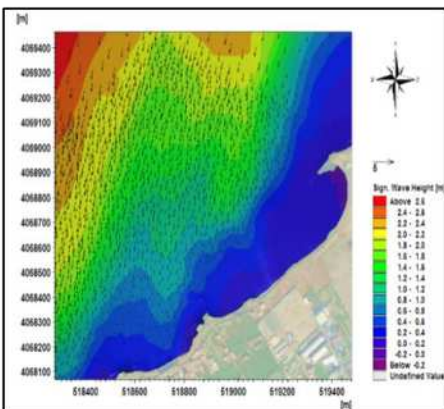
Carte de répartition du champ de réfraction de la houle, MWD=30° ; H=1.09 ; T=6s



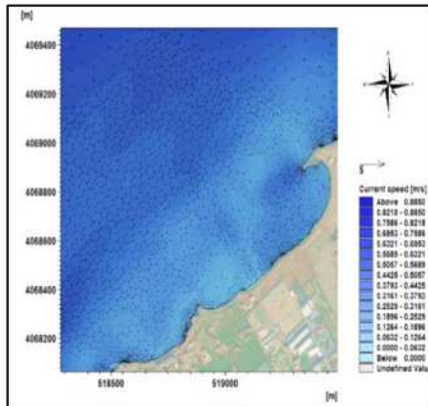
Carte de répartition du champ de courant de la houle, MWD=30° ; H=1.09 ; T=6s



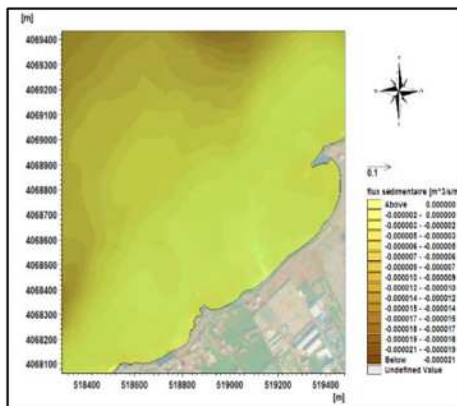
Carte de répartition du flux sédimentaire, MWD=30° ; H=1.09 ; T=6s



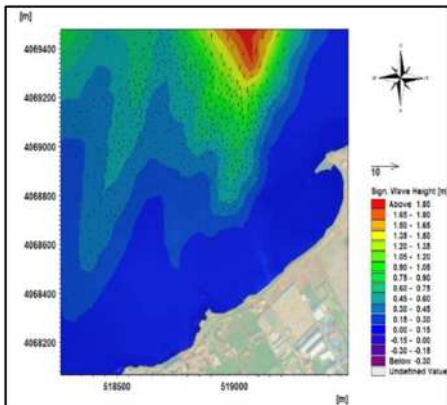
Carte de répartition du champ de réfraction de la houle, MWD=30° ; H=5.05 ; T=10s



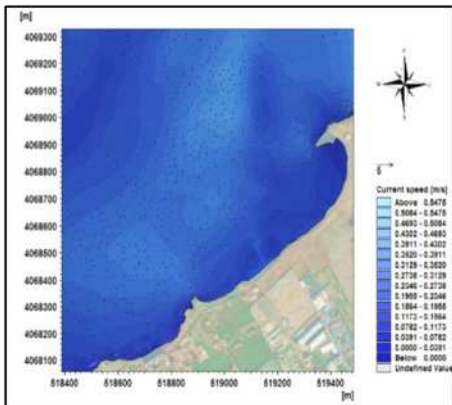
Carte de répartition du champ de réfraction de la houle, MWD=30° ; H=5.05 ; T=10s



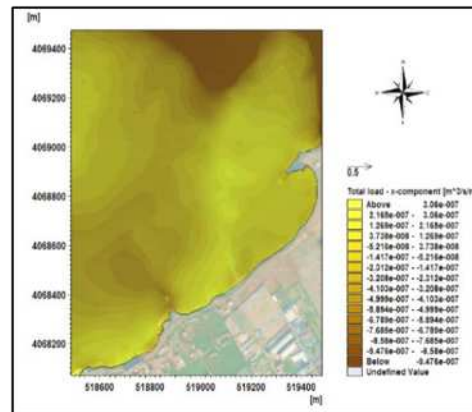
Carte de répartition du champ de réfraction de la houle, MWD=30° ; H=5.05 ; T=10s



Carte de répartition du champ de réfraction de la houle cinquantennale, MWD=30° ; H=7.53 ; T=13.32

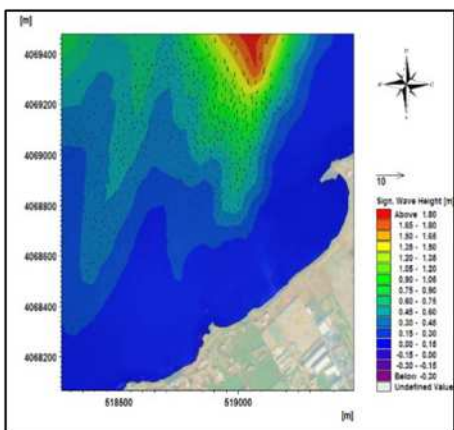


Carte de répartition du champ de courant de la houle cinquantennale, MWD=30° ; H=7.53 ; T=13.32

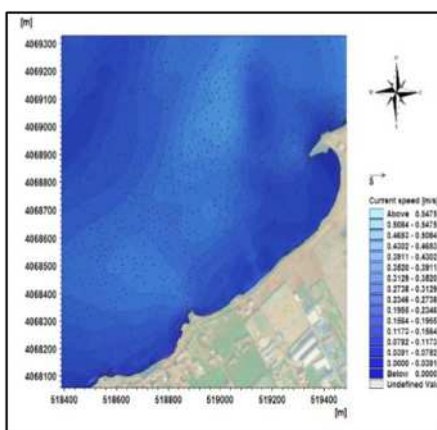


Carte de répartition du flux sédimentaire de la houle cinquantennale, MWD=30° ; H=7.53 ;

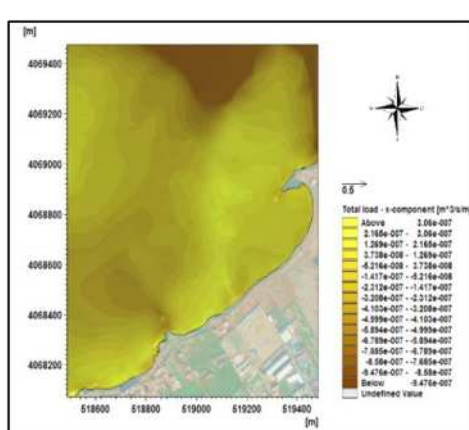
Annexe II-9 : Carte de la réfraction de la houle de direction N315



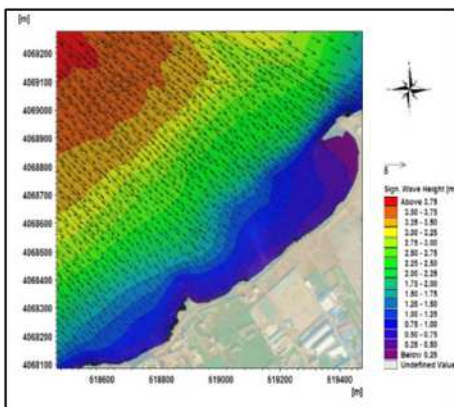
Carte de répartition du champ de réfraction de la houle, MWD=315° ;
H=1.1 ; T=6s



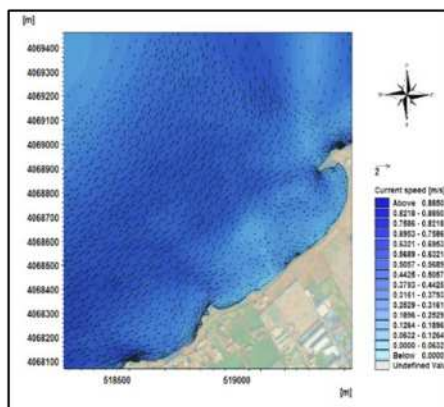
Carte de répartition du champ de courant, MWD=30° ; H=1.09 ; T=6s



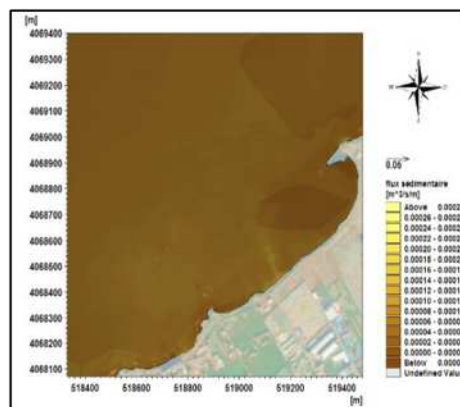
Carte de répartition du flux sédimentaire, MWD=315° ; H=1.1 ;
T=6s



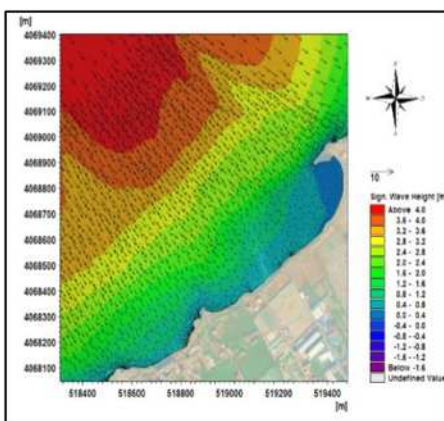
Carte de répartition du champ de réfraction de la houle, MWD=315° ;
H=4.53 ; T=10s



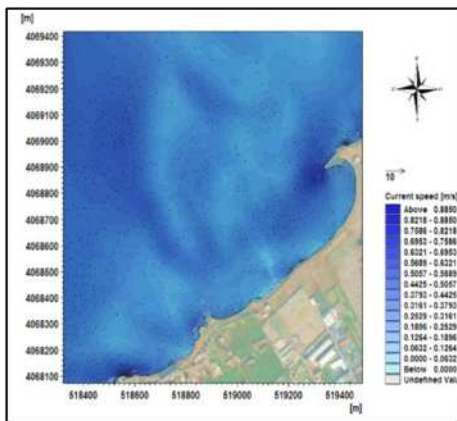
Carte de répartition du champ de courant de la houle, MWD=315° ;
H=4.53 ; T=10s



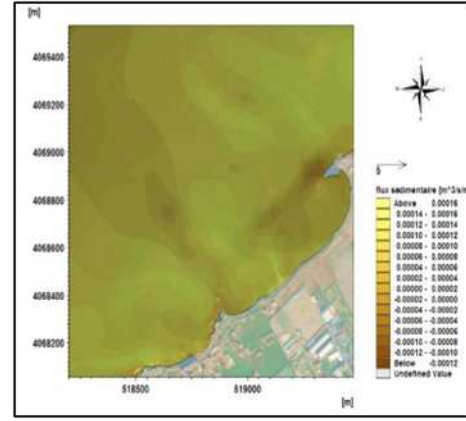
Carte de répartition du flux sédimentaire de la houle, MWD=315° ;
H=4.53 ; T=10s



Carte de répartition du champ de réfraction de la houle, MWD=315° ;
H=6.65 ; T=12.6s

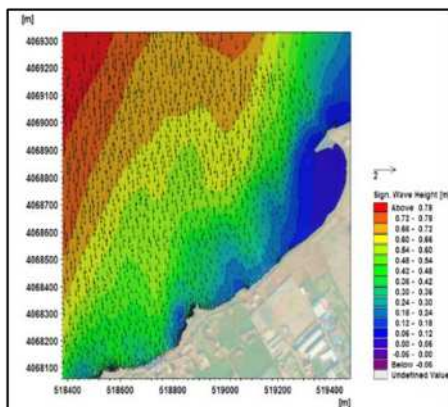


Carte de répartition du champ de courant de la houle, MWD=315° ;
H=6.65 ; T=12.6s

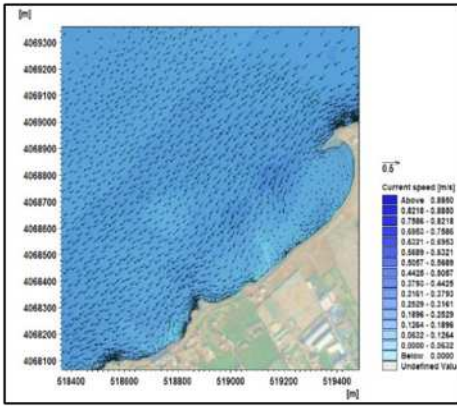


Carte de répartition du flux sédimentaire de la houle, MWD=315° ;
H=6.65 ; T=12.6s

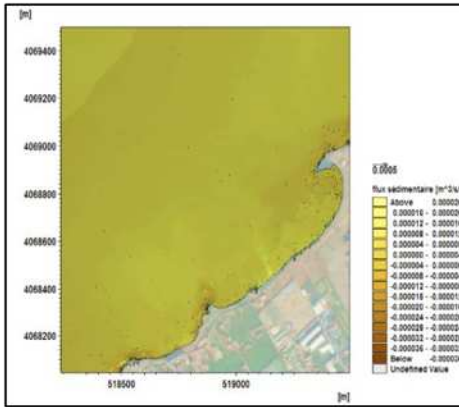
Annexe II-10 : Carte de la réfraction de la houle de direction N360



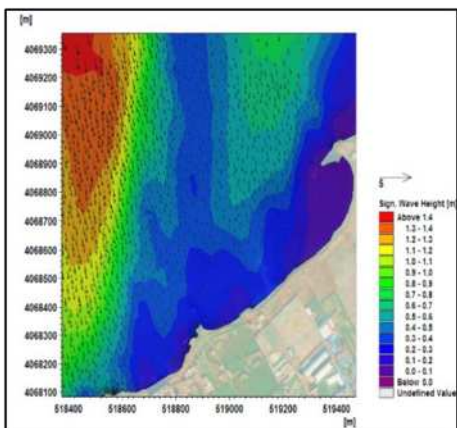
Carte de répartition du champ de réfraction de la houle, MWD=360° ;
H=1 ; T=6s



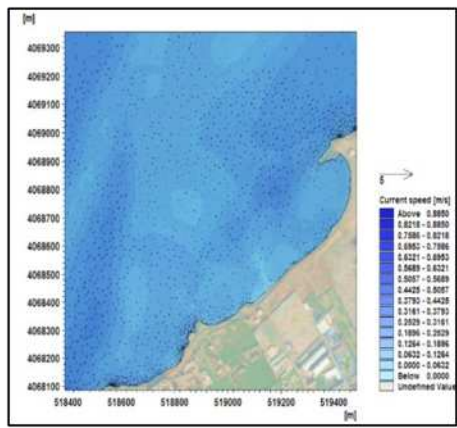
Carte de répartition du champ de courant de la houle, MWD=360° ;
H=1 ; T=6s



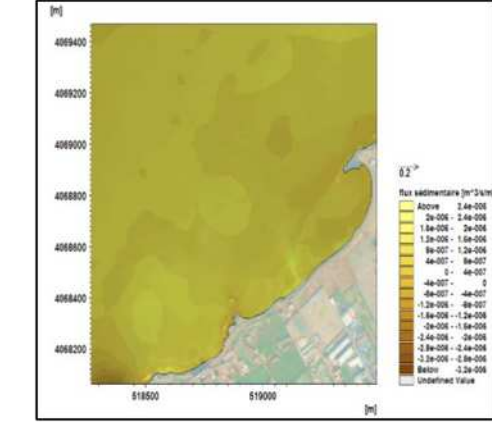
Carte de répartition du flux sédimentaire de la houle, MWD=360° ;
H=1 ; T=6s



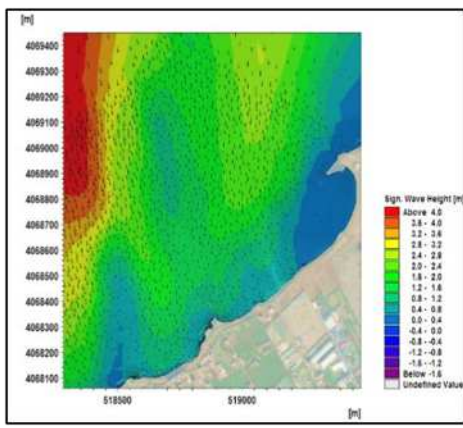
Carte de répartition du champ de réfraction de la houle, MWD=360° ;
H=4.92 ; T=10s



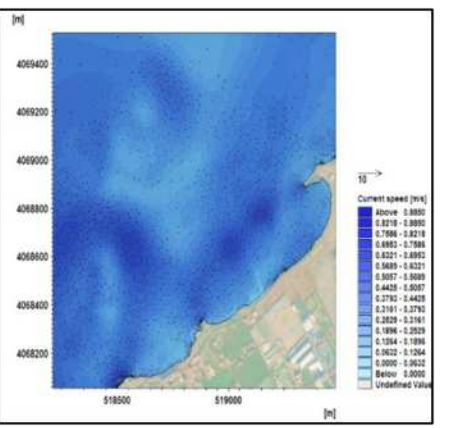
Carte de répartition du champ de COURANT de la houle, MWD=360° ;
H=4.92 ; T=10s



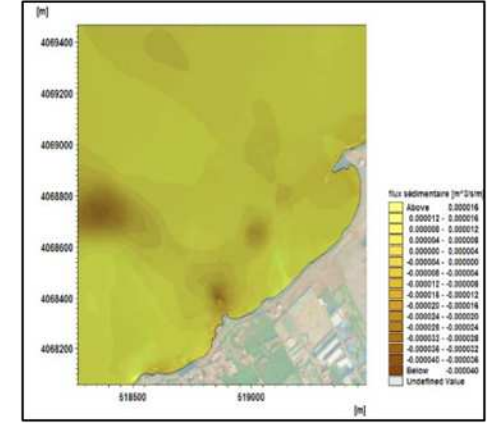
Carte de répartition du flux sédimentaire de la houle, MWD=360° ;
H=4.92 ; T=10s



Carte de répartition du champ de réfraction de la houle, MWD=360° ;
H=7.02; T=12.92s

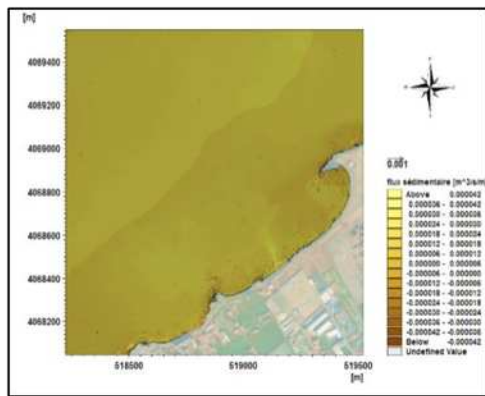
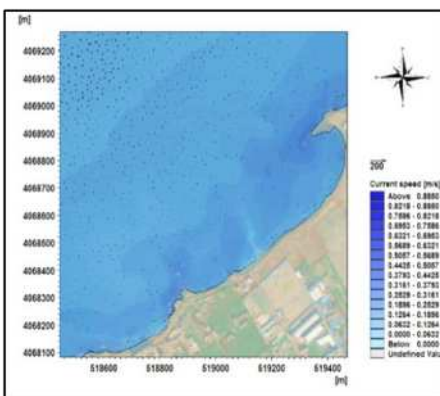
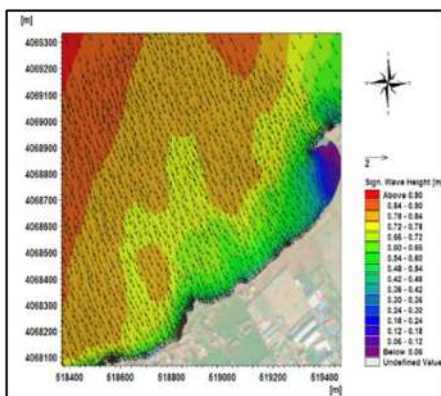


Carte de répartition du champ de réfraction de la houle, MWD=360° ;
H=7.02; T=12.92s



Carte de répartition du champ de réfraction de la houle, MWD=360° ;
H=7.02; T=12.92s

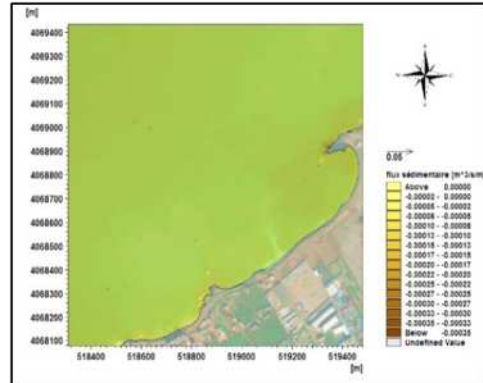
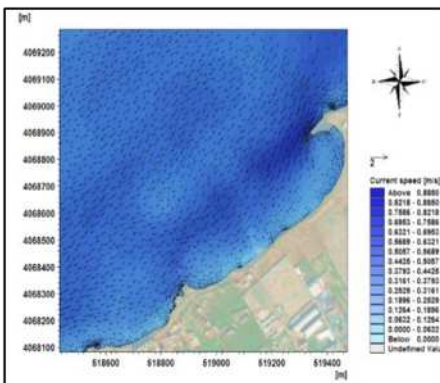
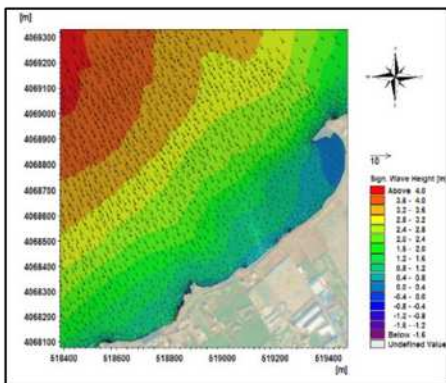
Annexe II-11 : Carte de la réfraction de la houle de direction N345



Carte de répartition du champ de réfraction de la houle, MWD=345° ;
H=1; T=6s

Carte de répartition du champ de courant de la houle, MWD=345° ;
H=1; T=6s

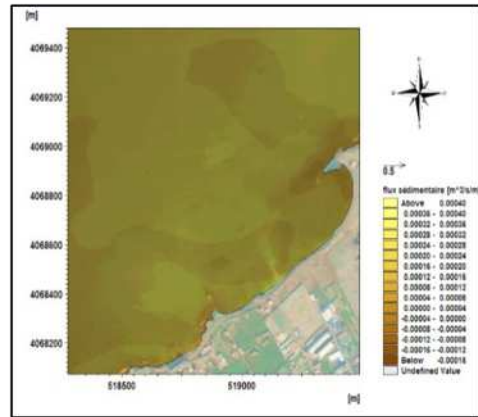
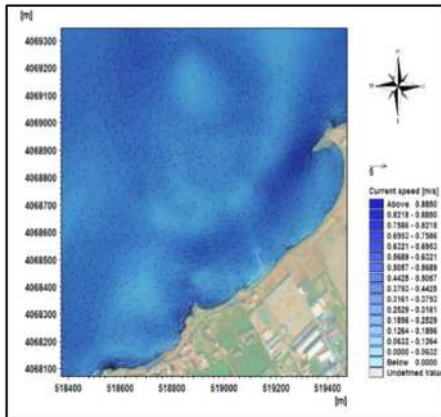
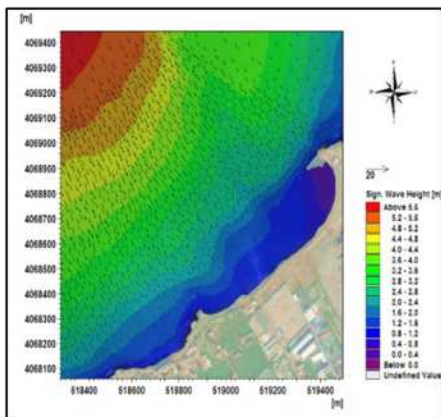
Carte de répartition du flux sédimentaire de la houle, MWD=345° ;
H=1; T=6s



Carte de répartition du champ de réfraction de la houle, MWD=360° ;
H=4.92 ; T=10s

Carte de répartition du champ de courant de la houle, MWD=360° ;
H=4.92 ; T=10s

Carte de répartition du flux sédimentaire de la houle, MWD=360° ;
H=4.92 ; T=10s



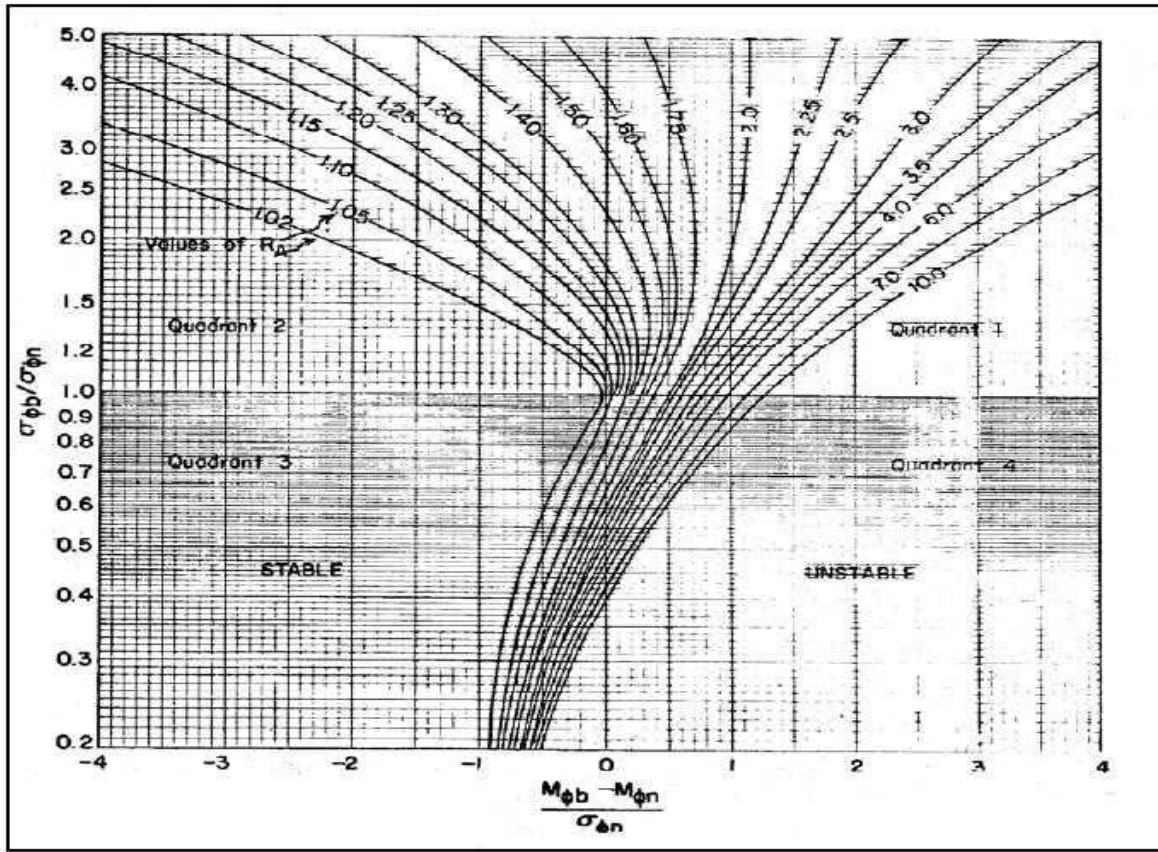
Carte de répartition du champ de réfraction de la houle, MWD=360° ;
H=7.02; T=12.92s

Carte de répartition du champ de courant de la houle, MWD=360° ;
H=7.02; T=12.92s

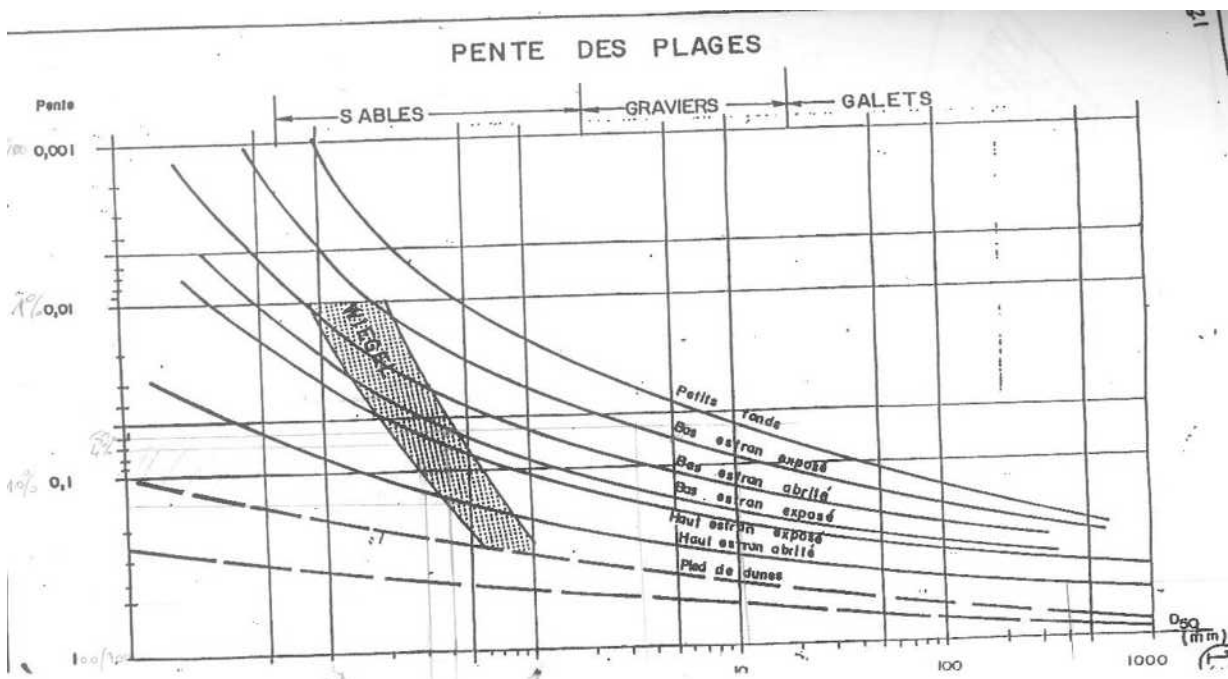
Carte de répartition du flux sédimentaire de la houle, MWD=360° ;
H=7.02; T=12.92s

ANNEXE III

Annexe III-1 : abaque de Wiegel

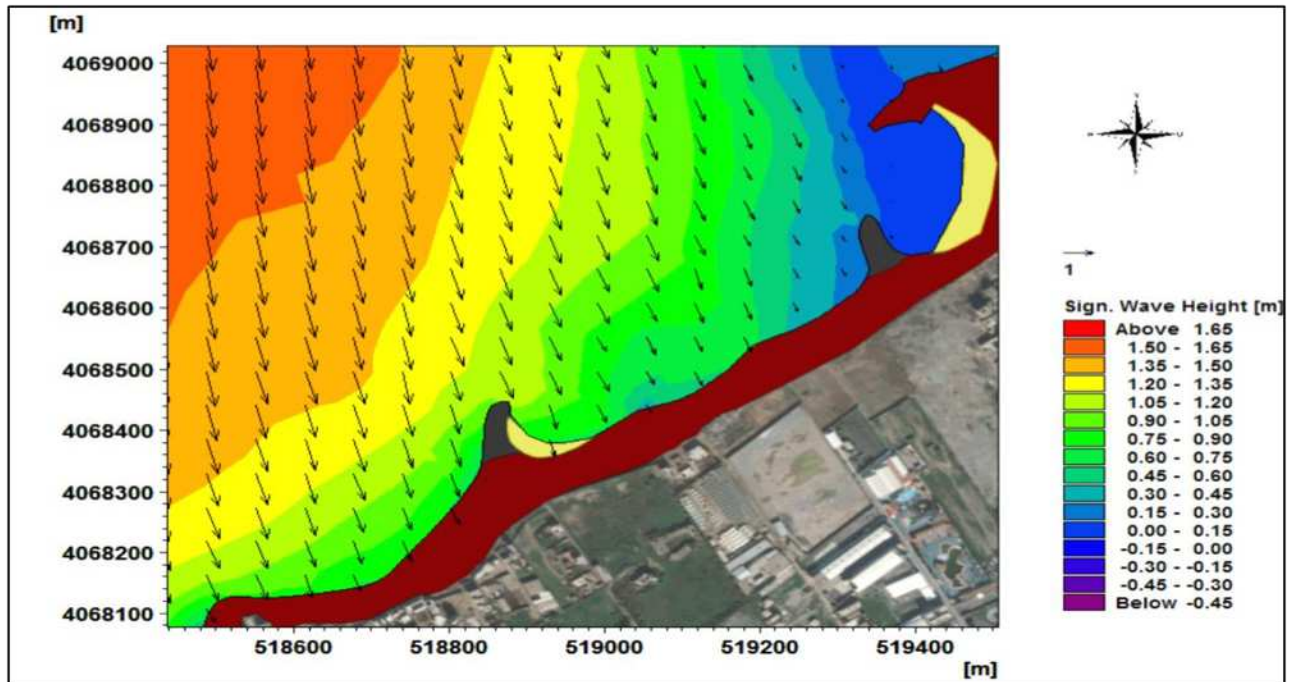


Annexe III-2 : abaque de la pente de plage en fonction du diamètre moyen

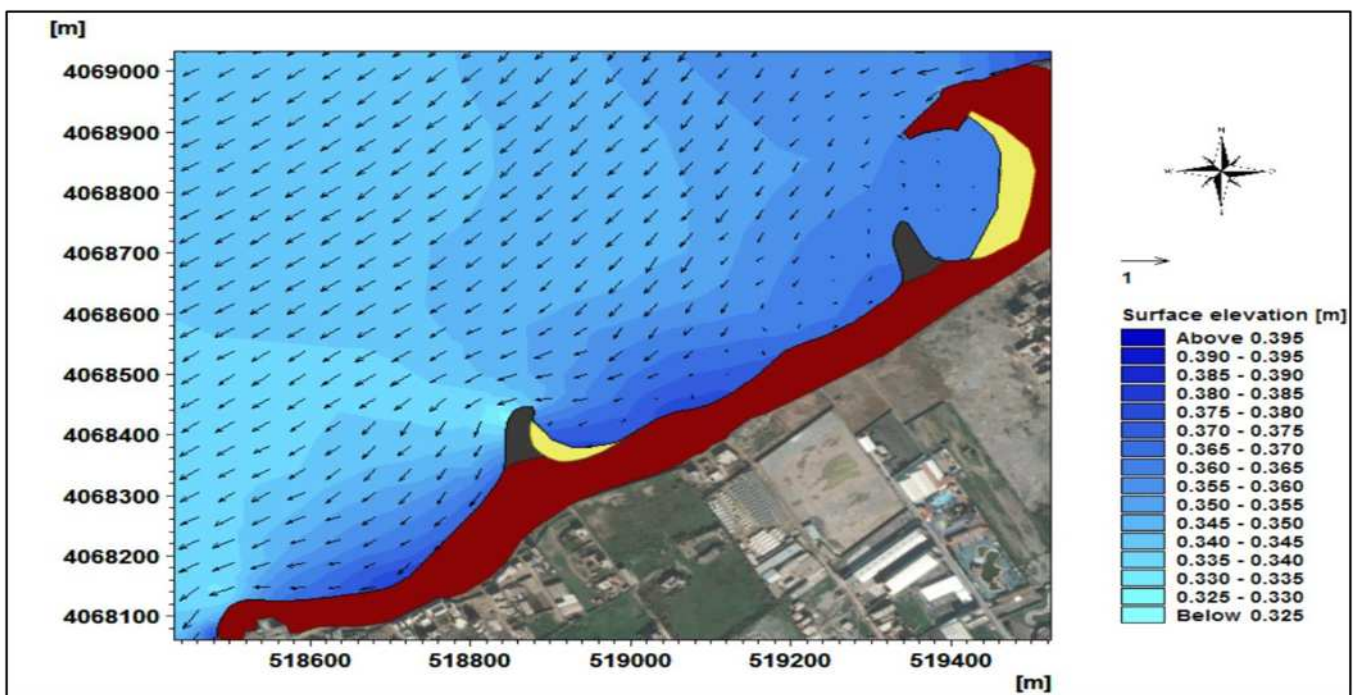


ANNEXE IV

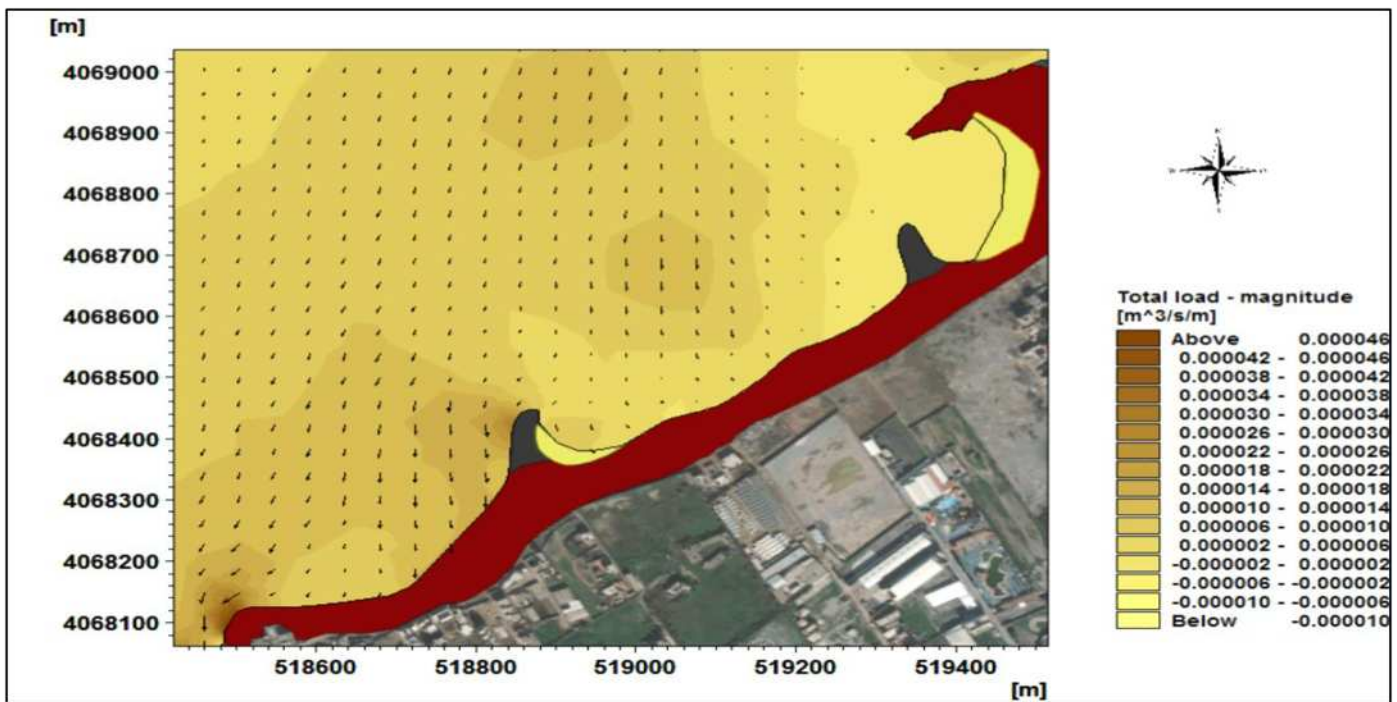
Annexe IV-1 : Carte de répartition du champ de réfraction de la houle, MWD=360° ; H=1.7 ; T=6.08s, après l'aménagement



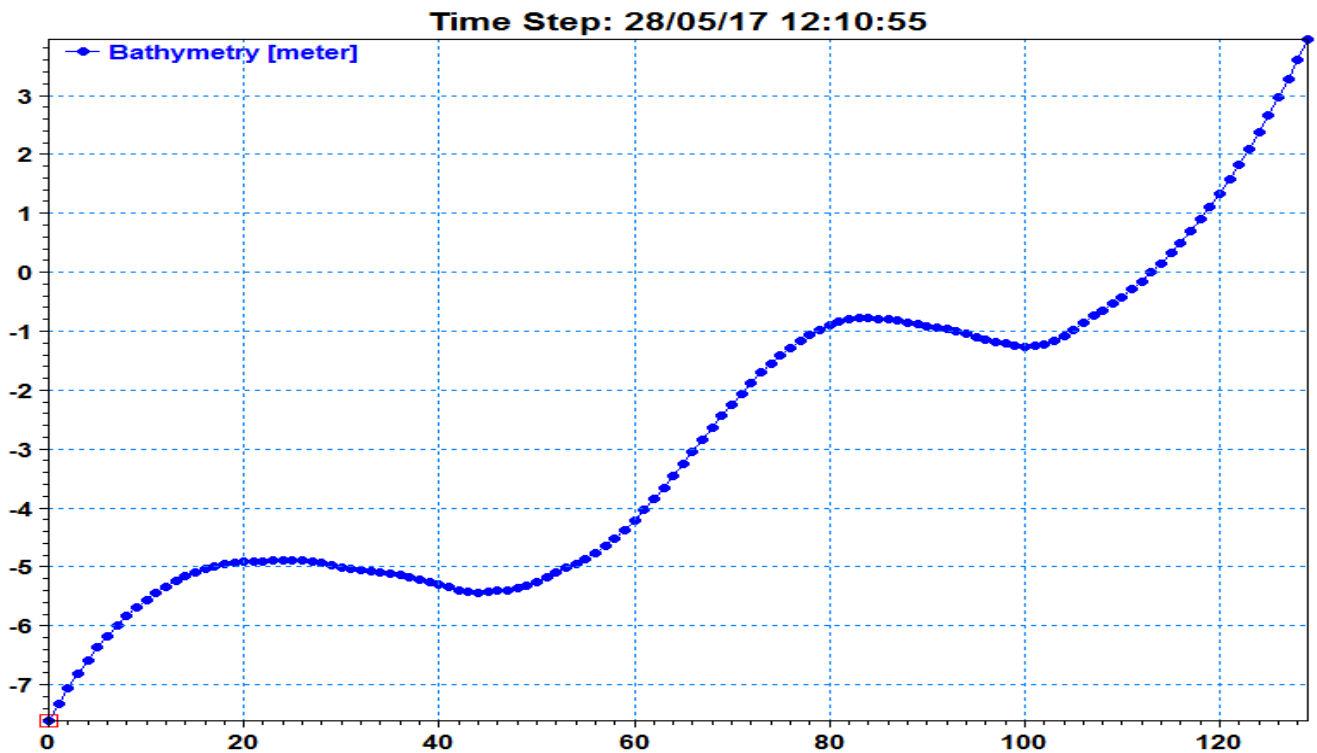
Annexe IV-2 : Carte de répartition du champ de courant de la houle, MWD=360° ; H=1.7 ; T=6.08s



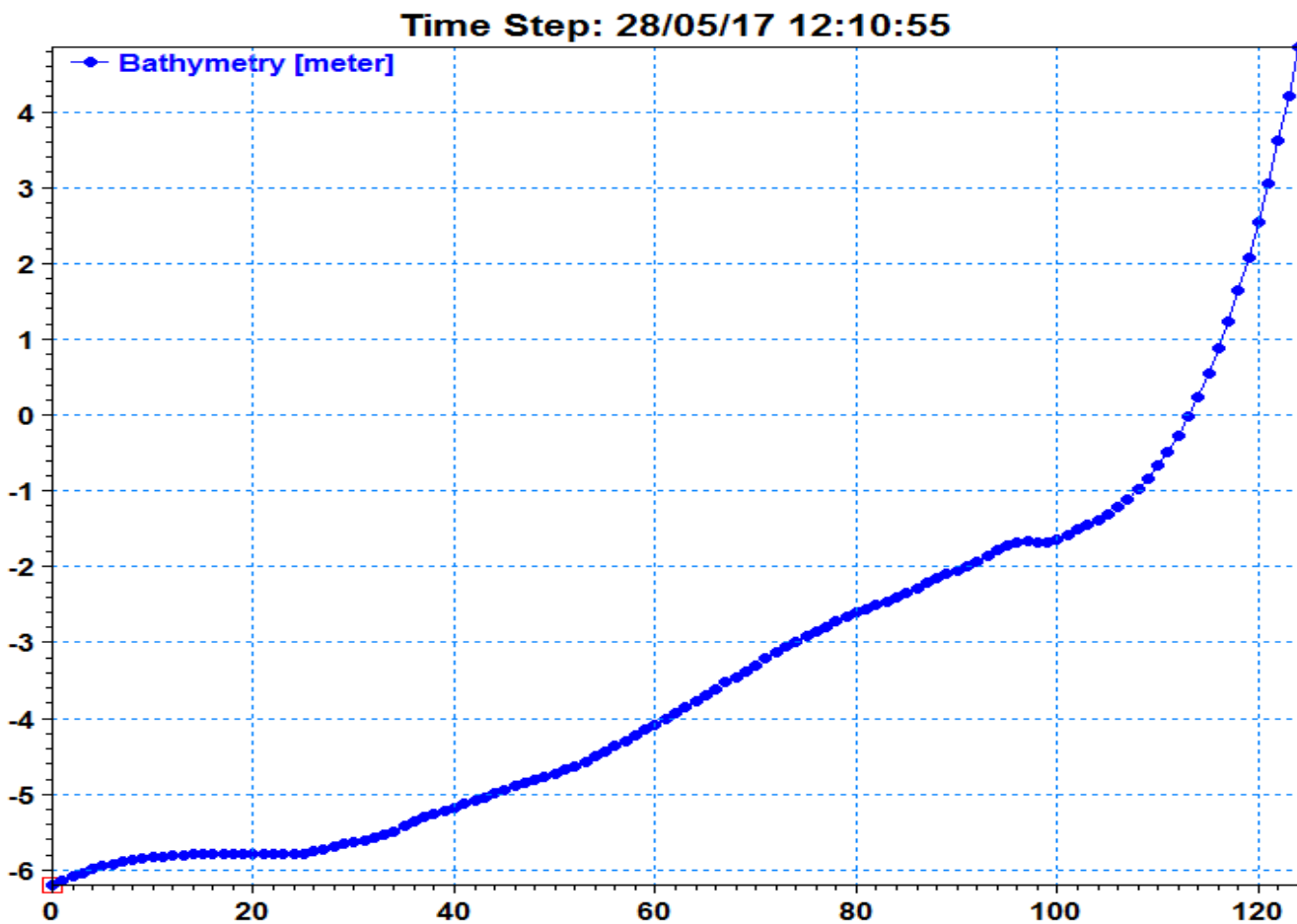
Annexe IV-3 : Carte de répartition du flux sédimentaire de la houle, MWD=360° ; H=1.7; T=6.08s, simulation après aménagement



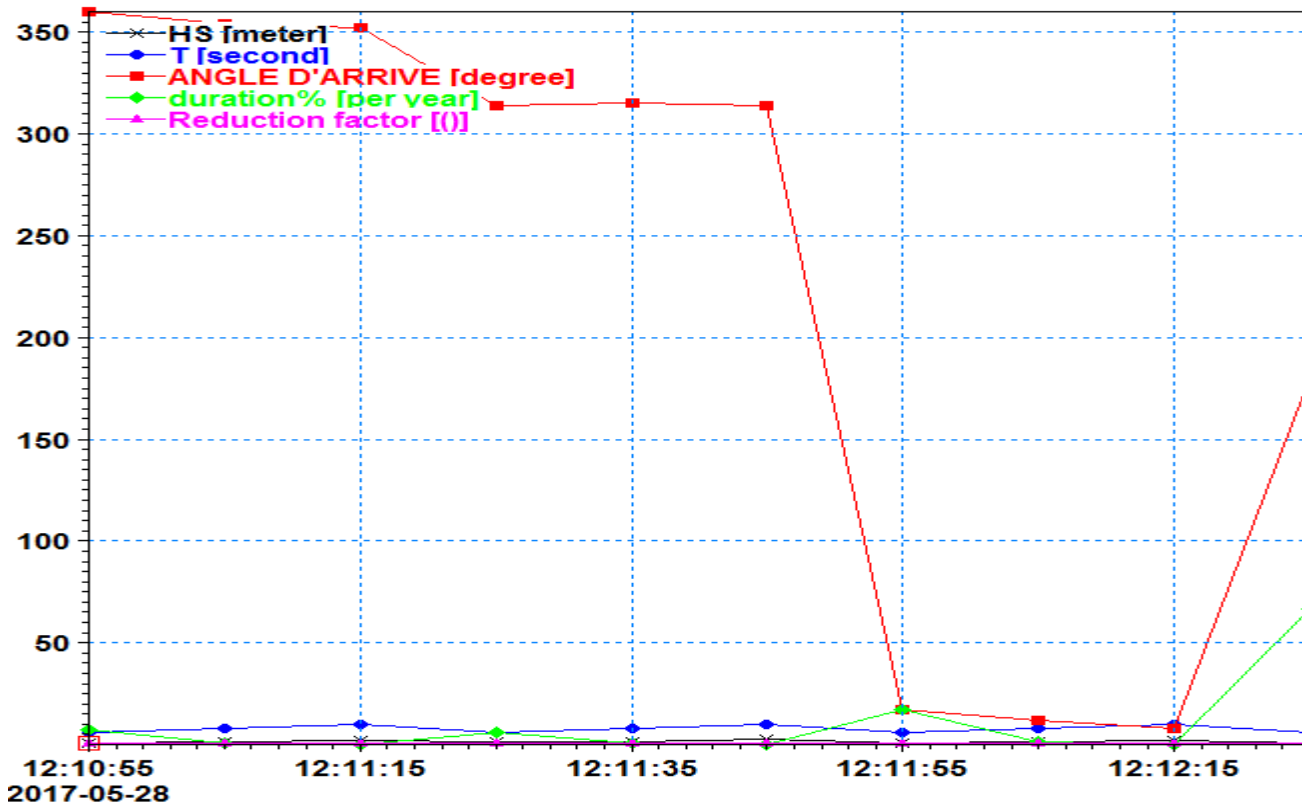
Annexe IV- 4: profil bathymétrique est utilisé dans le module LITDRIFT



Annexe IV- 5: profil bathymétrique ouest utilisé dans le module LITDRIFT



Annexe IV-6 : condition de houle utilisée dans le module LITPACK



Annexe IV-7 : Tableau de classement des dégâts selon le débit de franchissement

	q Débit franchissant moyen (m ³ /s par m)	V_{max} Volume franchissant maximum (m ³ /m)
Piétons		
Dangereux pour des piétons ignorant les risques, plutôt facilement contrariés ou effrayés ; pas de visibilité claire sur la mer, passages étroits ou bord très proche	$q > 3 \cdot 10^{-5}$	$V_{max} > 2 \cdot 10^{-3} - 5 \cdot 10^{-3}$
Dangereux pour des piétons conscients des risques, pas facilement contrariés ou effrayés, capables de tolérer d'être mouillés ; bonne visibilité sur la mer, passage plus large	$q > 1 \cdot 10^{-4}$	$V_{max} > 0.02 - 0.05$
Dangereux pour le personnel formé, bien chaussé et protégé, qui s'attend à être mouillé ; franchissement à des niveaux bas seulement, pas de retombées, faible risque de chute depuis le passage	$q > 1 \cdot 10^{-3} - 0.01$	$V_{max} > 0.5$
Véhicules		
Dangereux en cas de conduite à vitesse modérée ou rapide, franchissement impulsif donnant lieu à des retombées ou à des jets très rapides	$q > 1 \cdot 10^{-5} - 5 \cdot 10^{-5}$	$V_{max} > 5 \cdot 10^{-3}$
Dangereux en cas de conduite au pas, franchissement par écoulements pulsatoires à des niveaux bas seulement, pas de retombées	$q > 0.01 - 0.05$	$V_{max} > 0.1$
Marinas		
Naufrage de petits bateaux amarrés à 5-10 mètres du mur, dégâts sur les bateaux de plus grande taille	$q > 0.01$	$V_{max} > 1 - 10$
Dégâts importants sur de plus grands bateaux, voire naufrage	$q > 0.05$	$V_{max} > 5 - 50$
Bâtiments		
Aucun dégât	$q < 1 \cdot 10^{-6}$	
Dégâts mineurs sur les installations etc.	$1 \cdot 10^{-6} < q < 3 \cdot 10^{-5}$	
Dégâts structurels	$q > 3 \cdot 10^{-5}$	
Digues à talus		
Aucun dégât	$q < 2 \cdot 10^{-3}$	
Dégâts si la crête n'est pas protégée	$2 \cdot 10^{-3} < q < 0.02$	
Dégâts si le talus arrière n'est pas protégé	$0.02 < q < 0.05$	
Dégâts même si la protection est complète	$q > 0.05$	
Revêtements de haut de plage, protection de terre-plein		
Aucun dégât	$q < 0.05$	
Dégâts si l'arase n'est pas protégée	$0.05 < q < 0.2$	
Dégâts même si l'arase est protégée	$q > 0.2$	

Etude de stabilité sur canal à houle 2D

« Protection de la cote de Verte Rive »

Echelle du modèle : 1/35

Niveau d'eau moyen : ± 0.00 NGA

Houle de tassement $H_s = 0.9\text{m}$



Etude de stabilité sur canal à houle 2D

« Protection de la cote de Verte Rive »

Echelle du modèle : 1/35

Niveau d'eau moyen : ± 0.00 NGA

T= 1an ; Hs= 2.17m Tp= 7s



Etude de stabilité sur canal à houle 2D

« Protection de la cote de Verte Rive »

Echelle du modèle : 1/35

Niveau d'eau moyen : ± 0.00 NGA

T= 5ans ; Hs= 4.25m ; Ts= 10.1s



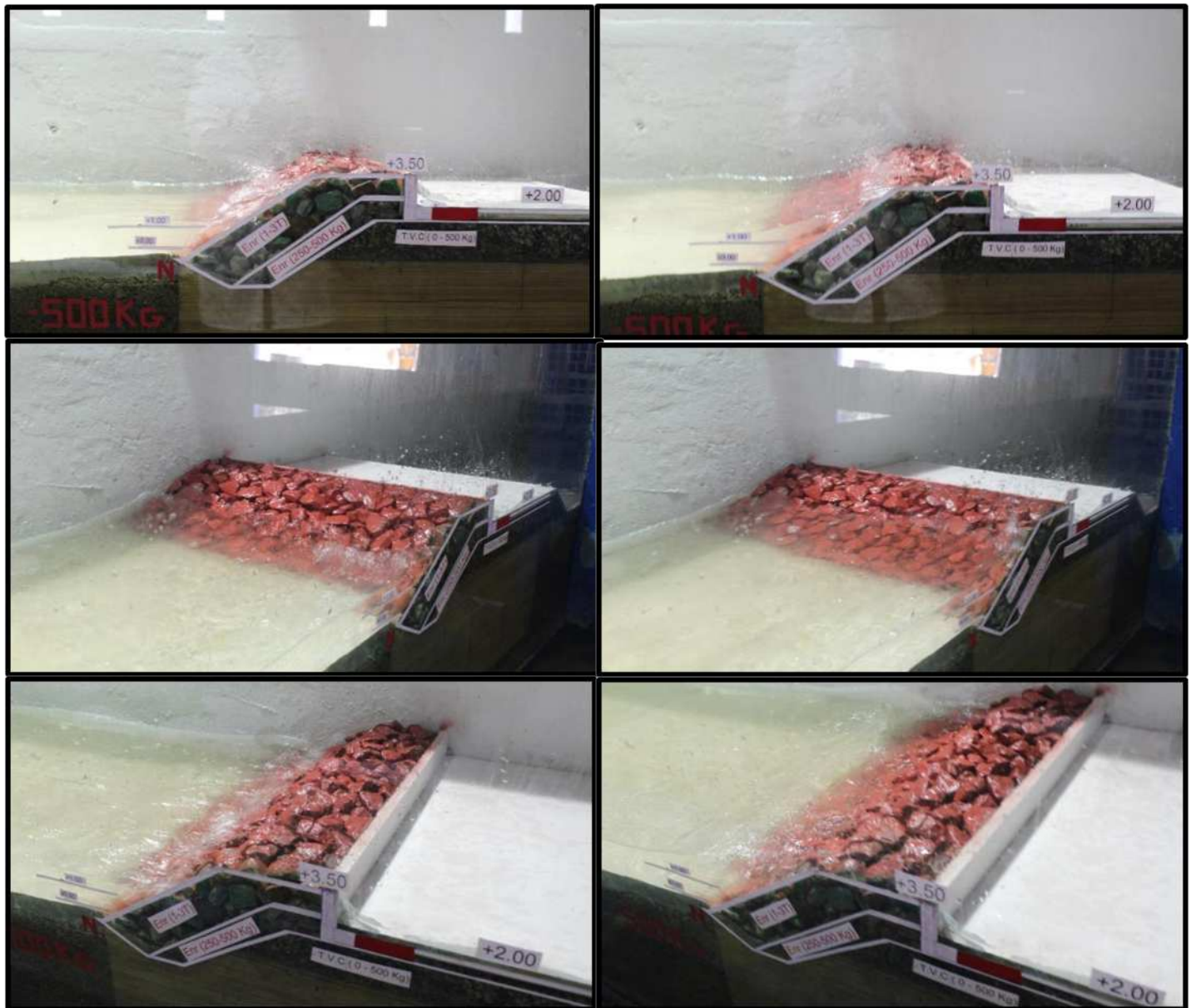
Etude de stabilité sur canal à houle 2D

« Protection de la cote de Verte Rive »

Echelle du modèle : 1/35

Niveau d'eau moyen : ± 0.00 NGA

T= 10ans ; Hs= 4.67m ; Ts= 10.6s



Etude de stabilité sur canal à houle 2D

« Protection de la cote de Verte Rive »

Echelle du modèle : 1/35

Niveau d'eau moyen : ± 0.00 NGA

T= 20ans ; Hs= 5.01m ; Ts= 11s



Etude de stabilité sur canal à houle 2D

« Protection de la cote de Verte Rive »

Echelle du modèle : 1/35

Niveau d'eau moyen : ± 0.00 NGA

T= 50ans ; Hs= 5.41m ; Ts= 11.4s



Etude de stabilité sur canal à houle 2D

« Protection de la cote de Verte Rive »

Echelle du modèle : 1/35

Niveau d'eau moyen : ± 0.00 NGA

T= 100ans ; Hs= 5.65m ; Ts= 11.7s



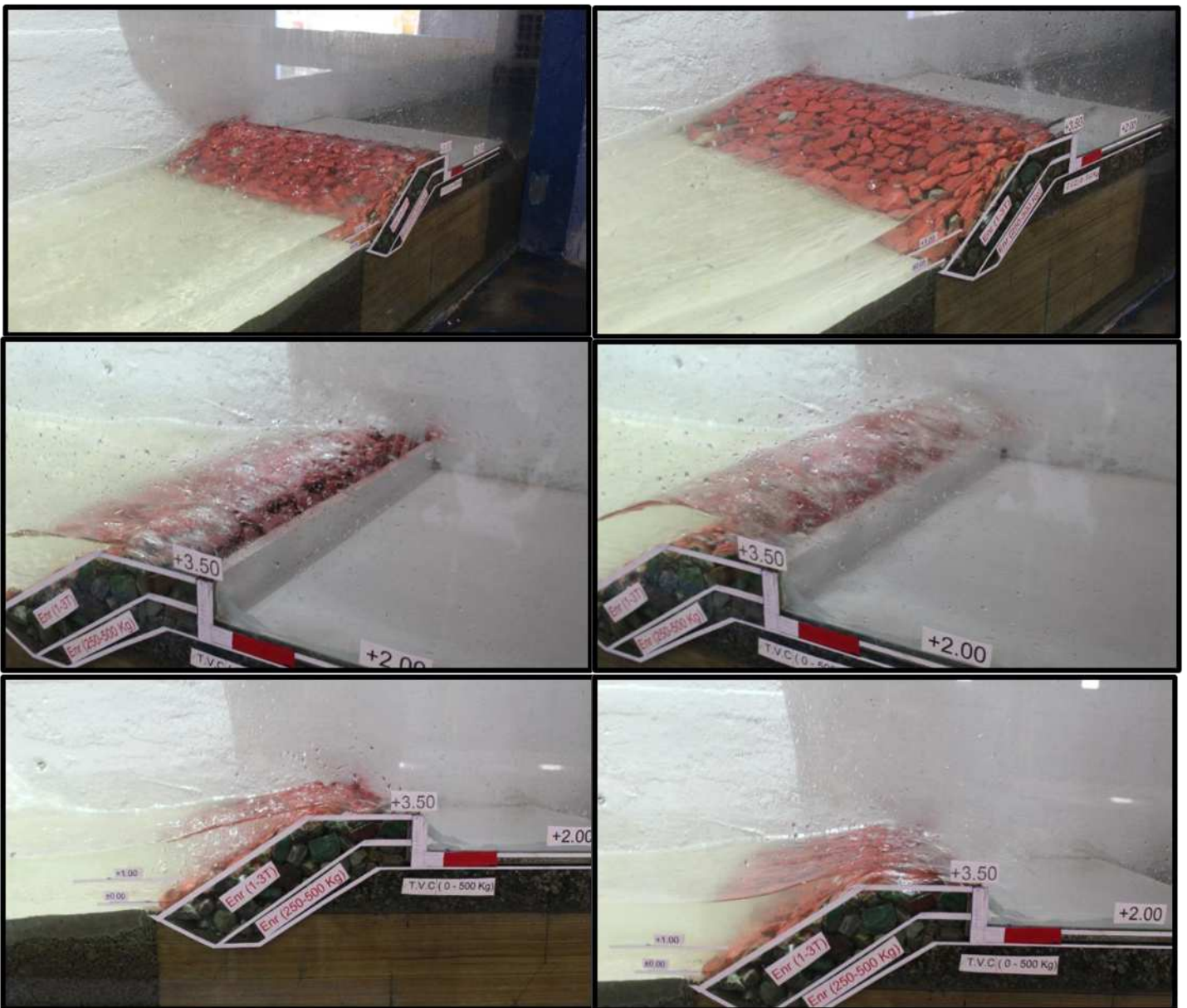
Etude de stabilité sur canal à houle 2D

« Protection de la cote de Verte Rive »

Echelle du modèle : 1/35

Niveau d'eau moyen : ± 1.00 NGA

T= 50ans ; Hs= 5.41m ; Ts= 11.4s



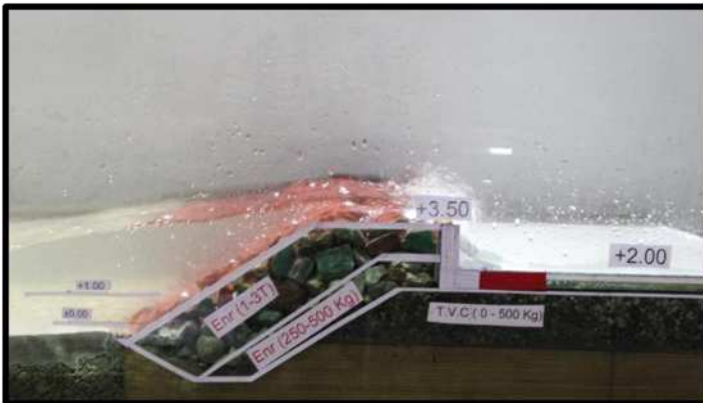
Etude de stabilité sur canal à houle 2D

« Protection de la cote de Verte Rive »

Echelle du modèle : 1/35

Niveau d'eau moyen : ± 1.00 NGA

T= 100ans ; Hs= 5.41m ; Ts= 11.4s

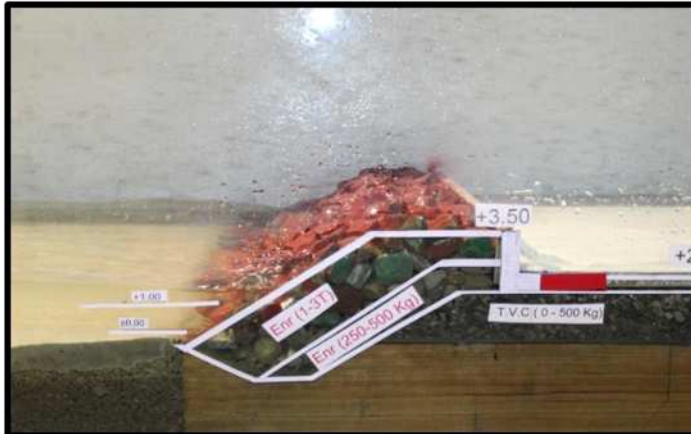
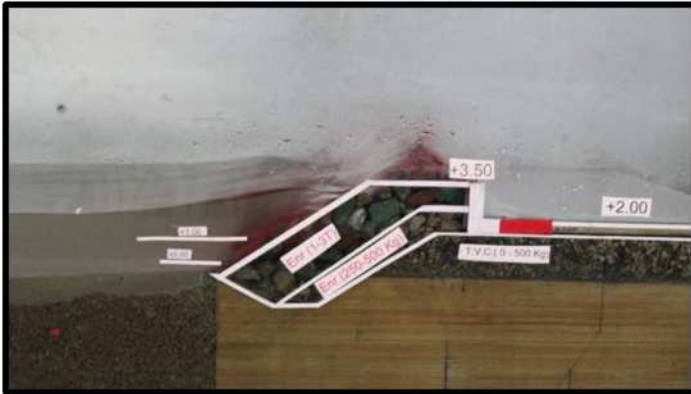


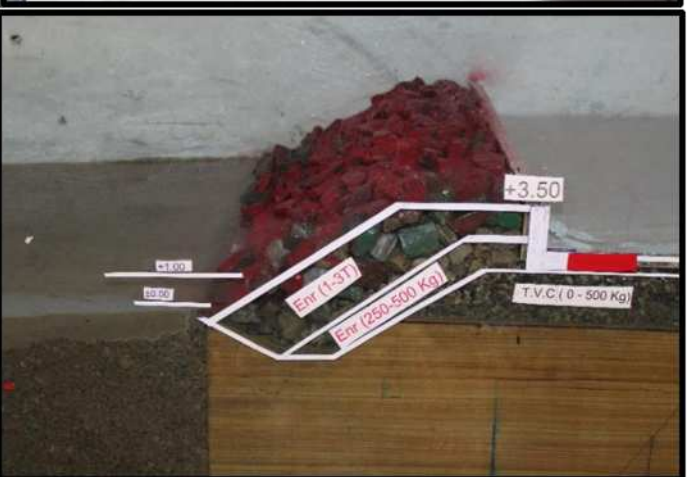
Etude de stabilité sur canal à houle 2D

« Protection de la cote de Verte Rive »

Echelle du modèle : 1/35 ; Niveau d'eau moyen : ± 1.00 NGA

T= 100ans (série d'endurance) ; Hs= 5.65m ; Ts= 11.7s





Étude de protection et d'aménagement de la zone de Verte Rive « Bordj EL Kiffan », Recours à la modélisation physique et numérique (MIKE21, LITPACK).

Résumé :

Le rivage de Verte Rive a connu ces dernières années un réel problème d'érosion, c'est un problème inéluctable de portée internationale. Il devient, par conséquent de plus en plus nécessaire de protéger ces zones littorales afin qu'elles continuent d'assurer les fonctions qui leurs ont été confiées.

Le présent mémoire s'articule en cinq chapitres :

Le premier chapitre a fait l'objet d'une description complète de la zone d'étude et, son cadre géographique et ces principales caractéristiques physiques.

Le deuxième chapitre est consacré à la collecte et l'analyse des données présentes dans la zone de verte Rive pour pouvoir interpréter et tirer une conclusion sur l'état du site

Dans le troisième chapitre, nous avons proposé les ouvrages et les solutions d'aménagements

Le chapitre qui suit a pour objet de vérifier la stabilité de la solution d'aménagement et étudier leur impact, intitulé Modélisation de la solution d'aménagement, modélisation numérique et physique.

Le dernier chapitre concernera la mise en place d'une Gestion Intégrée des Zone Côtières « GIZC » pour le centre de la Baie d'Alger.

Mot clé : Modélisation numérique- Modélisation physique- LITPACK- Canal à houle- érosion- étude de protection- MIKE21- Plage artificielle.

Abstract :

The shoreline of Verte Rive has experienced a real erosion problem in recent years; it is an inescapable problem of international importance. It is therefore becoming increasingly necessary to protect these coastal areas so that they continue to carry out the functions entrusted to them.

This submission is divided into five chapters:

The first chapter has been the subject of a complete description of the study area and its geographical and physical characteristics.

The second chapter is devoted to collecting and analyzing the data present in the Green Rive area in order to be able to interpret and draw conclusions about the state of the site

In the third chapter, we proposed the works and the solutions of development

The purpose of this chapter is to verify the stability of the management solution and study its impact, called Modeling of the management solution, numerical and physical modeling.

The last chapter will concern the implementation of an Integrated Coastal Zone Management "ICZM" for the center of the Bay of Algiers.

Keyword: Numerical modeling- Physical modeling- LITPACK- Erosion swell- protection study- MIKE21- Artificial beach.

شهد شاطئ (الشاطئ الأخضر) مشكلة تآكل حقيقية في السنوات الأخيرة؛ وهي مشكلة لا مفر منها ذات أهمية دولية. ولذلك أصبح من الضروري بصورة متزايدة حماية هذه المناطق الساحلية لكي تواصل الاضطلاع بالمهام الموكولة إليها.

وينقسم هذا التقديم إلى خمسة فصول:

وكان الفصل الأول موضوع وصف كامل لمنطقة الدراسة وخصائصها الجغرافية والمادية.

وبخصوص الفصل الثاني لجمع وتحليل البيانات الموجودة في المنطقة الخضراء من أجل التمكن من تفسير واستخلاص استنتاجات حول حالة الموقع

في الفصل الثالث، اقترحنا أعمال وحلول التنمية

والغرض من هذا الفصل هو التحقق من استقرار حل الإدارة ودراسة تأثيرها، ودعا النمذجة من حل الإدارة والنمذجة العددية والفيزيائية.

وسيتناول الفصل الأخير تنفيذ الإدارة المتكاملة للمناطق الساحلية "GIZC" في وسط خليج الجزائر العاصمة.