

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DES SCIENCES
DE LA MER ET DE L'AMENAGEMENT DU LITTORAL



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE EN VUE D'OBTENTION DU DIPLOME
D'INGENIEUR
EN SCIENCES DE LA MER

OPTION : AMENAGEMENT DU LITTORAL

THEME :

**AMENAGEMENT DE LA PROMENADE DE LA BAIE D'ALGER :
ETUDE SUR MODELE REDUIT PHYSIQUE DU TRANSPORT SEDIMENTAIRE
DANS LA PROMENADE DES SABLETTES « BAIE D'ALGER »**

Réalisé par :

***M^{lle}* MECHOUET Ouzna.**

***M^{lle}* MESBAHI Yasmine.**

Soutenu le 10-07-2016 à 14 h devant le membre de jury :

Mme HAMDI Safia	Maître de Conférences B (ENSSMAL)	Présidente
M. BELKKESSA Rabah	Professeur(ENSSMAL)	Promoteur
Mme STIHI Yasmine	Ingénieur (LEM)	Co-promotrice
M. MEZOUAR Khoudir	Maître de Conférences B (ENSSMAL)	Examineur
Mme BAKRI Lila	Ingénieur chef de projet (LEM)	Examinatrice

Promotion : 2015/2016

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DES SCIENCES
DE LA MER ET DE L'AMENAGEMENT DU LITTORAL



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE EN VUE D'OBTENTION DU DIPLOME DE
D'INGENIEUR D'ETAT & MASTER 2
EN SCIENCES DE LA MER

OPTION : AMENAGEMENT DU LITTORAL

THEME :

AMENAGEMENT DE LA PROMENADE DE LA BAIE D'ALGER :
ETUDE SUR MODELE REDUIT PHYSIQUE DU TRANSPORT SEDIMENTAIRE
DANS LA PROMENADE DES SABLETTES « BAIE D'ALGER »

Réalisé par :

***M^{lle}* MECHOUET Ouzna.**

***M^{lle}* MESBAHI Yasmine.**

Soutenu le 10-07-2016 à 14 h devant le membre de jury :

Mme HAMDY S.	Maître de Conférences B (ENSSMAL)	Présidente
M. BELKKESSA R.	Professeur(ENSSMAL)	Promoteur
Mme STIHI Y	Ingénieur (LEM)	Co-promotrice
M. MEZOUAR K.	Maître de Conférences B (ENSSMAL)	Examineur
Mme BAKRI L.	Ingénieur chef de projet (LEM)	Examinatrice

Promotion : 2015/2016

Dédicace

*Je dédie ce travail à mes chers parents, ma mère **S** qui m'a toujours encouragé, mon père **L** qui m'a toujours fait confiance, ma sœur **Amira** et mon frère **Zaki** qui sont mes confidents et ma source de joie, je n'en serais pas là sans votre assistance, sans votre présence, je n'aurais jamais assez de mots pour vous remercier*

Mes chaleureuses dédicaces vont à mes grands-parents, qui m'ont accueilli dans leur foyer chaleureux, afin de pouvoir devenir après cinq ans de labeur, ingénieur.

Je n'oublierais pas de citer mes amis mes proches et la promotion d'aménagement du littoral 2016, j'ai passé de merveilleux moments en votre compagnie, je vous dédie ce travail en espérant réussite à tous...

Enfin, à mes sources d'inspiration, qui même de si loin, ne cessent de m'encourager et de me pousser à donner le meilleur de moi-même

Yasmine

Dédicace

Les études sont avant tout mon unique et seul atout, ils illuminent mon existence, ce n'est qu'une étoile brillante de ma réjouissance, espérant des lendemains épiques avec un avenir glorieux et magique. Je souhaite que le fruit de mes efforts fournis jour et nuit, me mène vers le bonheur fleuri.

Mon père A., Ma maman R : vos prières et votre bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études. Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que vous méritez pour tous les sacrifices que vous ne cessez de me donner

Ma chère tata Djamila, Tonton Marzouk : affables, honorables, aimables ce n'est qu'un exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi.

Mes chaleureuses dédicaces à mon plus grand exemple **grand père, grand-mère**, où je demande au Bon Dieu tout puissant, de vous préserver et vous accorder santé, longue vie et bonheur.

Frère : Mohamed

Sœurs : Nariméne, Drifa, Imane

Aux deux familles : MECHOUET & LEZOUL

Aux oncles et tantes, amis et camarades !

Je le dédie à toute personne que je connais de près ou de loin !

Ouzna

Remerciement

Même si ce travail de projet de fin d'étude est une activité qui semble très solitaire, parsemée de moments de doutes, stresse, ambivalence, échecs, joie, découverte, il est aussi mais certainement le fruit d'un travail d'équipe, d'honorable rencontres de collaborations diverses et enrichissantes.

Aujourd'hui, ici rassemblés auprès des jurys, nous prions Dieu que cette soutenance fera signe de persévérance et que nous serions enchantés par notre travail.

Au préalable, nous voudrions avant tout remercier chaleureusement notre promoteur **Pr BELKKESSA R.**, qui a accepté de diriger cet humble travail mais précisément pour ses directives et conseils ainsi que l'enseignement de qualité qu'il nous a offert, où il a su nourrir nos réflexions et a représenté une profonde satisfaction intellectuelle.

Ensuite, un immense merci également aux pionniers du **LEM** qui constituent une véritable équipe gagnante : **BAKRI, FISSAH, MOKADEM, BENAÏSSA, SOUFARI, BELKKESSA** et tout le staff du CEM, qui nous ont toujours aidé à éclairer la voie de la compréhension des mystères du domaine de la modélisation physique et nous initié au domaine de l'ingénierie maritime. Particulièrement à notre Co-promotrice **STIHI Yasmine** qui nous a assistés tout au long de ce stage pratique, et qui n'a jamais hésité de nous apporter une aide scientifique mais aussi morale.

Nos vifs remerciements au professeur **AIT YAHYATEN A (ENP)**, qui a toujours été là pour nous guider et nous soutenir par ses conseils prodigués durant toute notre formation au sein de l'établissement, remarques et encouragements qui étaient très utiles pour le moral .

Nous adressons nos sincères remerciements à tous les professeurs de l'**ENSSMAL**, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs gestes, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé nos réflexions et ont accepté de nous rencontrer et répondre présent à nos questions, besoins, colères, stresse ... durant nos recherches

Nous exprimons nos profondes gratitude **Mme HAMDI Safia**, d'avoir accepté de présider le jury, et aussi pour ses encouragements et conseils tout au long de ces années.

Nous remercions ainsi **Mme BAKRI L**, ingénieur chef de projet au **LEM**, pour avoir bien voulu nous accorder du temps de lire et examiner notre travail, mais aussi pour sa totale disponibilité et son partage d'expériences , ses appuis ,et sens de la vie tout au long de cette étude.

Nos remerciements s'adressent aussi à **Mr MEZOUAR K**, pour avoir voulu examiner notre travail, ainsi que pour son aide et son enthousiasme et ses conseils dans le domaine du génie côtier.

Au soutien sans cesse ni faille de nos proches, amis, camarades, familles, présents tout au long de ces années mais aussi aux oubliés de cette liste qui voudront bien nous pardonner nos vifs remerciements

Enfin nous nos plus grands remerciements s'adressent aux deux familles **AIT YAHYATEN, LALLALI** qui ont pris le soin de nous accueillir et nous ouvrir la porte de leur petit foyer tout au long de notre cursus universitaire dans l'espoir de réussir et s'épanouir.

Merci à tout lecteur !

TABLE DE MATIERE

Table des matières	I
Liste des figures	II
Liste des tableaux	III
Liste des acronymes	IV
Introduction générale	13

Partie 1 : Cadre général de l'étude

Chapitre 1 : Cadre général de la zone d'étude

I. CADRE GEOGRAPHIQUE.....	16
I.1. Baie d'Alger.....	16
I.2. Site des « Sablettes » :	16
II. CADRE GEOLOGIQUE ET GEOMORPHOLOGIQUE	17
II.1. Caractéristiques géologiques	17
II.2. Caractéristiques géomorphologique.....	18
III. CADRE CLIMATIQUE ET HYDROGRAPHIQUE	19
III.1. La température.....	19
III.2. La précipitation.....	19
III.3. Vent.....	20
III.4. Hydrographie	20
III.5. Océanographie	22
III.6. Description des aménagements maritimes de Sablettes.....	24
III.7. Reportage photos.....	24

Partie 2 : Collecte et analyse des données

Chapitre 2: Etude sedimentologique

INTRODUCTION.....	29
I. ANALYSE SEDIMENTOLOGIQUE	29
I.1. Echantillonnage.....	29
I.2. Analyse granulométrique.....	29
II. RESULTAT DE L'ANALYSE	30
II.1. Analyse des courbes cumulatives.....	30
III. CONCLUSION	36

Chapitre 2: Etude du trait de côte

INTRODUCTION.....	37
I. TRAIT DE COTE.....	37
III.1. Dynamiques côtières et interactions	37
III.2. Méthode de suivi et de gestion du trait de côte	38

III.3. Résultat et interprétation.....	41
IV. ETUDE DES PROFILS.....	44
IV.1. Levé topographique	44
V. CONCLUSION	49

Partie 3 : Modélisation numérique et physique

Chapitre 4: Modélisation numérique

INTRODUCTION.....	51
I. MODELISATION NUMERIQUE DES COURANTS ET VAGUES	51
II. SIMULATION NUMERIQUE DE LA ZONE DES SABLETTES PAR MIKE-21	51
II.1. Principe de la simulation par MIKE21-DHI.....	51
III. RESULTAT DE LA SIMULATION	54
III.1. Paramétrage du modèle	54
III.2. Résultats de la simulation par SW.....	56
CONCLUSION.....	62

Chapitre 5: Modélisation physique

I. INTRODUCTION	63
I. GENERALITES	63
I.1. L'intérêt de la modélisation dans le domaine maritime.....	63
I.2. Notions fondamentales	63
I.3. Types d'étude sur modèles réduits	64
I.4. Principe de la modélisation	65
II. SIMILITUDE.....	65
III. APPLICATION DE LA MODELISATION PHYSIQUE SUR LE SITE DES SABLETTES	69
III.1. Choix de l'échelle	69
III.2. Construction du modèle	71
III.3. Calibration hydraulique	83
III.4. Calibration sédimentologique	83
III.5. Evolution des fonds	89
III.6. Description des essais à venir.....	94
CONCLUSION GENERALE.....	95

Liste des figures

Figure n° 1 : Situation géographique de la Baie d'Alger (Google Earth Pro, 2015)	16
Figure n° 2: Situation géographique de la zone d'étude des « Sablettes ».....	17
Figure n° 3 : Carte géologique de la région d'Alger (JICA, 2006)	18
Figure n° 4 : Cadre géomorphologique continental et côtier de la zone d'étude	18
Figure n° 5 : Pluviométrie moyenne de la baie d'Alger 1975-2010 (<i>ONM, 2010</i>)	19
Figure n° 6: Situation géographique des deux embouchures d'oued el Harrach et d'oued el Hamiz au niveau de la baie d'Alger	21
Figure n° 7 : Statistique des houles au large de la baie d'Alger pour une période de retour décennale (SSMO 1963-1970)	22
Figure n° 8: Représentation des différents ouvrages et aménagements décrits	24
Figure n° 9 : Répartition des 200 stations du prélèvement sédimentaire dans la zone	29
Figure n° 10: Graphe représentatif des courbes granulométriques cumulatives des 200 échantillons prélevés au niveau des Sablettes « Baie d'Alger »	30
Figure n° 11 : La répartition de la fraction fine au niveau de « Sablettes ».....	31
Figure n° 12 : Carte de répartition de la médiane granulométrique D_{50} au niveau	32
Figure n° 13 : Carte de la répartition du quartile inférieur Q_{25} au niveau de « Sablettes ».	33
Figure n° 14: Carte de répartition du quartile supérieur Q_{75} au niveau de « Sablettes » ...	33
Figure n° 15 : Carte de l'indice de classement de Trask S_o au niveau de « Sablettes »	34
Figure n° 16 : Relation entre l'indice de classement de Trask (S_o) et la médiane (D_{50})	34
Figure n° 17 : Carte de l'indice d'asymétrie S_k au niveau de « Sablettes »	35
Figure n° 18 : Relation entre l'indice d'asymétrie (S_k) et la médiane (D_{50}).....	35
Figure n° 20 : Fiches techniques du DGPS, théodolite, GPS	39
Figure n° 22 : Représentation des données introduites graphiquement sur DSAS	40
Figure n° 22 : Génération des profils au site des « Sablettes » sur DSAS ArcGis 10.2.2 .	40
Figure n° 23 : Génération et affichage des données nécessaires au calcul des statistiques d'évolution du trait de côte.....	41
Figure n° 24 : Carte d'évolution du trait de côte 1959-1999 du linéaire sableux des « Sablettes » APPL ,2013.....	42
Figure n° 26 : Carte d'évolution du trait de côte 2002-2013 des « Sablettes » réalisée par DSAS ArcGis 10.2.2	42
Figure n° 27 : Carte d'évolution du trait de côte 2002-2013 en interaction avec le trait de côte 2016	43
Figure n° 28 : l'instrument de mesures Théodolite, et GPS utilisé pour l'étude topographique dans la zone « des Sablettes »	44
Figure n° 29 : Réalisation des profils de plage de « Piquet blanc » des « Sablettes ».....	45
Figure n° 30 : Localisation des profils transversaux sur la carte bathymétrique	45
Figure n° 31 : l'interface de travail de la macro Profiler au niveau d'Excel	46
Figure n° 32 : Organigramme explicatif de l'approche méthodologique adoptée pour de la modélisation numérique du transport sédimentaire par le logiciel 2D MIKE 21.	52
Figure n° 33: Bathymétrie de la zone des Sablettes établie par le Mike 21	55
Figure n° 34 : Maillage du modelé local des Sablettes, MIKE 21	56
Figure n° 35: Carte représentative de la réfraction de la houle de direction $N 315^\circ$, Période de $T=8s$, Hauteur significative $H_s= 2.64m$	58
Figure n° 36: Carte représentative de la réfraction de la houle de direction $N360^\circ$, Période de $T=8s$, Hauteur significative $H_s= 2.67m$	59
Figure n° 37: Carte représentative de la réfraction de la houle de direction $N45^\circ$, Période de $T=8s$, Hauteur significative $H_s= 2.56m$	59
Figure n° 38: Rose de houles annuelles à la côte de la zone «Sablettes », LEM, 2016	60

Figure n° 39: Carte de la vitesse des courants de la houle de direction N315°, Période de T=8s, Hauteur significative Hs= 2.64m	60
Figure n° 40: Carte de la vitesse des courants de la houle de direction N315°, Période de T=8s, Hauteur significative Hs= 2.64m	61
Figure n° 41: Carte de la vitesse des courants de la houle de direction N45°, Période de T=8s, Hauteur significative Hs= 2.67m	61
Figure n° 50: Carte bathymétrique de la région des « Sablettes », Juillet 2013.....	72
Figure n° 51: Carte des isopaques du recouvrement sédimentaire.....	73
Figure n° 52: Plan modèle de la zone des Sablettes	74
Figure n° 53 : Carte représentative du choix du mélange 1 dont le diamètre moyen $D_{50} = 140 \mu\text{m}$ (Variante 1).....	75
Figure n° 54 : Carte représentative du choix du mélange 2 dont le diamètre moyen $D_{50} = 150 \mu\text{m}$ (Variante 2).....	76
Figure n° 55 : Carte représentative du choix du mélange dont le diamètre moyen $D_{50} = 170 \mu\text{m}$ (Variante 3).....	76
Figure n° 56 : Graphe des courbes granulométriques en modèles, théorie et nature pour le diamètre $D_{50} < 170 \mu\text{m}$	78
Figure n° 57 : Graphe des courbes granulométriques en modèles, théorie et nature pour le diamètre $D_{50} > 170 \mu\text{m}$	79
Figure n° 58 : Batteurs de secteur nord-est mis en place	81
Figure n° 59 : Talus amortissant	81
Figure n° 60 : Mise en place de l'épi n°1 et Oued El-Harrach.....	81
Figure n° 61 : Limite séparant les fonds mobiles des fixes.....	81
Figure n° 62 : Espace laissé aux extrémités du bassin	81
Figure n° 63: Bassin avant construction.....	81
Figure n° 65 : Image satellitaire de l'épi Est en Juillet 2015	83
Figure n° 66 : Image satellitaire de l'épi Est Juillet 2013	83
Figure n° 67 : Houle de secteur Nord-Ouest, de période 10s.....	84
Figure n° 68 : Houle de secteur Nord-Ouest, de période 6s à gauche et de 8s à droite	84
Figure n° 69 : Observation du début de déferlement à la côte	86
Figure n° 70 : Observation du début de formation de la plage à l'aval de l'epi.....	86
Figure n° 71 : Observation début d'accumulation à l'intérieur de l'epi.....	86
Figure n° 72 : Formation de la plage à l'emplacement du terre-plein Est actuel.....	86
Figure n° 73 : Observation des ripples marks	86
Figure n° 74 : Accrétion au près de Oued el El-Harrach par la direction Est	88
Figure n° 75: Formations de deux plages par les directions Nord et Nord-Ouest	88
Figure n° 76 : Formation complète d'une plage stable à l'intérieur de l'épi	88
Figure n° 77: Erosion remarquable de la plage formé à l'Ouest de l'epi.....	88
Figure n° 78: Déplacement des sédiments à l'intérieur de l'épi pour former une plage.....	88
Figure n° 79: Accumulation sédimentaire à l'intérieur de l'épi d'environ 100ml	88
Figure n° 80 : Carte synthétique de l'évolution des fonds 2005-2013 des Sablettes.....	90
Figure n° 81 : Carte bathymétrique en fin de cycle n°1 T_1	91
Figure n° 82 : Carte bathymétrique avant calibration T_0	91
Figure n° 83 : Carte synthétique de l'évolution des fonds après le 1er cycle de calibration Evolution $T_0_T_1$ de la zone Sablettes.....	92
Figure n° 84 : Carte bathymétrique à la fin du cycle n°2, T_2	93
Figure n° 85 : Carte synthétique de l'évolution des fonds après le 2eme cycle de calibration Evolution $T_0_T_2$ de la zone Sablettes	93

Liste des tableaux

Tableau n° 2 : Fréquence d'apparition du vent par vitesse et par direction au large d'Alger (<i>LEM, 1999</i>).....	20
Tableau n° 3 : Caractéristiques générales d'Oued El-Harrach et El Hamiz.....	21
Tableau n° 8 : les barres d'outils de l'extension DSAS	40
Tableau n° 9: Les paramètres d'entrée du modèle SW	53
Tableau n° 10: Les paramètres sortant du modèle SW	53
Tableau n° 12 : Caractéristiques de la houle annuelle au large (LEM ; 2016)	56
Tableau n° 13 : Représentation des résultats de réfraction de la houle au large.....	57
Tableau n° 14 : Système unitaire des grandeurs dimensionnelles	68
Tableau n° 15 : Représentation des dimensions du site naturelles et en modèle (bassin à houle).....	69
Tableau n° 16 : L'ensemble des échelles obtenues pour l'étude sur modèle réduit physique	70
Tableau n° 17 : Tailles des grains naturelles et en modèle après grossissement	77
Tableau n° 18 : les pourcentages et diamètres du pvc en modèle pour la zone fine	78
Tableau n° 19 : les pourcentages et diamètres du pvc PVC en modèle pour la zone grossière	79
Tableau n° 20 : Récapitulatif de l'ensemble des diamètres naturels et en modèle PVC.....	80

Liste des acronymes

AFNOR	Association française de normalisation
ANRH	Agence Nationale des Ressource Hydraulique (Algérie)
APPL	Agence de Promotion et de Protection du Littoral
DGPS	Diffirentiel Global Position System
DSAS	Digital Shoreline Analysis System
GPS	Global Position System
Hs	Hauteur significative de la houle
JICA	Agence Japonaise de Coopération Internationale.
LEM	Laboratoire d'Etude Maritime
MARADJA	Marge continentale d'El Djazair
MI	Mètre Linéaire
Ms	Magnitude séisme
NGA	Nivellement General Algérien
ONM	Office National de Météorologie
PAC	Plan d'Aménagement côtier
SHOM	Service Hydrolique et Oceanographique de la marine (France)
SIG	Système d'information géographique
SSMO	Summury of Synoptic Meteorological Observations
Tp	Periode pique

Citation

« La mer enseigne aux marins des rêves que les ports assassinent ».

Bernard GIRANDEAN

« La valeur d'un homme tient dans sa capacité à donner et non sa capacité à recevoir ».

Albert Einstein

Introduction

Le littoral est devenu aujourd'hui sujet à un nombre important de convoitises, le monde moderne s'acharne sur cette bande de 60 km et y installe les différentes infrastructures lui permettant un développement socio-économique. Malgré la forte exploitation du compartiment terrestre, la partie marine reste, dans sa majorité, relativement hostile et inaccessible.

Cependant, l'homme étant dans le besoin de protéger ses biens face aux aléas de la mer s'est orienté vers l'aménagement du littoral et la construction d'ouvrages, ces pratiques sont légitimes mais ne convergent pas toujours vers de bons résultats et ont souvent un impact néfaste sur le milieu littoral qui reste un système d'interface terre-mer très fragile.

L'Algérie a connu depuis quelques décennies un engouement envers la frange littorale, les agglomérations côtières ont doublé voir triplé de densité, cette pression combinée aux différents phénomènes naturels, a induit à un déséquilibre côtier souvent traduit par l'érosion.

La côte Algéroise n'est pas à l'abri du changement. Elle est actuellement siège à de nombreux travaux d'aménagement qui s'inscrivent dans le cadre du projet de l'aménagement de la baie d'Alger (2009-2029). Ceci dit, on ne se rend compte de l'impact de cette artificialisation qu'après fait accompli. C'est dans ce contexte que l'étude de l'impact des ouvrages sur le littoral est entreprise, afin de contrer, protéger et contribuer à une gestion efficace et un développement durable des zones côtières.

Notre humble travail porte sur : l'étude d'impact des ouvrages maritimes sur la morphodynamique côtière. Nous avons opté pour une partie de la côte Est de la baie d'Alger qui est le linéaire côtier des « Sablettes ». Cette zone est fortement anthropisée et rentre dans un projet dont les travaux s'étalent sur des dizaines d'années, un nombre important d'ouvrages est réalisé, ou prévu dans la région, ce qui suscite une nécessité d'étude perspective.

Beaucoup d'outils sont aujourd'hui utilisés à cette fin, on s'intéressera quant à nous, à la modélisation dans ses deux contextes numérique et physique, qui est devenue de nos jours une méthode performante dans les domaines d'ingénierie en général et d'ingénierie maritime en particulier.

L'objectif principal de notre étude est de mieux comprendre le comportement de la côte de point de vue terrestre (Trait de côte) et sous-marin (petits fonds), après implantation d'ouvrages, et de pouvoir, éventuellement appréhender les risques que peut subir une zone aménagée, c'est pour cela que nous avons divisé ce mémoire en trois parties distinctes. Il est à noter que l'objectif principal couvre un nombre de sous-objectifs pour chaque partie.

- La première partie est une présentation classique de la zone d'étude, qui consiste en la connaissance du contexte général et une vue synoptique de la région de « Sablettes » : climatique, hydrographique, géologique, géomorphologique...etc.
- La deuxième partie consiste en la collecte des données de base du site et l'étude de certains paramètres qui seront par la suite des facteurs importants lors de la modélisation. Ce volet sera donc réparti en deux chapitres s'intéressant, l'un à l'étude sédimentologique, l'autre à l'évolution du trait de côte.
- La troisième partie que ciblera notre étude, porte sur la modélisation en ingénierie maritime, on s'intéressera dans un premier temps à l'aspect numérique, avant de venir le compléter par une étude sur modèle réduit physique détaillée.

Partie 1 :
Cadre général
de l'étude

I. CADRE GEOGRAPHIQUE

I.1. Baie d'Alger

La baie d'Alger s'inscrit en creux au centre du littoral algérien, aux débouchés de la Mitidja. Elle se caractérise par sa forme semi-circulaire dont l'ouverture est de l'ordre de 18km d'Est en Ouest et de 7km du nord au sud, elle est limitée à l'est par cap Matifou, à l'ouest par la pointe Pescade (massif de Bouzeréah) au nord par la méditerranée et au sud par la plaine de la Mitidja. Voir (**Figure n°1**).

Ses coordonnées Lambert sont comme suit :

- longitude : Est 03°.14'.50 à 03°.00'.40
- Latitude : Nord 36°.49'.35 à 36°.44'.15''.

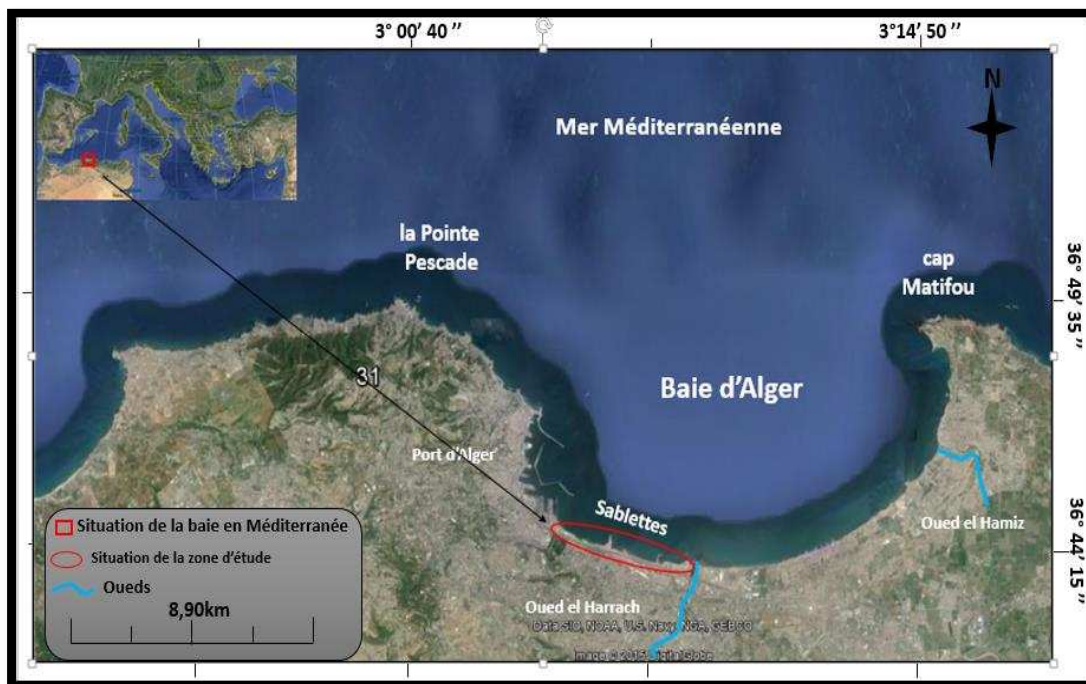


Figure n° 1 : Situation géographique de la Baie d'Alger (Google Earth Pro, 2015)

I.2. Site des « Sablettes » :

La bande côtière des Sablettes s'étale sur la rive occidentale de la baie d'Alger, elle s'étend sur une longueur de 4.5km. La côte est orientée Ouest-Nord-Ouest à Est-Sud-Est. Voir (**Figure n° 2**). Ce rivage est linéaire figé par une protection en enrochement, ainsi que la présence des bancs sableux au pied de ces protections (LEM, 2015) elle est limitée par :

- Au Nord la mer méditerranée.
- Au Sud la commune « de Hussein Dey »
- À l'Est par Oued EL Harrach.
- À l'Ouest par la station de dessalement de l'eau de mer de Ruisseau.

Coordonnées Lambert :

- 36°44'50'' et 36°45'10'' de latitude nord
- 3°04'40'' et 3°05'20'' de longitude Est



Figure n° 2: Situation géographique de la zone d'étude des « Sablettes »

II. CADRE GEOLOGIQUE ET GEOMORPHOLOGIQUE

La connaissance de la géologie et de la géomorphologie locale d'un site permet de définir sa sensibilité face aux agressions marines. En effet, l'analyse de cet aspect est désormais 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 rejetées en mer.

II.1. Caractéristiques géologiques

Du point de vue géologique, la bande des Sablettes 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. A la fin du pliocène et du quaternaire, deux réservoirs aquifères se sont individualisés, il s'agit de l'Astien formé par des calcaires et des grès d'origine continentale. Le quaternaire alluvial constitué essentiellement de galets et graviers. Voir (**Figure n°3**)

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 Plaisancier. La baie est constituée essentiellement d'alluvions et de sables au niveau du côté centre et Est, quant au côté Ouest le type du sol est schisteux avec une couche de roches volcaniques et une bande assise de marne.

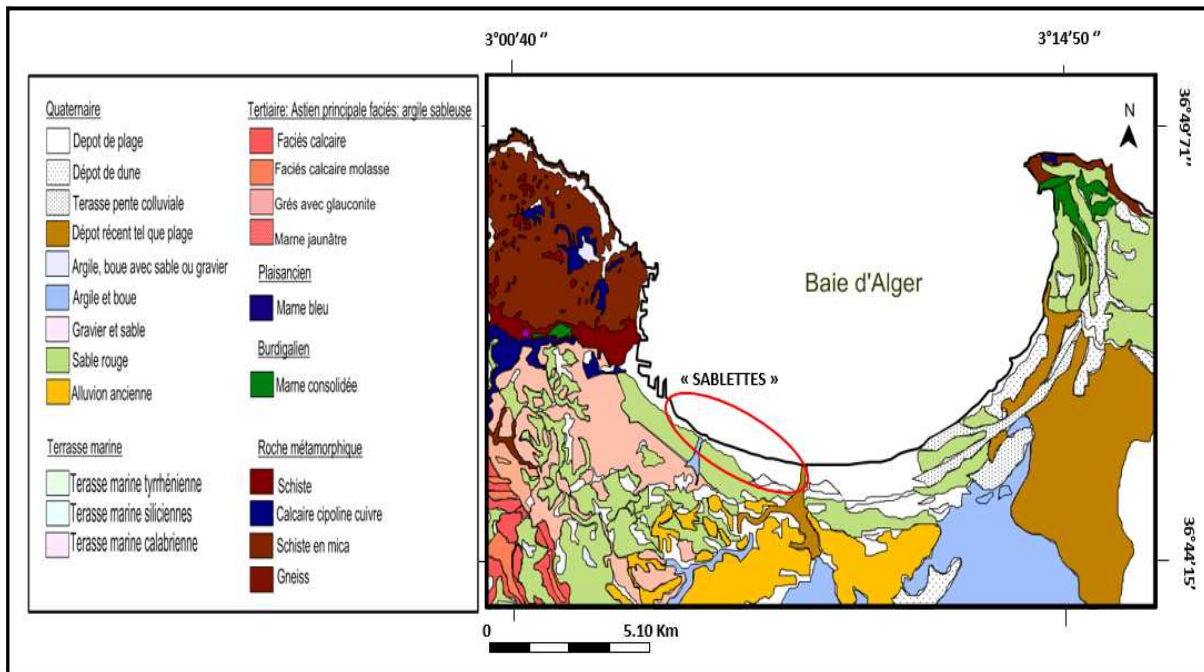


Figure n° 3 : Carte géologique de la région d'Alger (JICA, 2006)

II.2. Caractéristiques géomorphologiques

Le plateau continental très étroit au niveau des extrémités de la baie (Cap Matifou et Massif de Bouzeréah), mais s'élargit au centre d'environ 12.5 km vu la présence des cours d'eau (Oued El-Harrach) au niveau de Mohammédia et les plages. Il est caractérisé par une pente assez douce de l'isobathe 0 m à celui des 100 m dont la distance maximale qui sépare ces deux isobathes est d'environ 6 miles (*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 4,1 Km de la côte, celui de 100m est à 7,6 Km quant à celui 1000 m il ne se trouve qu'à 12,1 Km de la côte. (*PAC, 2004*). Voir (Figure n°5).

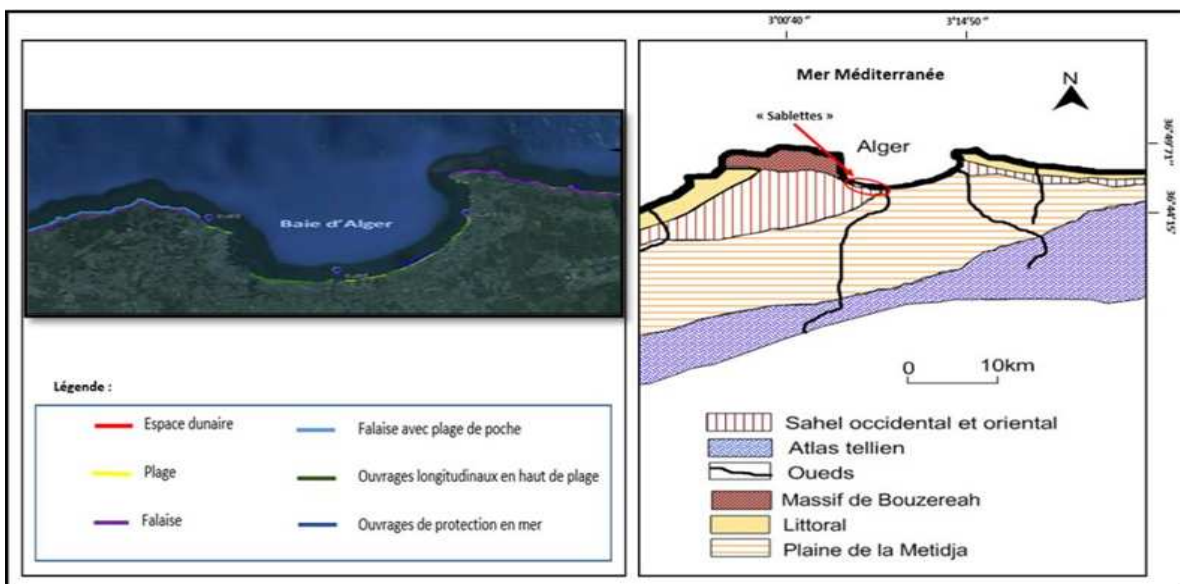


Figure n° 4 : Cadre géomorphologique continental et côtier de la zone d'étude

Partie orientale : caractérisée par la présence d'un relief rocheux Cap Matifou pourvu de falaises mortes et vivantes à l'extrémité est de la baie. Un cordon littoral dunaire sous forme de petite barrière sablo-gréseuse allongée parallèlement au rivage se développe entre la rive droite d'Oued El Harrach et Bordj El Bahri, bordant au Nord la partie des zones basses septentrionales de la Mitidja.

Partie occidentale : ses côtes sont souvent hautes et escarpées ou le plus haut point d'Alger est au niveau de Bouzeréah à 470m , il est en contact avec la mer par une falaise caractérisé par une nature métamorphique mais aussi la présence de calcaire, à la base de laquelle se situe un banc rocheux plat et érodé ou bien une couche épaisse de matériaux grossiers. Cette partie est succédée par une partie du massif dunaire situé à l'ouest de l'embouchure d'oued El-Harrach.

III. CADRE CLIMATIQUE ET HYDROGRAPHIQUE

La bande côtière est en perpétuelle mouvement, ses modifications sont liées à différentes origines, où le taux d'érosion et d'accrétion seront plus significatifs, ces conséquences sont engendrés par le frottement liés aux évènements tempétueux du climat et le forçage hydrodynamique. Ce cadre sera basé sur la partie hydro-climatologique tout en incluant les vents en provenance continentale et du large ainsi que les températures et les taux de précipitations qui seront liés au réseau hydrologique de la baie d'Alger.

III.1. La température

La bande côtière des Sablettes jouit d'un climat méditerranéen tempéré dû à l'action modératrice de la mer, nous assistons à une saison pluvieuse qui s'étend de mois de Septembre à Mai, et un été sec. Ceci pourrait expliquer qu'en bordure de la côte algéroise, les neiges et gelés sont méconnues. Ce littoral connaît alors un degré hygrométrique élevé durant toute l'année (LEM, 2002).

III.2. La précipitation

La baie d'Alger fait partie de la région au climat méditerranéen, pluvieux en hiver, sec en été, le bilan des précipitations enregistrées pendant 35ans (1975-2010), fait ressortir le maximum et le minimum de pluie au cours de l'année, on observe aisément un taux considérable de précipitation durant l'hiver (période humide), qui diminue pour atteindre son minimum au mois d'Aout (période sèche). **Figure n° 5**

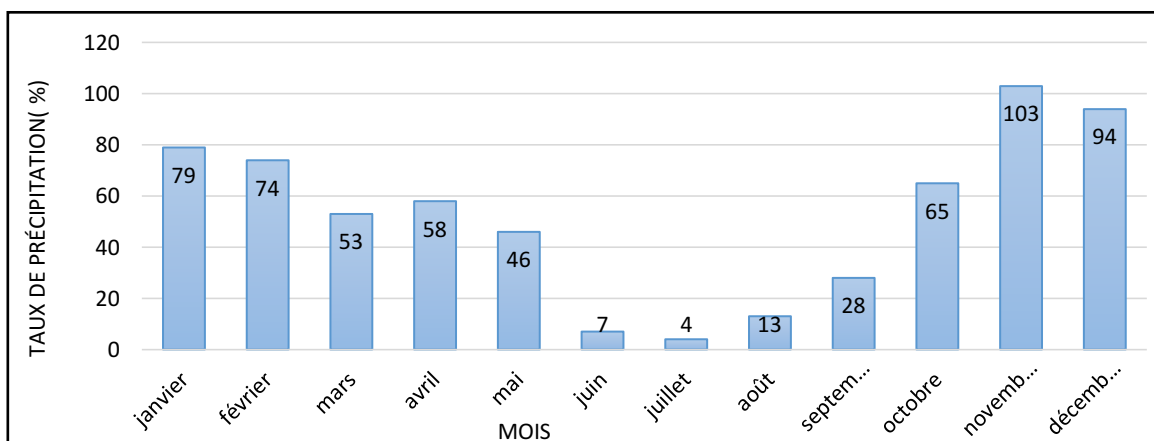


Figure n° 5 : Pluviométrie moyenne de la baie d'Alger 1975-2010 (ONM, 2010)

III.3. Vent

Pour une région côtière, la connaissance des régimes des vents est une extrême importance. En effet ils sont des générateurs de vagues et de courants superficiels, leur impact croît avec leur vitesse. Ils jouent donc un rôle important dans l'évolution géomorphologique des milieux littoraux d'une part, surtout les côtes basses d'accumulations des régions à climat sec (*Boutiba, 2006*) et d'autre part dans l'évolution des forçages hydrométéorologiques responsables de la mobilité des sédiments le long des côtes (*Boutiba, 2009*).

Tableau n° 1 : Fréquence d'apparition du vent par vitesse et par direction au large d'Alger (*LEM, 1999*).

Vitesse (m/s)	Direction				
	W	NW	N	NE	E
0.5-1.5	1.0%	0.7%	1.1%	1.0%	1.4%
2.0-5.1	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%

A partir des données du tableau, on note la prédominance de deux secteurs :

- Le secteur Ouest Nord –Ouest avec 47.5%
- Le secteur Est avec 16.7%
- Les vents au proviennent du Nord-Ouest sont les plus susceptibles d'engendrer les houles les plus violents

Les vents Sud-Ouest de direction N225° avec une fréquence de 14.5% et d'Ouest de direction N270° où sa fréquence est de 11.5% sont dominants en période hivernale qui s'étale d'octobre à Avril.

III.4. Hydrographie

Toute étude sédimentaire requiert une connaissance du régime hydrologique de la zone en question, il est donc impératif de l'introduire dans la reconnaissance des lieux afin d'entamer l'étude proprement dite. L'irrégularité du climat en Algérie induit un régime hydrologique très irrégulier. La baie d'Alger est alimentée essentiellement par Oued el Harrach et Oued el Hamiz, qui prennent leur source de l'Atlas Blidéen et de la plaine de Mitidja.

III.4.1. **Les oueds :**

La baie d'Alger se caractérise par la présence de deux apports principaux, Oued ELHARRACH et OUED ELHAMIZ, (**Figure n°6**), ils drainent respectivement les parties centrale et orientale de la plaine de Mitidja, les deux se caractérisent par des torrents à débits irréguliers, dont le plus important est celui de OUED ELHERRACH qui vient se jeter directement à la limite orientale de notre zone d'étude.



Figure n° 6: Situation géographique des deux embouchures d'oued el Harrach et d'oued el Hamiz au niveau de la baie d'Alger

Tableau n° 2 : 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-Kkouba –Guide Constantine- Echefa – Blida ...	Rouiba – Dar El Beida – OuedEssemar – Bordj el bahri – El hamiz – Eucalyptus –Bab Ezouar – Bordj el kifan – AinTaya ...
Orientations	Nord –Est	Nord-Ouest
Superficie (Km²)	378	86
Apports liquides Al (Hm³)	53	11
Apports solides As m³/an	107114	100226

III.5. Océanographie

Le cadre océanographique englobe toutes les données marines rentrant dans la connaissance des phénomènes influents sur la zone à savoir :

- Houle, courant.
- Marée astronomique.
- Variation saisonnière du niveau de la mer.
- La différence de pression barométrique.
- L'élévation du niveau global.

III.5.1. Régime de La houle

Etant le facteur le plus important dans la dynamique sédimentaire des petits fonds, sa direction de propagation est liée à celle du vent et de la profondeur, tant que la profondeur est plus grande que la longueur d'onde de la houle. Ainsi la houle de la baie d'Alger suit le régime des vents, qui est un régime saisonnier comme pour le reste de la marge algérienne (*Leclaire, 1972*). En hiver, les houles sont de direction W-NW (300°) et en été elles sont de direction N-NE (20° - 40°). (**Figure n°7**).

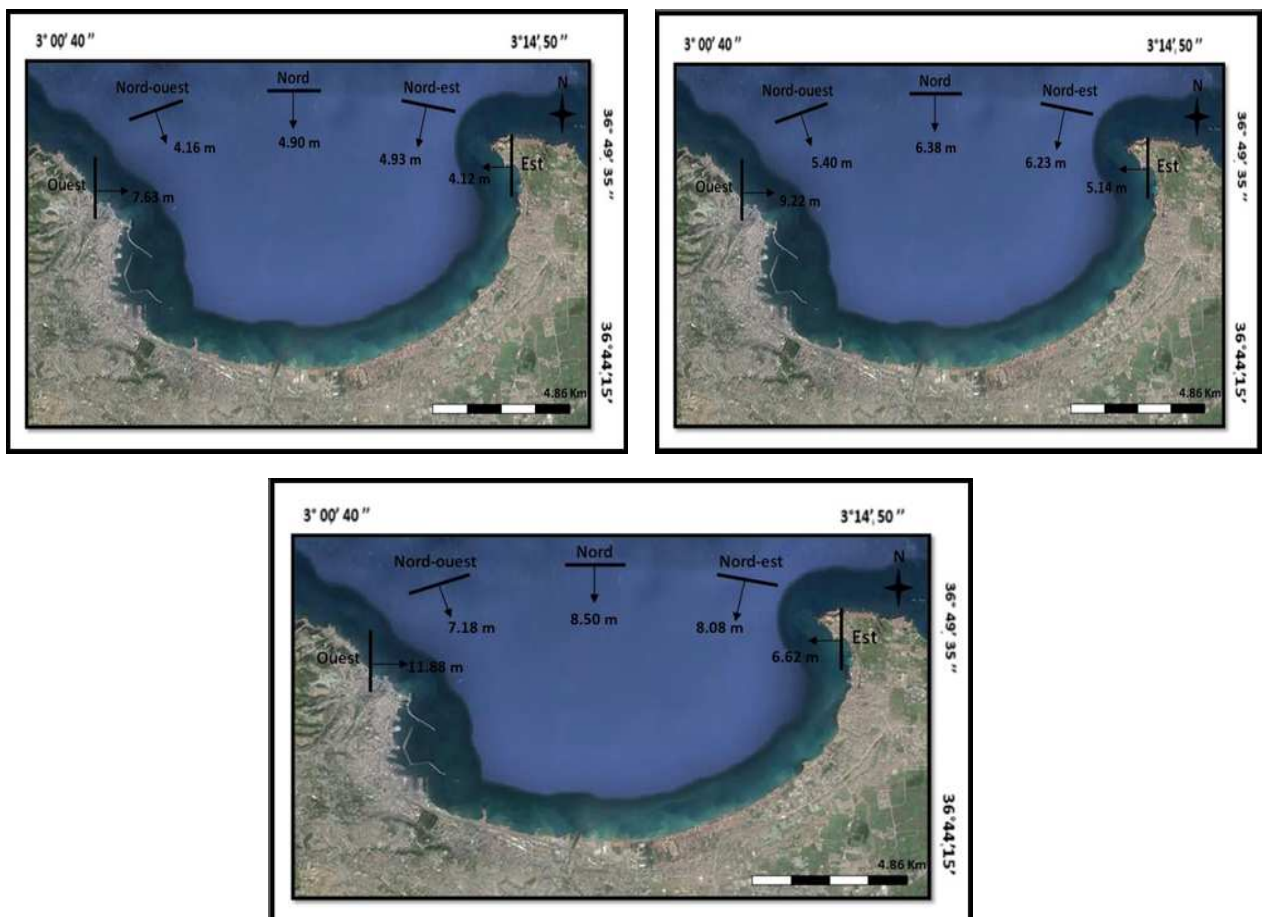


Figure n° 7 : Statistique des houles au large de la baie d'Alger pour une période de retour décennale (SSMO 1963-1970)

III.5.2. Régime des courants

III.5.2.1. Circulation générale

La mer méditerranéenne est constamment alimentée par le flux d'eaux atlantiques provenant du détroit de Gibraltar, cet apport estimé à **31600km³/an** est suffisamment important pour compenser la baisse de niveau de la mer en méditerranée (1m/an) causé par la différence significative entre évaporation et apports fluviaux. (**BACHARI, 2009**).

Après leur pénétration en méditerranée les eaux atlantiques subissent des transformations le long des côtes algériennes en se mélangeant aux eaux méditerranéennes, à ce niveau, le courant algérien est engendré. Ce courant se caractérise par son déplacement tourbillonnaire du principalement à la configuration plus ou moins accidentée de la côte algérienne.

III.5.2.2. Courants côtiers

Les courants côtiers désignent principalement les courants causés par la houle, l'angle que fait cette dernière avec l'orientation du rivage fait que, selon qu'elle soit oblique ou frontale, la houle engendre différents types de courants observés le long des côtes. Voir (**Figure n° 14**).

Les courants de dérive (longshore current)

Ce sont des courants fréquents, causés par l'obliquité de la houle. Ils sont parallèles à la côte et provoquent un transit littoral sédimentaire considérable le long du rivage.

Les courants de retour (cross-shore current)

Ce sont des courants qui correspondent à une zone de retour à partir du déferlement de la houle contre la ligne du rivage. L'accumulation d'eaux superficielles à la côte due à une convergence d'apports, causera éventuellement un retour de ces eaux, sur le fond créant un courant qui emportent les sédiments vers le large.

Les courants prédominants dans notre zone d'étude sont principalement ceux générés par les houles des deux secteurs Nord et Nord-est, elles engendrent à leur arrivée au rivage un courant longitudinal transportant les particules sédimentaires d'Est en Ouest. Le courant opposé existe mais reste insignifiant face à la dominance des houles Nord (frontales) et Nord-est.

Concernant la bande côtière des Sablettes une étude qui a déjà été faite par Delft Hydraulique a déduit que le courant algérien n'a aucune influence sur la vitesse d'écoulement au sein de la baie d'Alger, car pour une vitesse de courants de 0.3m/s au large de la côte d'Alger, un courant maximal de **0.02m/s** a été calculé dans la zone profonde près du site Hamma (**LEM, 2015**).

III.5.3. Régime de la marée

La marée en mer Méditerranée et en particulier sur des côtes algériennes est relativement faible. Elle présente d'importants écarts suivant l'époque lunaire et est le plus souvent masqué par la surélévation et l'abaissement du niveau de l'eau engendré par les variations de conditions climatologiques. Bien qu'elle dépasse rarement 35cm dans les plaines lues avec des périodes $T = [12-24]$ et celle de la nouvelle lune est de 5-10cm, les spécialistes ont classé le littoral algérien en microtidal. Le marnage en Algérie est estimé de 0.34m.

III.6. Description des aménagements maritimes de Sablettes

La **Figure n°8** montre l'ensemble des aménagements existants et projeté

Epi Est : C'est le premier épi en forme de L construit en 2013, du côté oriental de la zone des Sablettes, il est orienté vers Nord-Est, la jetée principale est d'environ 300 ml, il s'entend jusqu'à une profondeur de 5 m.

Marina : Un projet en phase de construction, elle permet d'accoster des bateaux de plaisances. Elle est dotée d'une passe d'entrée orientée Ouest, d'une ouverture d'environ 150m. Sa jetée principale 580 ml

Rejet n°1 : Situé entre la marina et l'épi Est

Rejet n°2 : Distant de l'épi Est de 280 ml d'environ, suivi de **rejet n°3, 4** et rejet n°5 plus à l'Est dont l'axe a été construit sous forme d'épi, où se situera la futur grande plage

Rejet n°6 : Se situe à l'aval de l'épi Ouest

Epi Ouest dont l'axe s'étend sur environ 500 m, c'est un ouvrage qui peut accueillir les petites embarcations. Il atteint la ligne bathymétrique de -8m de profondeur.

Rejet n° 7: Se situant à l'amont de l'épi Ouest à une distance d'environ 500 m.

Le dernier épi : Se situant à l'extrême Ouest de la zone n'est qu'à 200 m du dernier rejet. Son axe principal est d'environ 250 m. il atteint les - 5m de profondeur.

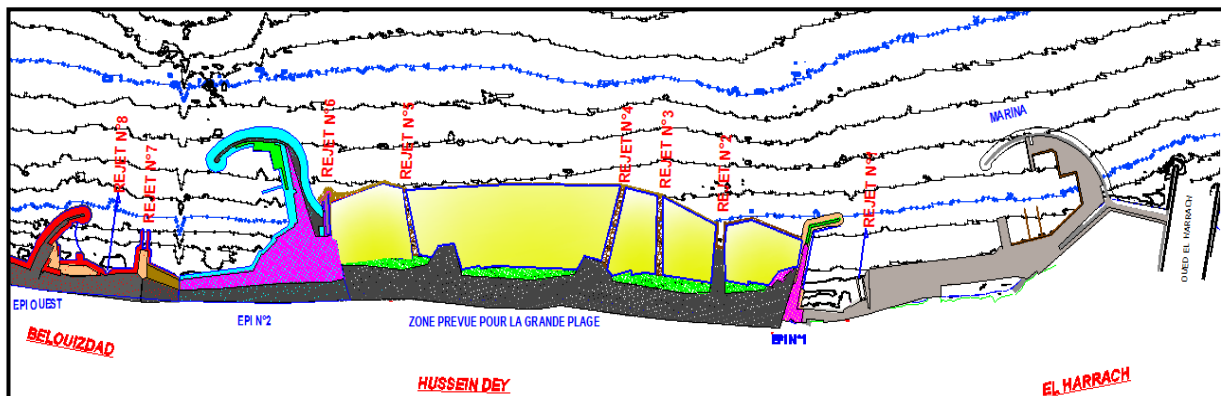


Figure n° 8: Représentation des différents ouvrages et aménagements décrits dans la section

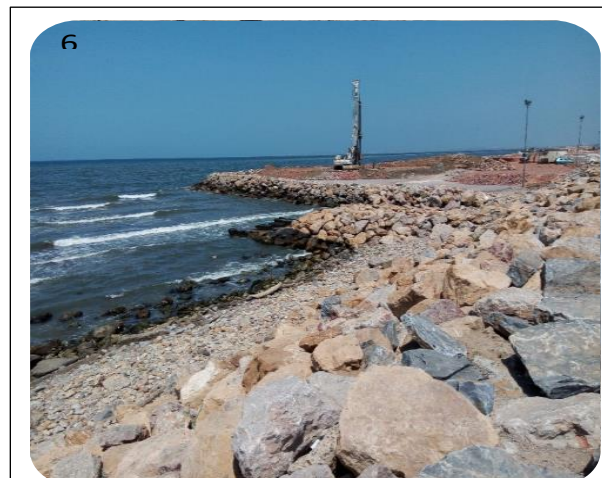
III.7. Reportage photos

La première visite de la zone d'étude « Les Sablettes » était organisée par notre école (ENSSMAL) le 23 Mai 2016. Cette visite avait pour but la reconnaissance des états de lieux, mais aussi faire des travaux sur terrain qui se résument en levés topographiques au niveau de la plage « Piquet Blanc ». Une seconde sortie a été organisée le 28 Mai 2016, qui a été interrompu à cause du mauvais temps, qui avait pour objectifs la réalisation de la bathymétrie actuelle de 2016.

- Le déroulement de la visite était comme suit :
- Sortie d'inspection des Sablettes.
- Prises des photos.
- Réalisation des profils topographiques au niveau de la plage.



Photo 1-2-3 : Travaux élaborés des aménagements le long de l'embouchure d'Oued El Harrach (1), épis en forme de L coté Est de Sablettes (2), en (3) construction du terreplein coté centre de Sablettes.



Photos 4-5-6 : Prise de vue du coté centre de Sablettes, construction du terreplein.



Photo7- 8-9 : Prise de vue du côté Centre des Sablettes, décharges des différents surplus de constructions en (8), le devenus des eaux après la décharges en (9).

A partir de ces constats visuels de l'état actuel physique de la promenade des Sablettes, il ressort comme suit :

- Des aménagements semis finis qui causent des nuisances sur la mer.
- Equipements adéquats (restaurations, siège d'association, protection de l'environnement, jeux pour enfants, espaces verts, tables, sanitaires, vestiaires et douche au sein de la plage ...) pour l'accueil des promeneurs et estivants.
- Manque des espaces d'ombres.
- L'absence de service de santé (infirmierie, pharmacie...).
- L'insuffisance des moyens de transports.

Photo 2 : Prise de vue du côté Est des Sablettes, Epis en forme de L en (6), protégeant la plage du « Piquet blanc » formée par accumulation sédimentaire dans la partie Est de Sablettes, s'étendant sur 70m, sa partie aérienne est bien entretenue tandis que sa partie sous est soumise aux flux drainés par Oued El Harrach et les rejets des travaux en cours.

Photo 1-3 : Prise de vue du côté Ouest des Sablettes, construction du terreplein (13) nous avons remarqué la construction intense des terrepleins où ils ont gagné une partie de la mer ce qui a complètement modifié l'allure du trait de côte, ainsi que la présence de huit rejets urbains du côté Ouest des Sablettes qui sont en projet, dont trois sont en cours de réalisation qui cheminent directement du continent vers la mer sans aucun traitement préalable des eaux.

Photo 7-8-9 : Prise de vue du côté Centre des Sablettes, où nous avons constaté la présence d'une décharge des différents surplus et matériaux constructions (8) directement en mer où nous voyons leur devenir (9), ce qui a favorisé la formation d'une flaque de déchets.

Partie 2 :
Collecte et
analyse des
données.

INTRODUCTION

La sédimentologie marine est affectée d'un morcellement et segmentation de l'information, d'une diversification des techniques mises en œuvre, et d'un accroissement des interactions avec les autres sciences de l'océanographie (*Garlan T, 2004*).

La connaissance de la sédimentologie superficielle est un aspect indispensable pour la gestion de la côte. Les particules sont décrites par leur taille qui est la propriété la plus fondamentale des sédiments soumis aux phénomènes d'érosion, de transport et de dépôt (*Cordier, 2007*) et reflète globalement l'énergie du milieu dans lequel il se trouve

Objectif

Dans cette partie, nous nous intéressons à l'étude du paramètre « taille des sédiments » qui a pour objectif, la caractérisation des sédiments en mer afin de connaître leur répartition spatiale et par conséquent leur modalité de mise en place tout au long de la frange des Sablettes. Les échantillons prélevés feront l'objet d'une analyse granulométrique (*Al Sid Cheikh, 2010*). Qui sera conclue par une cartographie des différents paramètres

I. ANALYSE SEDIMENTOLOGIQUE

I.1. Echantillonnage

Les prélèvements des échantillons de sédiments se sont effectués par l'équipe du LEM, à l'aide d'un plongeur. Cet échantillonnage est quantifié sur deux cents 200 points positionnés à l'aide d'un GPS de poche **GARMIN 76C** couvrant un transect de 4.7 km et sur profondeur allant de [0 – (-20)] m de profondeur (**Figure n° 9**).

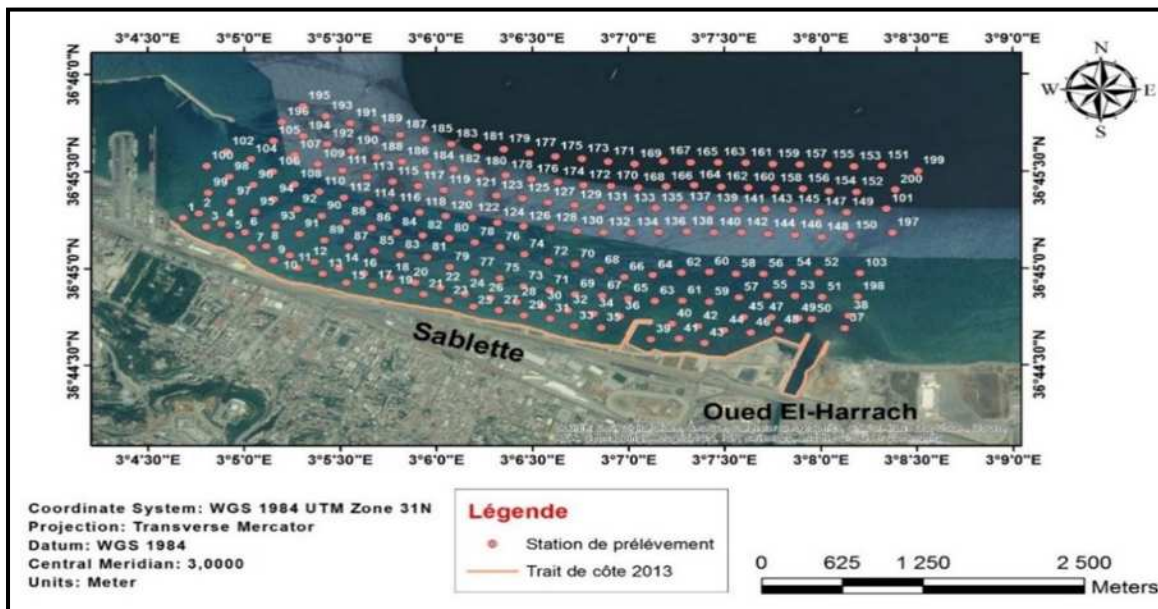


Figure n° 9 : Répartition des 200 stations du prélèvement sédimentaire dans la zone des Sablettes

Cette analyse suit les étapes suivantes :

- Mettre l'échantillon dans une étuve à 105°C pendant 24h.
- Une fois séchés, les échantillons seront rincés avec de l'eau dans un tamis de 40µm de diamètre afin de soustraire les fractions fines.

- Les échantillons sont remis dans les boîtes de pétries pour subir un reséchage à l'étuve pendant 24h à 105°C.
- On pèse une quantité de 180g de sédiment de chaque échantillon sec, qui sera tamisée dans une colonne échelonnée suivant les normes AFNOR, correspondant au rapport de $\sqrt[10]{10}$ (1.2589) entre le vide de maille d'un tamis et celui du tamis de maille immédiatement inférieure

Le diamètre des mailles en microns (μm) des tamis est placé suivant un ordre décroissant : 4000-3150-2500-2000-1600-1250-1000-800-630-500-400-315-250-200-160-125-100-80-63-50-40, où chaque tamisage dure environ 10 minutes avec une fréquence de [60-70]Hz. Enfin le refus de chaque tamis est pesé par une balance électronique afin d'établir les courbes granulométriques.

Il est important de signaler que lors de cette expérience du tamisage à sec, des grains fins qui ont été certainement retenus par le tamis de diamètre 40 μm lors du tamisage mouillé sont susceptibles de franchir à sec un tamis de la même taille. Ce phénomène est sans doute la conséquence d'action capillaire.

II. RESULTAT DE L'ANALYSE

Les résultats des analyses granulométriques des données brutes qui ont été recueillis au sein du LEM se présentent sous forme d'un tableau (annexe). Nous les avons traité et analysé par des calculs et la cartographie de plusieurs paramètres.

II.1. Analyse des courbes cumulatives

II.1.1. Représentations des courbe

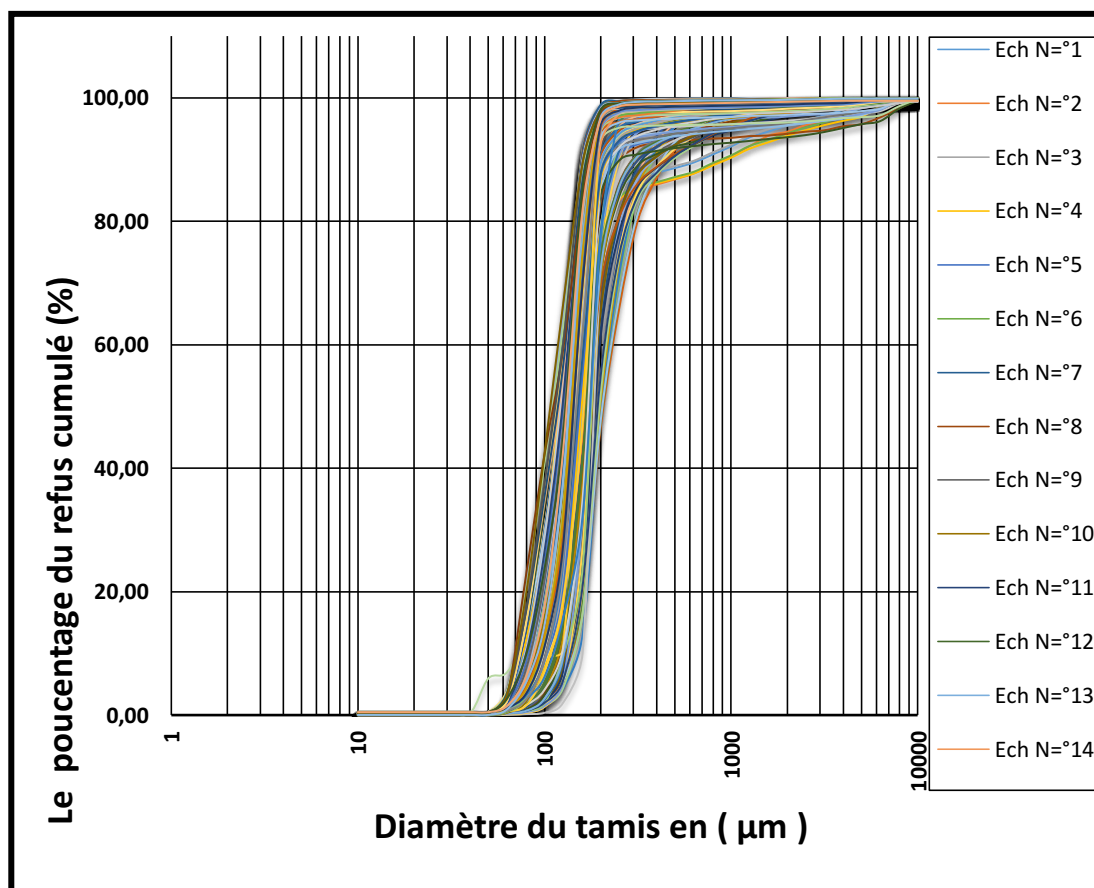


Figure n° 10: Graphé représentatif des courbes granulométriques cumulatives des 200 échantillons prélevés au niveau des Sablettes « Baie d'Alger »

II.1.1.1. Interprétation des courbes

L'examen de ces courbes cumulatives schématisées ci-dessus, montre que les 200 échantillons de sédiments analysés présentent en majorité des courbes cumulatives semi logarithmiques en forme de S, avec une pente bien prononcée, ainsi qu'une présence de quelques courbes avec une allure légèrement différente.

L'allure dominante en forme de S, indique au préalable que ce sédiment appartient à la classe des « sable », qui varie du fin vers le moyen. Cette classe sédimentaire pourrait nous renseigner que la région des « Sablettes » est un milieu plus ou moins calme, ou son stock sédimentaire est majoritairement homogène vu la présence des particules fines de la côte et évacué vers le large par les différents types de courants existant essentiellement le courant de retour.

II.1.2. Répartition de la fraction fine

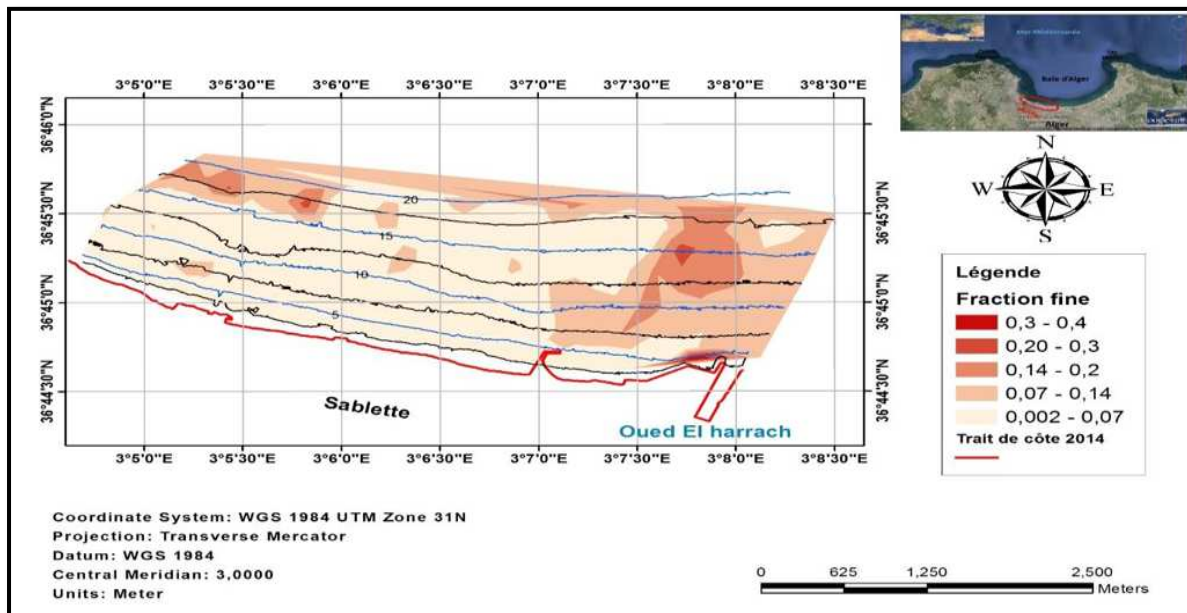


Figure n° 11 : La répartition de la fraction fine au niveau de « Sablettes »

Interprétation

La teneur en fraction fine est importante dans l'investigation des sources potentielles d'apport et de dépôt, le pourcentage de cette dernière varie de 0 à 34% sur l'ensemble des 200 échantillons, sa répartition dans notre zone est représentée par la carte (**Figure n°11**) ci-dessus.

Les échantillons contenant le taux le plus élevé en fraction fine se situent principalement au-delà de la ligne des 15m de profondeur, où l'hydrodynamisme faible permet la décantation, de vastes surfaces en périphérie de l'embouchure d'Oued El-Harrach sont tout aussi riches, les valeurs de particules fines dépassent parfois les 30% de la masse totale de l'échantillon. Ce constat paraît logique compte tenu de l'importance des apports de Oued El-Harrach, les matériaux fins ramenés en suspension notamment en période de crue sont dans un premier temps déposés aux alentours de l'embouchure, avant que les courants ne viennent les redistribuer vers les endroits les plus abrités tel que les fonds marins situés au large.

II.1.3. Répartition de la fraction grossière

II.1.3.2. Paramètres de position

A. Indice granulométrique

A.a Médiane granulométrique D_{50}

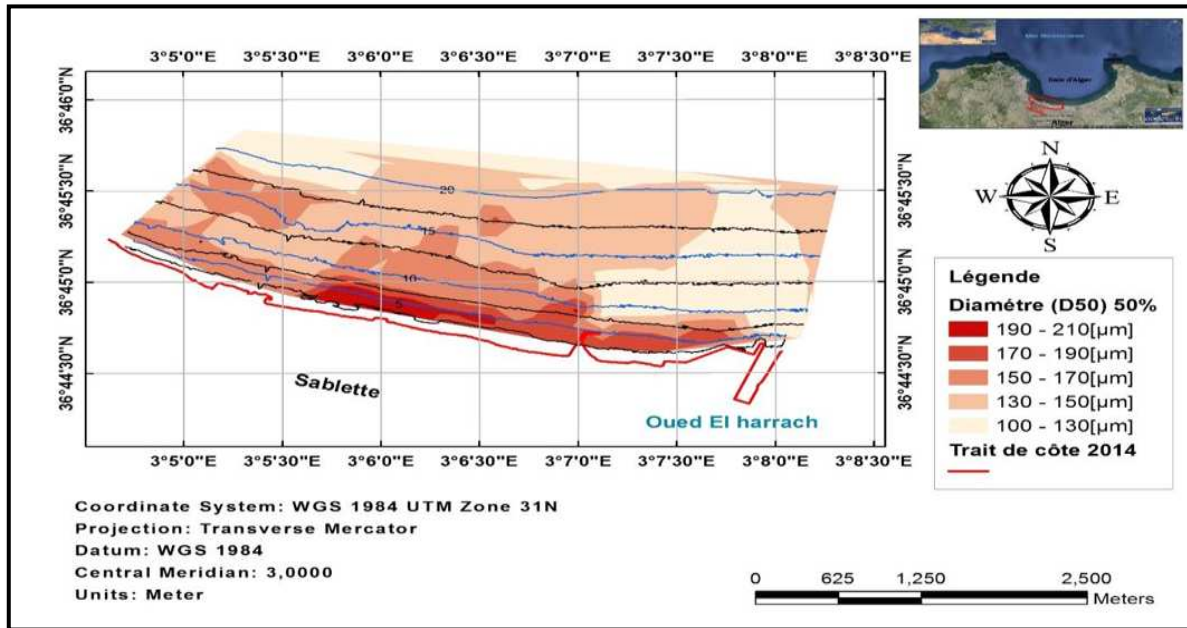


Figure n° 12 : Carte de répartition de la médiane granulométrique D_{50} au niveau de « Sablettes »

Interprétation

Le faciès sédimentaire sur l'ensemble de la zone prospectée montre une dominance des sables fins dont le diamètre moyen est de $147\mu\text{m}$. La carte ci-dessus représente la répartition spatiale du diamètre moyen D_{50} obtenues sur l'ensemble des 200 échantillons, notre zone suit une répartition relativement classique : le grain le plus grossier se concentre essentiellement près de la côte et principalement dans la zone centrale, et diminue de taille graduellement vers le large.

L'apport terrigène riche en particule fine d'Oued El-Harrach implique une diminution du diamètre du grain à la périphérie de l'embouchure, comme l'illustre notre carte.

B. Quartile inférieur Q25

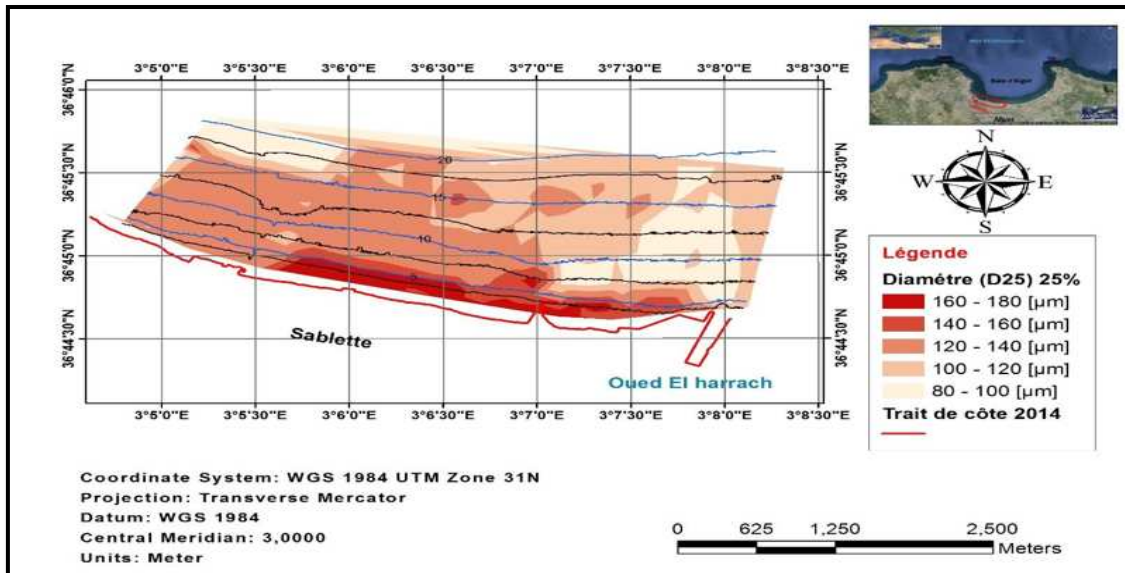


Figure n° 13 : Carte de la répartition du quartile inférieur Q25 au niveau de « Sablettes »

C. Quartile supérieur Q75

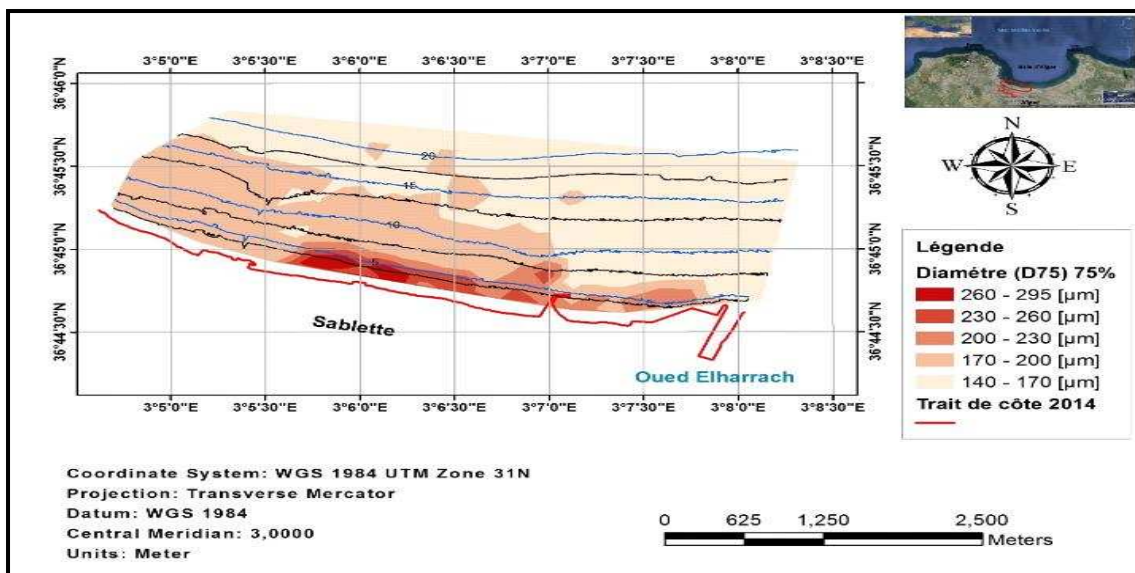


Figure n° 14: Carte de répartition du quartile supérieur Q75 au niveau de « Sablettes »

Interprétation

La cartographie de la répartition sédimentaire des quartiles supérieurs et inférieurs montre dans les cartes :

La distribution du **quartile inférieur (Q25)**, correspond à un diamètre qui varie entre [80-180] µm , le faciès le plus distingué dans ce paramètre est le sable fin qui s'étale tout au long de la frange littorale et le plus fin qui se dissipe de l'embouchure vers le large , cette distribution pourrait nous renseigner sur la faible intensité de l'hydrodynamisme dans la zone .

La distribution du quartile supérieur des (Q_{75}) prend une forme variable, les diamètres varient [140-300] μm , nous pourrions déterminer l'existence de deux faciès distingués : un premier de diamètre très fin qui se distribue de l'embouchure vers le large et domine la zone jusqu'aux environs des 20 mètres de profondeur puis apparaît une évolution vers la côte qui suit une distribution allongée ou nous rencontrons le deuxième faciès qui est le fin. Ces deux cartes pourront nous renseigner sur le faible l'hydrodynamisme de la zone des Sablettes mais aussi sur la nature des fonds vu qu'elle appartient au massif dunaire.

II.1.4. Paramètres de dispersions

II.1.4.3. *Indice de classement de Trask (S_o)*

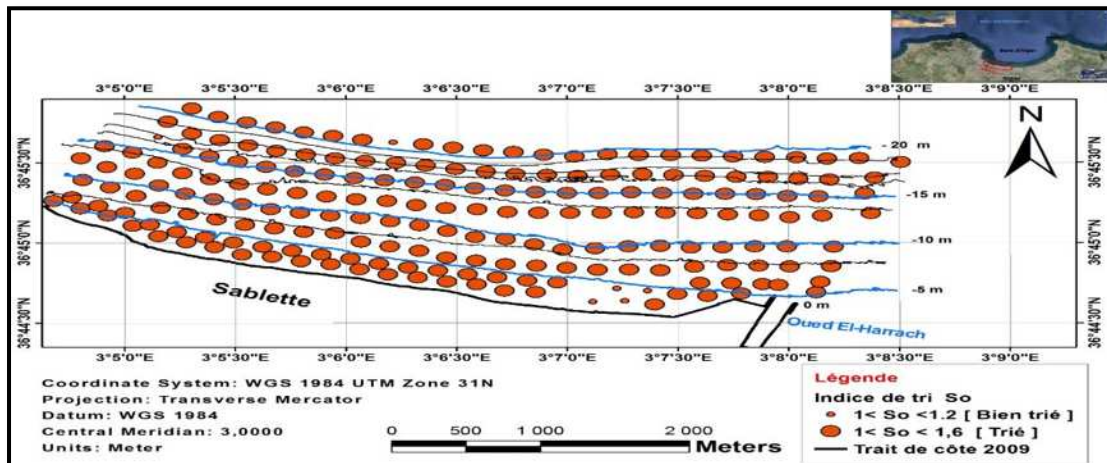


Figure n° 15 : Carte de l'indice de classement de Trask S_o au niveau de « Sablettes »

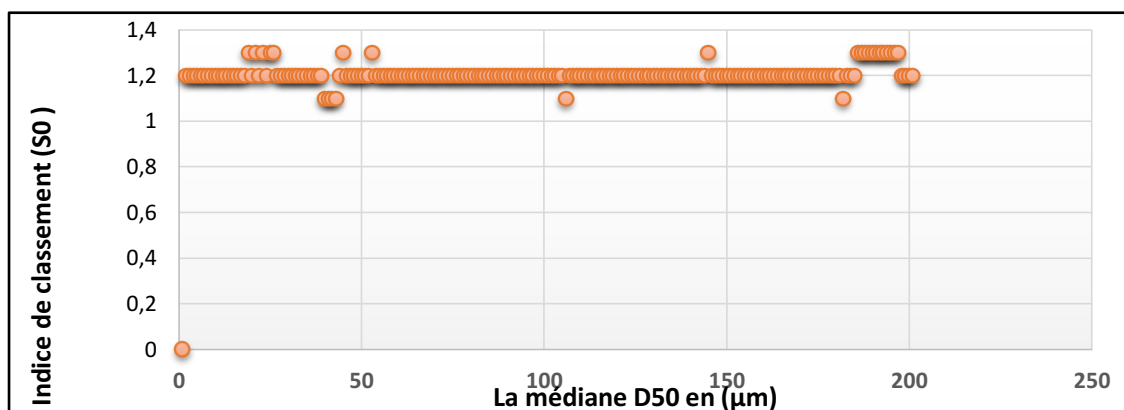


Figure n° 16 : Relation entre l'indice de classement de Trask (S_o) et la médiane (D_{50}) dans la zone des Sablettes

Interprétation

La représentation de l'indice de classement de **Trask S_o** sous forme graphique mais aussi cartographique, montre que les 200 échantilles sédimentaires ont une valeur de S_o qui varie entre [1-1,30] ce qui reflète des sédiments bien triés et classés.

II.1.4.4. *Indice d'asymétrie S_k*

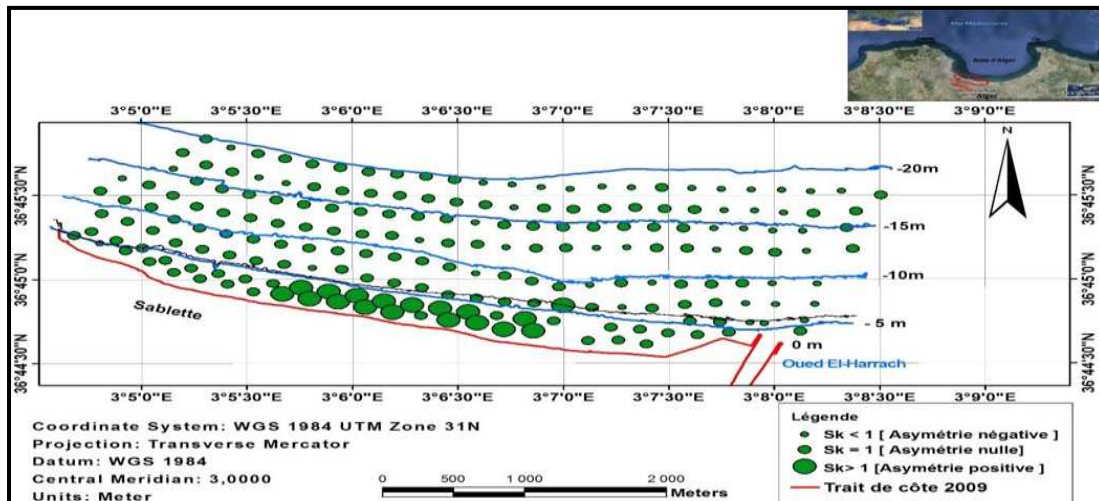


Figure n° 17 : Carte de l'indice d'asymétrie S_k au niveau de « Sablettes »

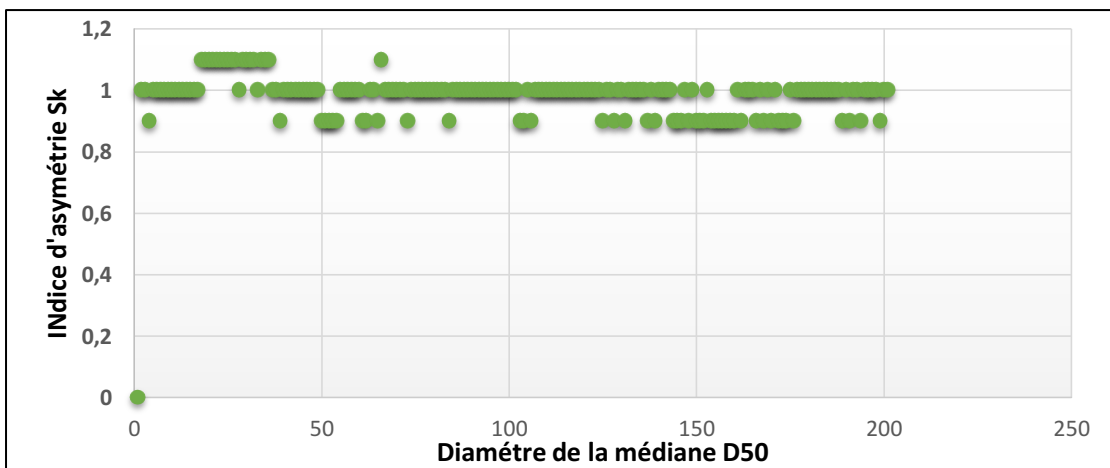


Figure n° 18 : Relation entre l'indice d'asymétrie (S_k) et la médiane (D_{50}) dans la zone des Sablettes

Interprétation

La représentation de l'indice d'asymétrie S_k sous forme graphique mais aussi cartographique , montre que les 200 échantillons appartiennent à 3 classe d'asymétrie , à savoir que 136 échantillons appartiennent à la classe majoritaire qui est **égale à 1** , tandis que la classe d'asymétrie positive est présente aux environ de la côte et celle d'asymétrie négative s'étale vers le large . Nous pouvons déduire que la lecture de ces valeurs indique globalement une symétrie de classement sédimentaire entre les particules fines et grossières.

III. CONCLUSION

L'étude de la sédimentologie avait pour but la caractérisation d'une part la nature des fonds marins de la zone des Sablettes, et d'autre part les matériaux meubles pour permettre d'apporter des indications sur la répartition spatiale des sédiments ainsi que le régime de leur dépôt qui est défini comme l'ensemble des relations qui s'établissent entre les agents susceptibles d'entraîner la mise en place des particules.

L'analyse et les traitements granulométriques réalisés au cours de l'étude a permis de déterminer : Au préalable le pourcentage de la fraction fine (Pelites , diamètre $<40\mu\text{m}$) où sa répartition est relativement importante en périphérie de l'embouchure de Oued El-Harrach mais aussi au-delà de l'isobathe 15m où la décantation est favorisée.

Ensuite concernant la fraction grossière le traitement des Médianes D_{50} montre que l'ensemble des échantillons grossiers se concentrent au niveau de la frange des Sablettes, à Ouest de l'embouchure du Oued et qu'ils sont classés dans la gamme du « *Sable fin* » et sont pratiquement bien à très bien classés avec une distribution symétrique entre les particules fines et grossières. Cette analyse permettra dans ce qui suit de déterminer le mélange du PVC à utiliser en bassin.

INTRODUCTION

Le littoral peut être défini comme la zone d'interface terre-mer dont la limite est là où s'arrête l'action des deux compartiments l'un sur l'autre, pendant que le trait de côte sera considéré comme la ligne d'intersection de la surface topographique avec le niveau des plus hautes mers astronomiques (**définition du SHOM**) et par extension, la limite entre la mer et la terre (**MEEDDM, 2010**). Ce trait de côte est un indicateur représentatif d'une limite terre-mer. Il doit avoir la qualité de représenter schématiquement mais correctement l'état global du littoral du point de vue de son évolution sédimentaire (**Oliveros, 2011, communication écrite**).

Objectif

Le but principal de cette étude est d'étudier l'évolution géomorphologique du trait de côte (érosion, accrétion). Qui va nous permettre d'apporter un élément de réponse sur la dynamique littorale de la zone des Sablettes.

I. TRAIT DE COTE

La diversité des définitions rencontrées peut parfois conduire à confusion, il est cependant préférable et fonctionnel de répondre au critère géomorphologique pour faciliter la cartographie des limites observées sur une franges littorale.

III.1. Dynamiques côtières et interactions

La dynamique du trait de côte résulte de la conjonction de facteurs d'origines naturelles et humaines.

Parmi les causes naturelles, on peut citer :

- **L'élévation du niveau de la mer** : ce phénomène peut provoquer un démaigrissement et un recul des plages plus ou moins importants.
- **Les tempêtes** : les fortes vagues associées aux tempêtes attaquent les hauts de plages et peuvent emporter les cordons littoraux meubles.
- **Les transports sédimentaires** : les courants marins ont une influence sur les processus sédimentaires.

De plus, le littoral est depuis toujours le lieu privilégié d'installation de ports, de villes et d'activités industrielles. Ces pressions humaines causent de profondes perturbations du rivage et des écosystèmes littoraux. Ces perturbations agissent conjointement et placent les plages dans une situation précaire. A titre d'exemple, on peut citer :

- Les **barrages de retenue** sur les fleuves qui représentent des pièges à sédiments très efficaces. Les matériaux ainsi retenus sont justement les constituants des plages ;
- La **déstabilisation des dunes** qui est liée également à l'extraction de matériaux pour les besoins de constructions. Ces dommages importants sont aggravés par la fréquentation touristique. Ces dunes bordières constituent une réserve importante en sédiments qui peut être mobilisée par les vagues lors des tempêtes.
- Les **grands travaux portuaires** ou les **ouvrages de protection**, implantés sur une côte caractérisée par une dérive littorale dominante et chargée en sédiments, qui risquent de perturber gravement le transit des matériaux et de modifier l'évolution du rivage. Des accumulations de sable se forment contre les jetées qui arrêtent le courant

tandis que les secteurs situés au-delà de ces obstacles démaigrissent et reculent car ils sont privés d'apports sédimentaires.

- Des **aménagements de front de mer** (villas, promenades, routes, parkings) qui ont été construits sur l'emplacement de dunes voire sur le haut des plages. En réduisant la largeur de l'estran, le pouvoir de dissipation de l'énergie des vagues par les dunes est diminué et la nature des sédiments des plages s'en trouve modifiée.

III.2. Méthode de suivi et de gestion du trait de côte

III.2.1. Collecte des données.

Une cartographie aussi complète que possible du littoral est recommandé pour avoir une compréhension complète des phénomènes qui s'y déroulent, il est important de connaître les deux parties terrestres et marine en utilisant des levés de topographie et de bathymétrie.

Les outils utilisés à cette fin sont classés en catégories d'instruments mis en œuvre in situ à terre ou en mer pour suivre le trait de côte, chaque outil doit être décrit selon les rubriques suivantes : domaine d'application, mode d'utilisation, fréquence d'acquisition, précision, avantages, inconvénients, méthodes de traitement et le principe de fonctionnement .

4 catégories de données sont obtenues lors de la récolte :

- **Ligne** : c'est la limite physique séparant la terre de la mer, elle est obtenue par interprétation des photos aériennes pour les anciennes périodes et par mesure sur terrain ou images satellitaires pour les périodes les plus récentes, cette procédure permet l'obtention sur un plan (X, Y) du trait de côte sous forme de ligne.
- **Transect ou profil** : c'est la mesure de l'altimétrie le long de radiales perpendiculaires au trait de côte pour obtenir des profils, il offre une représentation en deux dimensions du relief d'une plage, c'est une donnée qui nous informe sur l'évolution des pentes et des reliefs de plages.
- **Polygone** : il sert à délimiter une région d'intérêt sur le terrain ou par imagerie satellitaire ou aérienne, il offre une bonne appréciation des évolutions de surfaces.
- **Surface 3D** : restitution de la topographie littorale en 3D à partir des modèles numériques de terrain (MNT).

Comme cité précédemment, ces données sont obtenues soit par photos aériennes, images satellitaires ou par levés terrain, ce dernier implique la mise en œuvre d'un nombre d'outils carto-topographiques,

- l'instrument de base n'est autre que le **théodolite**, c'est un outil de géodésie employé sur tous types de côtes et qui donne des résultats satisfaisants. (**Figure n°20**)
- Le **GPS** (global positioning system) est un procédé de radio-positionnement qui s'appuie sur un réseau de satellites. La localisation d'un point se détermine par la mesure du temps de trajet des signaux radioélectriques émis à partir de satellite, ce système se base sur le principe de triangulation. (**Figure n°20**)
- Le **DGPS** (GPS Différentiel), il consiste à utiliser un récepteur GPS positionné sur une station dont les coordonnées sont connues. Ce GPS (base) est couplé à un ou plusieurs GPS mobiles distants. (**Figure n°20**)

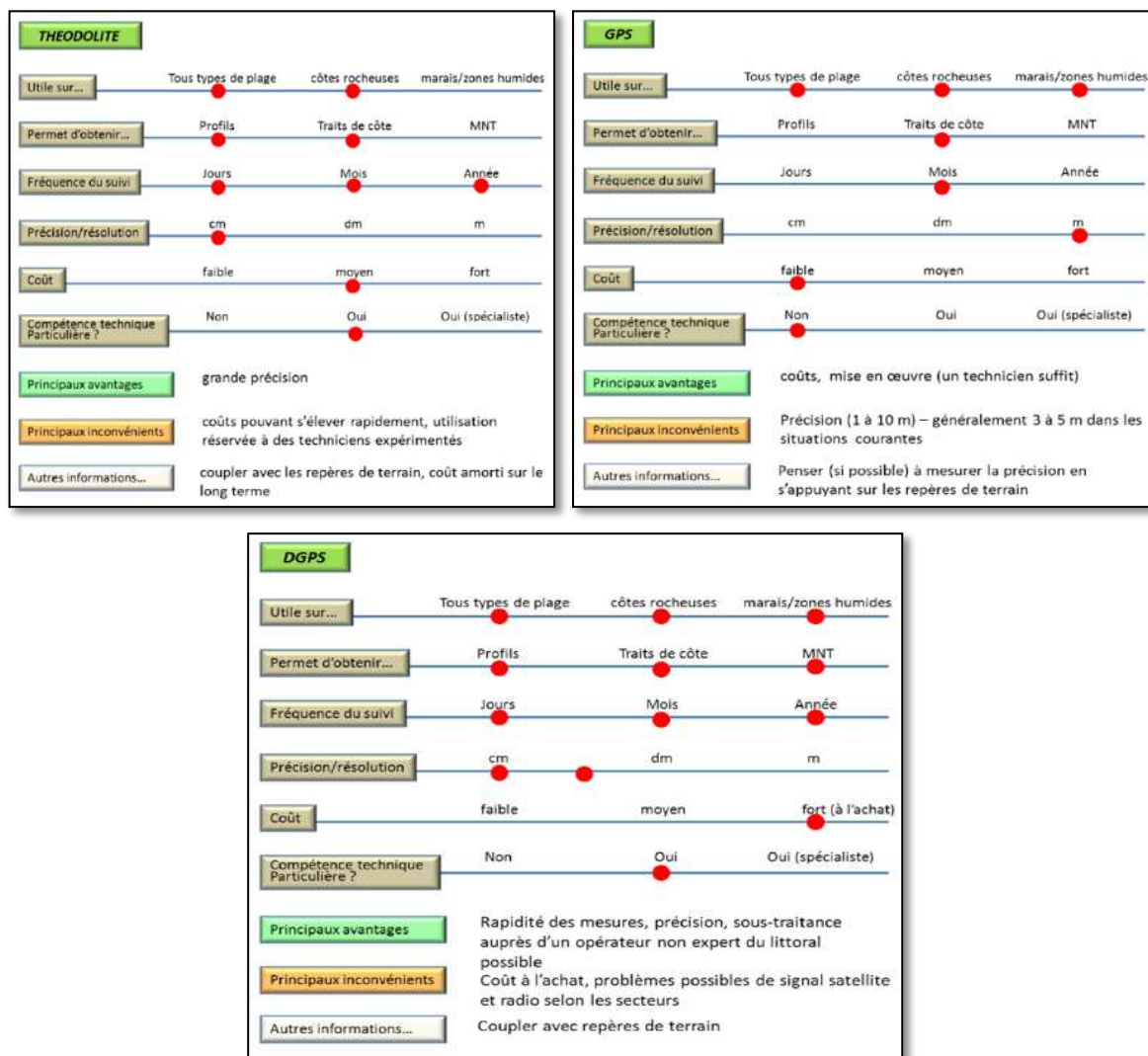


Figure n° 19 : Fiches techniques du DGPS, théodolite, GPS

III.2.2. Collecte des données de Sablettes

Dans le cadre de notre étude, nous nous sommes basé sur l'analyse diachronique des images satellitaires issues de Google Earth Pro, sur une période de 14ans allant de 2002-2016, étant donné la difficulté d'obtenir la donnée sur terrain.

Les données issues de images satellitaires sont sous format d'une table, contenant (x : Latitude, y : Longitude) numérisées par la suite pour procurer des données numérique facilement maniables et utilisables, seront ensuite implémenté dans un logiciel de traitement et d'analyse afin de les cartographier. Pour une approche intégrale de cette étude nous avons fait appel à une étude historique faite par l'APPL sur une période de 1959-1999.

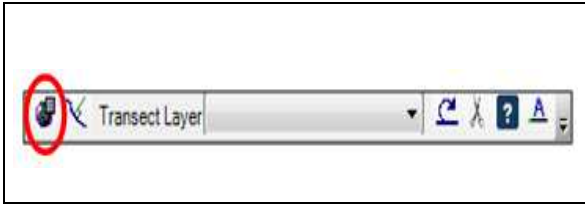




III.2.3. Analyse des données du site des Sablettes

L'étude de l'évolution du trait de côte se fait suivant plusieurs méthodes, mais nous nous sommes basés sur le même principe qui se résume : en la comparaison des traits de côte obtenus différentes années.

Une fois la collecte de donnée achevée, plusieurs outils sont utilisés pour le traitement, ce sont généralement des logiciels **SIG** (Système d'Information Géographique) qui servent l'analyse et qui donnent des résultats satisfaisants. Certaines extensions sont développées spécialement pour le suivi et l'étude du trait de côte.

Notre étude a été réalisée grâce à l'une de ces applications performantes qui s'installe sur **Arcgis 10.2.2** et qui se nomme **DSAS (Digital Shoreline Analysis System)**. Cet outil permet d'analyser l'évolution du littoral, il est facilement opérationnel et permet une grande traçabilité des différentes étapes de construction des traits de côte futurs. Différents traits de côte sont soumis à un traitement statistique permettant d'obtenir des taux d'évolution sur plusieurs dimensions. Cette extension s'opère sous le logiciel SIG **Arcgis** (®ESRI), elle s'affiche sous forme de la barre d'outils suivante : **Tableau n°8**

Tableau n° 3 : les barres d'outils de l'extension DSAS

	<p>Cette icône permet l'introduction des paramètres de bases, des noms de fichiers et de certaines données concernant la ligne de base et les traits de côte.</p>
	<p>Cette icône permet la génération de la couche des transects basée sur les paramètres de base introduit auparavant par l'utilisateur.</p>
	<p>Cette icône permet la reconnaissance et la sélection de la couche de transect en cours d'utilisation dans le projet ArcGis.</p>
	<p>Cette icône permet de calculer différentes statistiques du changement du trait de côte et les afficher sous forme de tableaux.</p>
	<p>Cette icône permet de découper les transect selon la variation du trait de côte.</p>

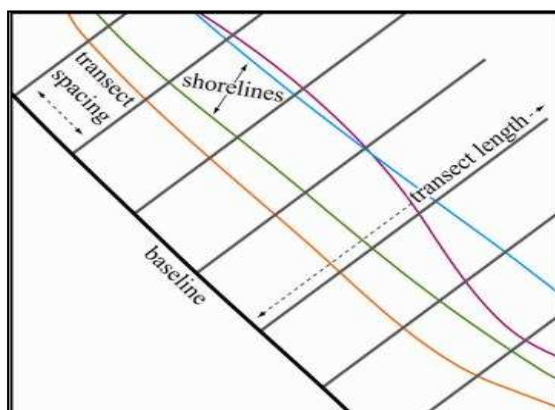


Figure n° 21 : Représentation des données introduites graphiquement sur DSAS ArcGis 10.2.2

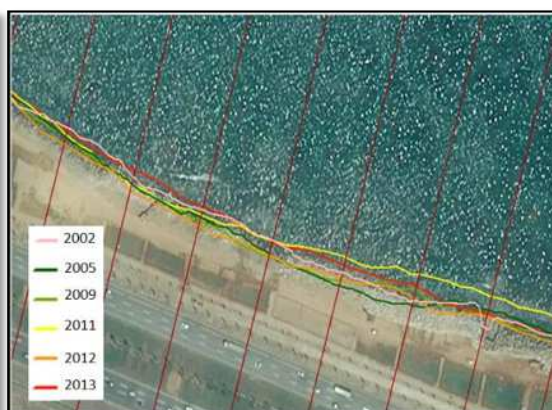


Figure n° 21 : Génération des profils au site des « Sablettes » sur DSAS ArcGis 10.2.2

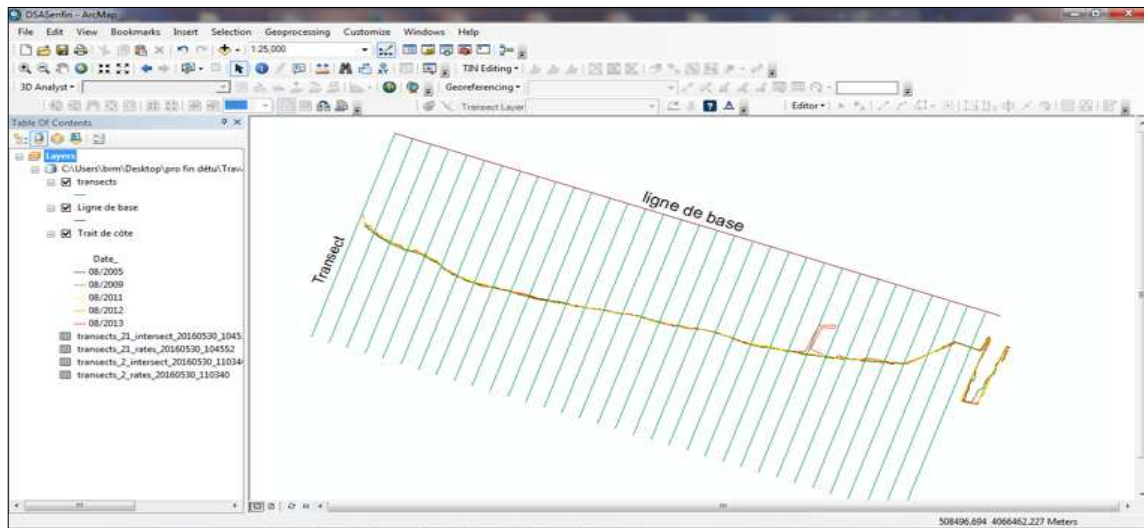


Figure n° 22 : Génération et affichage des données nécessaires au calcul des statistiques d'évolution du trait de côte

Ce module DSAS, nous a permis d'obtenir différentes statistiques d'évolution sous forme de tableau (Annexe) ce dernier sera joints au transects générés pour obtenir une carte synthétique. Le tableau généré contient un nombre de paramètres obtenus selon les exigences de l'utilisateur, l'EPR (End Point Rate) est celui qu'on affichera sur notre carte, il représente le taux de recul ou d'avancé en mètres (m) au niveau de chaque intersection des profils avec les différents trait de côte.

Il est à noter que les valeurs inférieures à 0 seront illustrées en couleurs rouge, indiquant une érosion, tandis que les valeurs supérieures à 0 seront en vert et représenteront les accumulations sédimentaires. Notre travail par le biais de cet outil DSAS a porté sur la période de 2002-2013, cependant d'autres études plus anciennes ont été réalisées sur notre site, on citera l'étude effectuée par l'APPL (Agence de Promotion et de Protection du Littoral) sur l'intervalle de temps 1959-1999.

III.3. Résultat et interprétation

Notre travail par le biais de cet outil DSAS a porté sur la période de 2002-2013, cependant d'autres études plus anciennes ont été réalisées sur notre site, on citera l'étude effectuée par l'APPL (Agence de Promotion et de Protection du Littoral) sur l'intervalle de temps 1959-1999.

I.1.1. Evolution du trait de côte 1959-1999

Représentation



Figure n° 23 : Carte d'évolution du trait de côte 1959-1999 du linéaire sableux des « Sablettes » APPL ,2013.

Interprétation

La carte ci-dessus montre l'évolution spatio-temporelle du trait de côte de la zone des Sablettes allant de 1959-1999. Sachant que la côte sableuse de la Baie d'Alger a subi d'importantes variations, il y a eu un net recul du trait de côte et une nette accretion sur la rive gauche de Oued El-Harrach dans les années 1980. Les autorités algériennes sont passées à l'action et ils ont protégé le long de la côte des Sablettes par des enrochements afin de stabiliser la rive.

III.3.4. Evolution du trait de côte 2002-2013



Figure n° 24 : Carte d'évolution du trait de côte 2002-2013 des « Sablettes » réalisée par DSAS ArcGis 10.2.2

III.3.5. Evolution du trait de côte 2002-2016

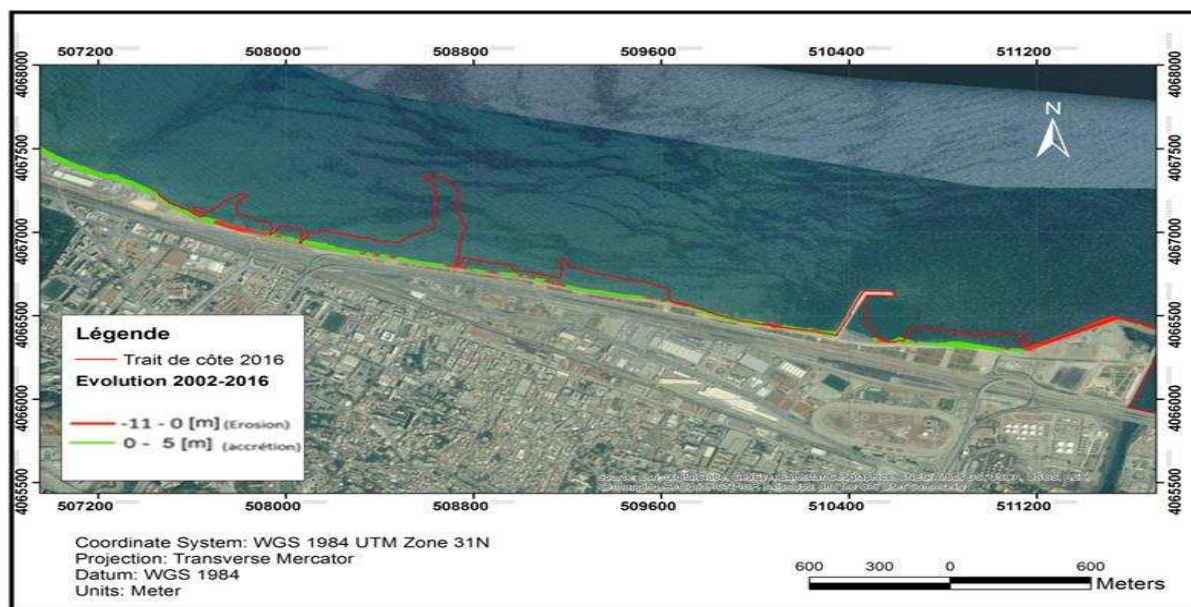


Figure n° 25: Carte d'évolution du trait de côte 2002-2013 en interaction avec le trait de côte 2016

Le but de la carte ci-dessus (**Figure n°27**) est de démontrer l'insignifiance de l'étude d'évolution du trait de côte au-delà de l'année 2013, on peut aisément observer l'importante intervention humaine le long du linéaire côtier des « Sablettes », perturbant toute évolution naturelle du trait de côte. Il est cependant notable que la plage formé à l'aval de l'épi Est est un bon indicateur pour la suite de l'étude.

Interprétation

L'étude d'évolution du trait de côte a été entreprise sur une durée de 54ans (1959-2013) se basant en premier lieu sur une évaluation faite par l'APPL (Agence de Promotion et de Protection du Littoral) à l'aide de photographies aériennes orthorectifiées datant de 1959 1972 1980 1984 1999, en second lieu nous avons eu recours aux images satellitaires Google Earth Pro, sur une période de 11ans [2002-2013]. Nous avons opté de nous arrêter en 2013, car à partir de cette année et jusqu'aujourd'hui, un nombre important de travaux a été entamé dans la zone et qui aurait pu fausser les résultats. Les terre-pleins mis en place par exemple, ne peuvent être considéré comme une avancé du trait de côte. Tout de même la zone des « Sablettes » a été siège à d'autres travaux bien avant 2013, se résumant en la mise en place de cordon d'enrochement de protection du côté Ouest et centre, visant à protéger les infrastructures routières et la station de dessalement d'El-Hamma , le côté Est a connu quant à lui des travaux au niveau de l'embouchure d'Oued El-Harrach.

La conjonction des deux études pourrait être utile dans l'établissement d'un bilan d'évolution du trait de côte sur une période allant de 1959 à 2013 soit environs 60ans, mais aussi d'évaluer l'impact de l'anthropisation sur la zone.

IV. ETUDE DES PROFILS

IV.1. Levé topographique

IV.1.1. Travail sur terrain

Les données ont été collectées in situ par l'utilisation des instruments de mesure qui sont : GPS (Garmin 76) et Théodolite (**Figure n°28**) : un instrument de topographie et géodésie complété d'un instrument d'optique, mesurant des angles dans les deux plans horizontal (AH) et vertical (V) ainsi que la pente (%) afin de déterminer une direction et calculer une distance (D en m), seront définis comme suit :

- **L'angle horizontal AH** : observé à l'aide d'un théodolite est un angle plan l, compté positivement dans le sens horaire. La lunette d'observation pivote dans un plan vertical, quelque soient les positions altimétriques de A et B, l'angle observé est identique AH
- **L'angle vertical AV** : est un angle, mesuré dans un plan vertical, entre la verticale en A et la ligne de visée vers l'objet " B ". L'origine de cet angle peut être le zénith, on parlera alors d'angle zénithal ou de distance zénithale (astronomie), mais aussi le plan horizontal en A, on parlera alors d'inclinaison ou de site.
- **La pente** : est une donnée procurée directement sur l'écran du théodolite, elle est généralement exprimée en %.
- **La distance D** : est calculée à partir des lectures effectuées sur la mire et qui nous permettent de les incorporer dans une formule de calcul.

$$D = (FSH-FSB) \times 100 \times \cos(\alpha), D = (FSH-FSB) \times 100$$

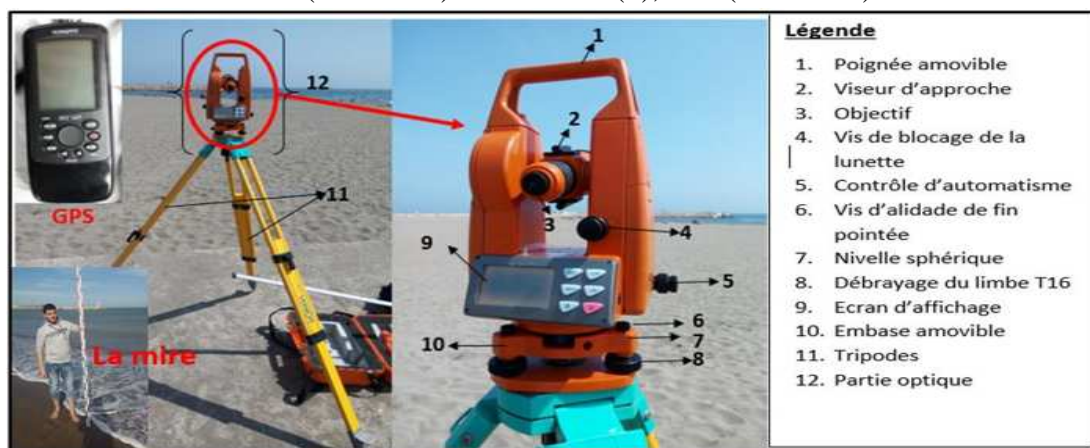


Figure n° 26 : l'instrument de mesures Théodolite, et GPS utilisé pour l'étude topographique dans la zone « des Sablettes »

Les résultats de cette étude topographique sont obtenus sous forme de tableau qui est mentionné dans l'annexe, ils sont ensuite analysés et traités à l'aide d'une macro

IV.1.2. Etude de profils de la plage

La plage concerné par cette étude de profils est celle de « Piquet Blanc » se situe dans la partie Est de la zone des Sablettes, formée en 2014 par l'accumulation sédimentaire à l'intérieur de l'épi Est en forme de "L". Elle s'étend sur une longueur de 280m et une largeur de 230m. Ses sédiments adoptent la couleur noirâtre, provenant d'Oued El-Harrach.

À signaler qu'il y a eu une formation d'une plage naturelle « Sablettes » en hiver 2014 dans la partie aval de l'épi Est mais elle a disparus au bout d'une année



Figure n° 27 : Réalisation des profils de plage de « Piquet blanc » dans la zone des « Sablettes »

IV.1.3. Etude de profil sous-marins

La réalisation des profils transversaux de la partie sous-marine revient à l'étude de la carte bathymétrique qui nous a permis de mettre en place 06 profils représentatifs de la plage sous-marine (Figure n° 30) de la côte vers le large.

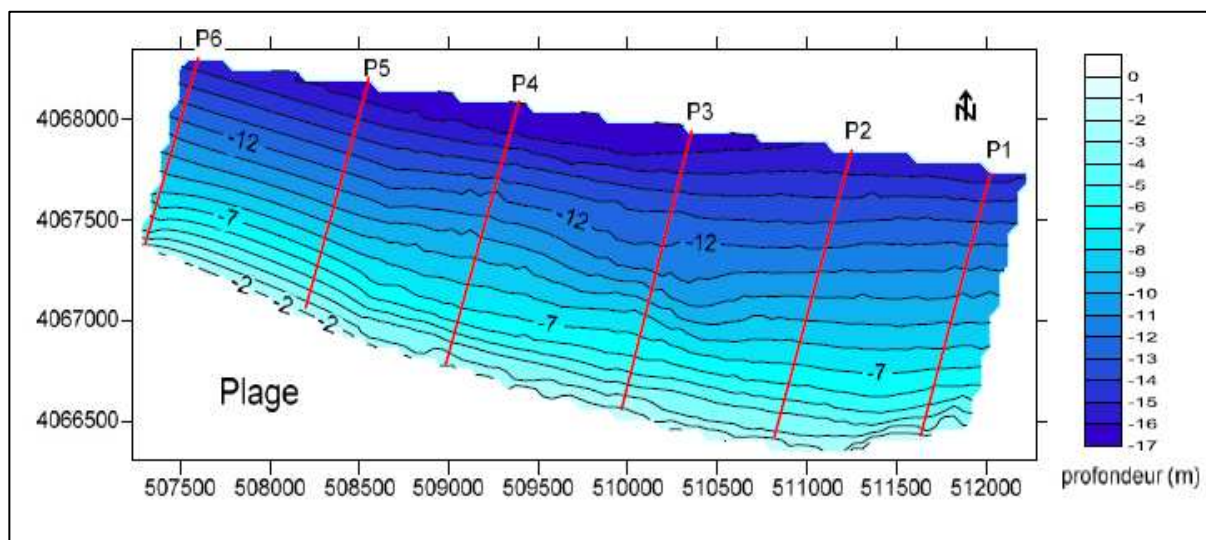


Figure n° 28 : Localisation des profils transversaux sur la carte bathymétrique

IV.1.4. **Analyse et traitement des profils**

IV.1.4.1. **Méthodologie**

L'étude des profils a été faite à l'aide de : **Profiler 3.1 XL** est la dernière version macros gratuite pour la construction et l'analyse descriptive de profils topographiques, notamment de profils de plage, mais il est utilisable pour d'autres types de relief. C'est une extension de Microsoft

Excel© à l'instar du célèbre logiciel d'analyse de données et de statistique XLSTAT (site web).

Ce programme a été conçu pour être manipulé facilement par un public non-spécialiste de la topométrie et de la géométrie, au sein de la communauté scientifique, des étudiants et des gestionnaires s'intéressant à la mesure et l'évolution du littoral. Il propose de nombreuses fonctions : importation et mise en forme de fichiers en provenance d'appareils de mesure, préparation des données, création de graphiques, analyses descriptives simples, analyses plus perfectionnées (notamment identification et description d'ondulations –bermes, *sandwaves*– description détaillée multicritères, comparaison de profils deux à deux). Un mode d'emploi détaillé est fourni avec le programme.

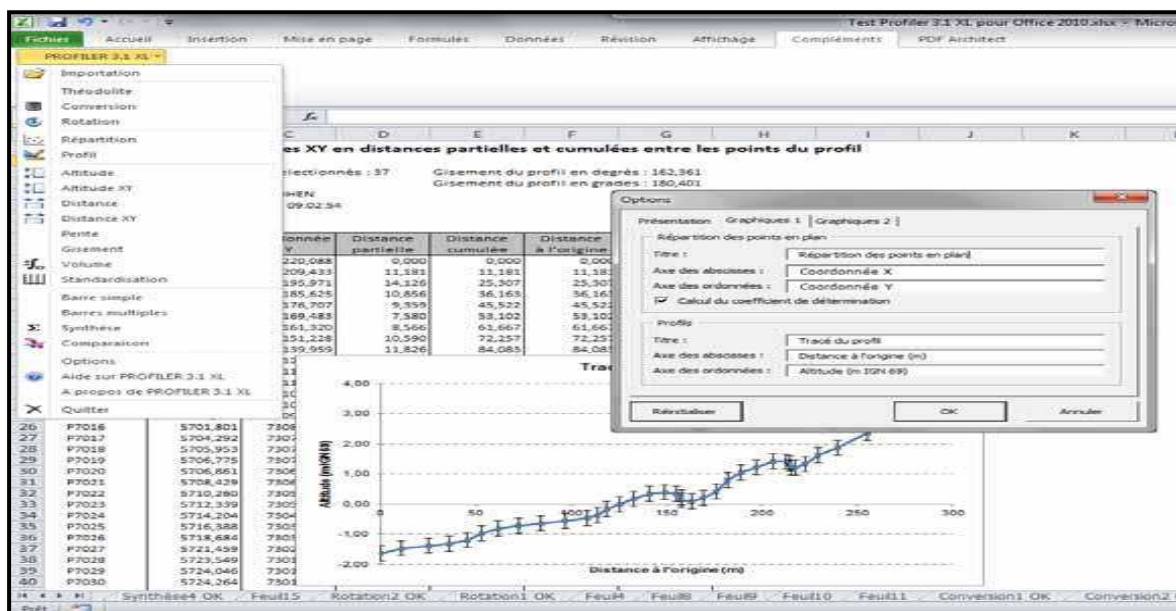


Figure n° 29 : l'interface de travail de la macro Profiler au niveau d'Excel

IV.1.4.2. **Résultats et interprétation**

L'étude et l'analyse des profils transversaux ont permis de déceler la morphologie du fond marin .Six profils sont tracés sur la carte bathymétrique afin d'étudier au mieux la morphologie sous-marine et comprendre l'évolution du fond.

Les résultats préliminaires de cette étude est donnée sous forme de tableau qui sera par la suite traduite en profils

- **Profils de la plage aérienne**

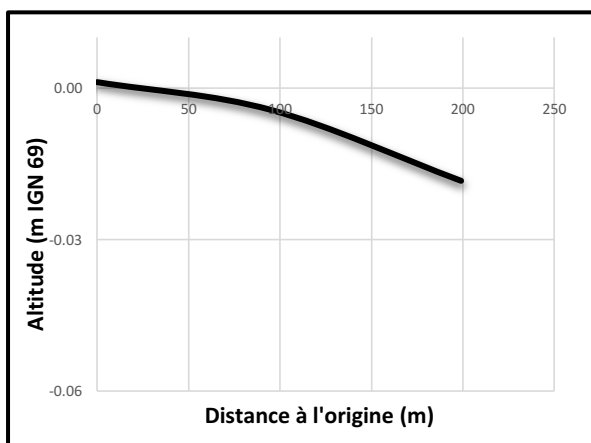


Figure : profil1

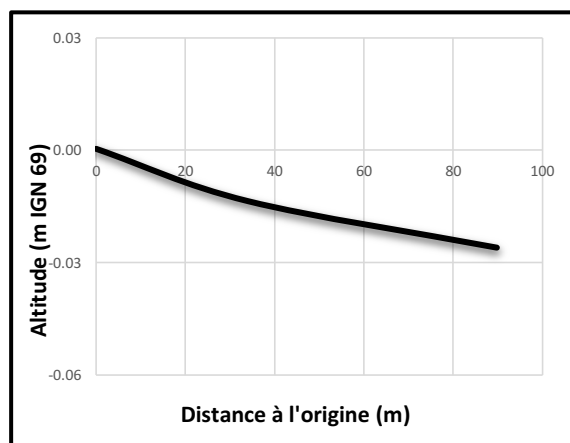


Figure : profil2

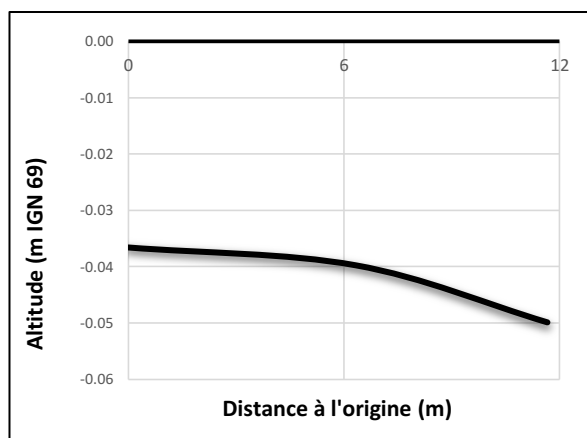
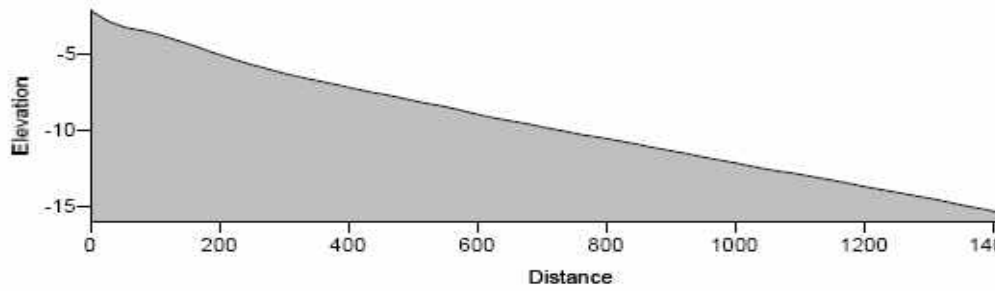


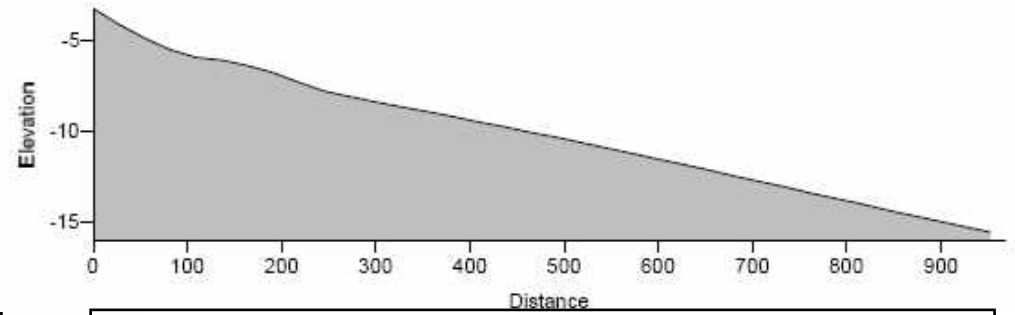
Figure : profil3

Profils de la partie sous-marine

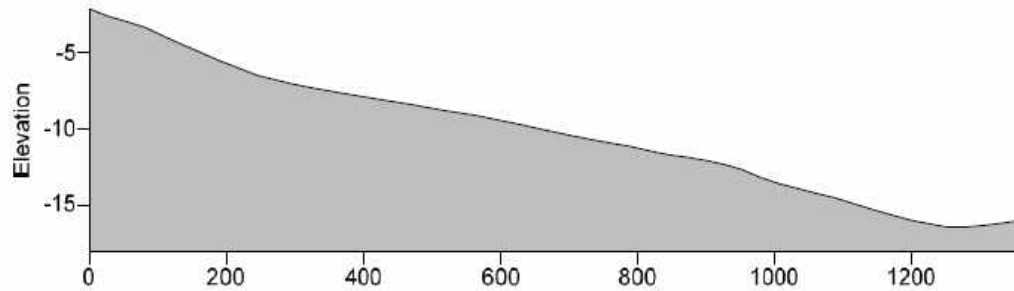
Chapitre 3 : Etude du trait de côte



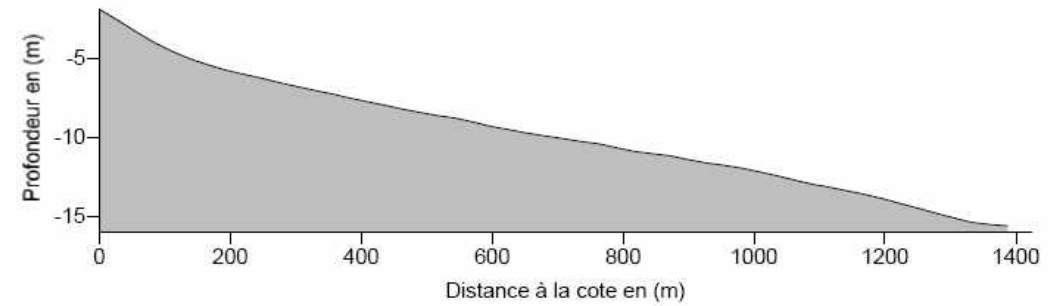
Profil 1



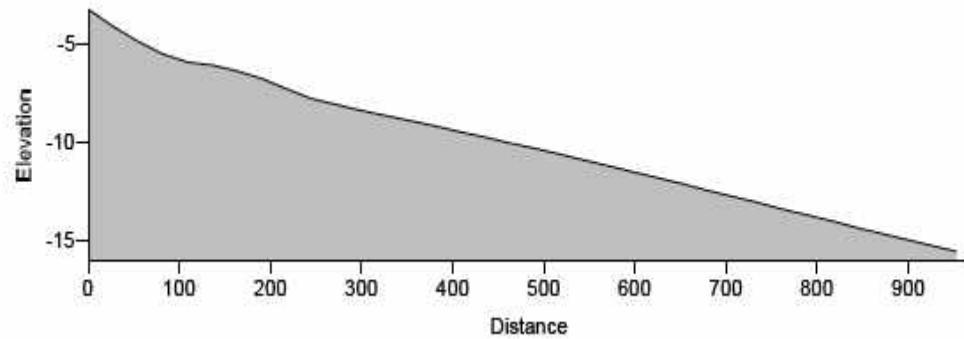
Profil 4



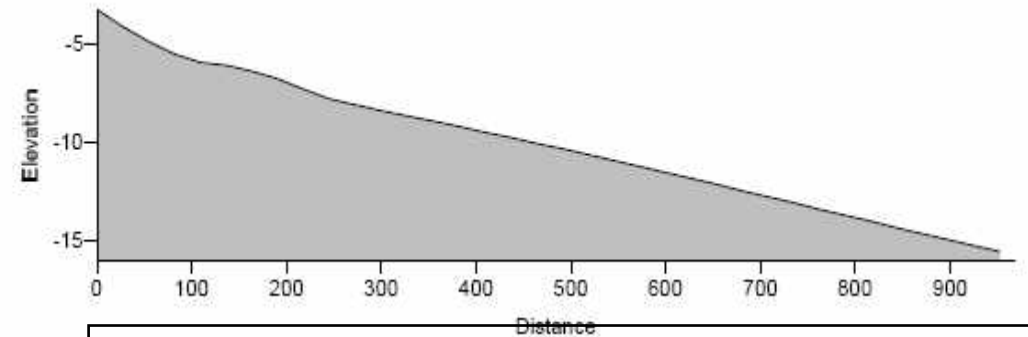
Profil 2



Profil 5



Profil 3



Profil 6

Interprétation :

D'une manière générale, le fond marin de notre zone d'étude se caractérise par un relief régulier et étagé par endroits.

L'étude des profils a mis la lumière sur une morphologie particulière caractérisée par une pente très douce à partir de -10 mètres de profondeur, les isobathes sont généralement parallèles à la côte, la pente générale du fond est de l'ordre de 1%.

V. CONCLUSION

La région des « Sablettes » tout comme le reste des côtes sableuses de la baie d'Alger a connu un déficit important en sédiment principalement lors de la disparition du massif dunaire, il serait cependant nécessaire de mentionner que durant cette période de [1959-2013], le linéaire s'est stabilisé considérablement, laissant croire que les différents enrochements mis en place pour sa protection ont accompli leur tâche convenablement, sachant que son évolution entre [2013-2016] n'est pas très significative vu les modifications qui sont en cours par la mise en place des terrepleins et autres structures.

Concernant la morphologie de cette bande d'étude, nous concluons qu'elle est caractérisée par une pente très douce, où ses isobathes sont régulières et parallèle à la côte.

Il faut citer que « Sablettes » est une zone abritée et peu vulnérable vis-à-vis des forçages hydrodynamiques, c'est dans ce contexte qu'on pourrait décrire notre linéaire côtier comme étant stable.

Partie 3 :

Modélisation numérique et physique

INTRODUCTION

La représentation du phénomène maritime réel nécessite de divers moyens qui peuvent être très onéreux. Dès qu'on cherche à comprendre et prévoir, même de manière qualitative, le comportement d'un système, on essaiera de s'appuyer sur la traduction de la complexité des phénomènes sous forme d'un ensemble d'équations mathématique décrivant les processus physiques qui seront par la suite implémenter dans un système afin d'être traité et avoir le résultat souhaité : On parle de la « **Modélisation numérique** ».

I. MODELISATION NUMERIQUE DES COURANTS ET VAGUES

Une modélisation précise des vagues et courant de surface se doit de traiter, de façon la plus fidèle possible, d'une part les effets non linéaire (dus aux interactions vague-vague et vague-fond et vague-courant) et d'autre part les effets dispersifs (*Chabot .S.2011*), tout en prenant en compte le caractère irrégulier et multidirectionnel de l'état de mer, mais aussi les variations bathymétriques.

Cette modélisation numérique de la houle et des courants est entreprise dans plusieurs buts (*Benoit, 2009*) parmi lesquels :

- Modéliser les transformations de la houle du large jusqu'à la côte.
- Obtention des données sur le climat de la houle au large de l'ouvrage à dimensionner qui seront utilisées par la suite avec les mesures de la houle autant que source indépendante afin d'obtenir des informations sur le climat à court terme de la houle au large. A partir de ces données, une analyse de la houle extrême peut être réalisée, si la durée des simulations des états de la mer dont on dispose est suffisante.
- Modéliser les courants de surface (Long-shore, cross-shore ...) qui vont nous emmener à mieux comprendre et trouver de meilleures explications aux transports sédimentaires et la dérive littorale existante dans la zone d'étude.

II. SIMULATION NUMERIQUE DE LA ZONE DES SABLETTES PAR MIKE-21

II.1.Principe de la simulation par MIKE21-DHI

Le modèle numérique utilisé dans le cadre de cette étude est le *MIKE21-DHI* (**Figure n°32**) de l'institut hydraulique Danois qui est un puissant système de modélisation numérique des phénomènes physiques (Houle, Courant et Transport sédimentaire), il permet de faire des simulations à grande échelle et d'augmenter la résolution des mailles de calculs à certains endroits du domaine simulé à l'aide de grilles imbriquées.

Les modules numériques choisis dans cette étude sont le couple du **Mike21/3 intergrated Models**. Le **SW** (*Spectral Waes model*) et **HD** (*Hydrodynamique model*), et **ST** (*Sédiment Transport*) font partie des modèles spectraux vague-vents de dernière génération, et sont basés sur une grille de calcul non structurée (mobile). Le modèle simule la propagation, l'évolution et la transformation des vagues générées par les vents à leur arrivée à la côte

L'organigramme illustré sur la montre bien l'approche méthodologique de la simulation des trois modules intégrés

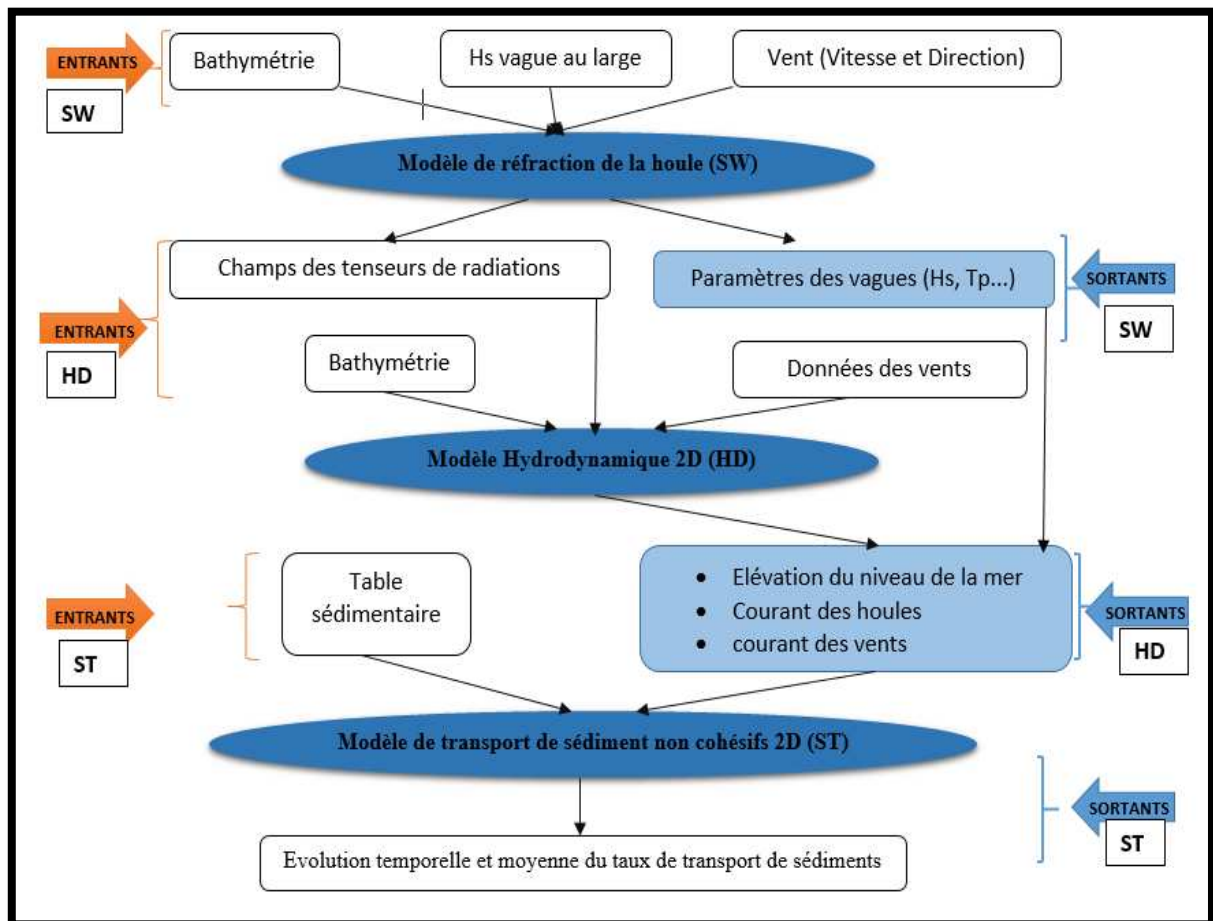


Figure n° 30 : Organigramme explicatif de l'approche méthodologique adoptée pour de la modélisation numérique du transport sédimentaire par le logiciel 2D MIKE 21.

II.1.1. Modèle SW (Spectral waves)

Le modèle SW (Spectral waves) (Figure n°32) prend en considération la génération des vagues par les vents, les interactions non linéaires vague-vague, la dissipation due au frottement sur le fond, la Dissipation due au déferlement, la Réfraction et le Shoaling due à la variation de la profondeur, les Interactions vagues-courants et les effets de la variation temporelle de la profondeur et l'effet de sécheresse et inondation.

Les limites ouvertes du modèle ont été alimentées par les paramètres de houle de type 1(version 1), ces derniers sont constants dans le temps et tout au long des limites ouvertes. Ils ont concerné : la Hauteur significative, la Période pique, la direction de la houle. Les scénarios simulés ont été choisi après traitement statistique des houles au large par les données (SSMO, 1973).

En effet nous avons fait varier les directions de provenances dominantes allant de L'Est – Ouest dans l'éventail de directions sollicitant le site d'étude (de 315°N-360°N à 45°N). Pour chaque direction, deux combinaisons de hauteurs et de périodes les plus dominantes ont été choisies. Et d'autres paramètres comme le montre (**Tableau n°9**) ci-dessous :

Tableau n° 4: Les paramètres d'entrée du modèle SW

Paramètres	Configuration
Equation de base	la formule directionnelle de Navier-Stockes
Discrétisation	Logarithmique
Niveau d'élévation	Extraite du modèle HD
Conditions des courants	Extraite du modèle HD
Conditions des vents	Pas disponibles (Directions)
Déferlement	Présent, Coefficient : $\epsilon=0.75$
Conditions initiales	<ul style="list-style-type: none">• Formules empirique• Formule JONSWAP• Fréquence maximale =0.4 Hz• Bathymétrie de 2013

Tableau n° 5: Les paramètres sortant du modèle SW

Nom	Symbole	unité
Hauteur significative	H_{m0}	Mètre [m]
Période pique	T_p	Seconde [s]
Direction moyenne	MWD	degrés

3.1.3. Modélisation du transport sédimentaire

Action de la houle et des courants sur la dynamique sédimentaire

A l'approche de la côte, la houle devient un facteur prépondérant de transport sédimentaire par deux mécanismes principaux : elle peut d'une part remettre en suspension et déplacer les sédiments sur le fond, et d'autre part engendrer un courant littoral parallèle au rivage susceptible de déplacer des matériaux tout comme les courants de marée.

Leur représentation au sein d'un modèle morpho-dynamique peut être effectuée avec plus ou moins de précision, mais demeure dans tous les cas complexe pour maintes raisons à savoir : La houle est un phénomène stochastique, cependant, la lourdeur des calculs de houle ne permet pas, lors d'une étude morpho-dynamique à long terme, l'introduction aléatoire de situations climatologiques successives se rapprochant au plus près d'un climat de houle réaliste.

II.1.1.1. Modèle ST description et configuration

Le module MIKE21 ST est un modèle numérique qui calcule les taux de transport de sédiments (e.g. sable) sous l'action combinée des courants et des vagues. Les courants qui transportent les sédiments sont causés par les vents, les vagues ou une combinaison des deux.

Chapitre4 : Modélisation numérique

L'effet des vagues déferlantes et non déferlantes est inclus dans le calcul des taux de transport.

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

L'érosion et la sédimentation peuvent ensuite être calculées par l'utilisateur à partir des gradients spatiaux des taux de transport de sédiments fournis par le modèle ST. Dans la zone de déferlement, les courants de retour sont inclus. Le modèle est déterministe et demande un minimum de calage. Les taux initiaux de sédimentation/érosion sont calculés à l'aide de l'équation de conservation de la masse sédimentaire

C'est cette dernière qui a été adoptée dans la présente étude. Elle offre à son tour deux façons de calculer les taux de transport de sédiments. La première façon est basée sur une approche de plan bidimensionnel horizontal (2DH) dans lequel les taux sont calculés dans la direction du courant moyen, avec une composante transversale résultante de la pente du fond. La deuxième façon est basée sur une description quasi-tridimensionnelle (Q3D) de l'hydrodynamique et du transport de sédiment qui décompose le transport dans des directions perpendiculaire et parallèle au courant, et au rivage dans la zone de déferlement des vague.

Tableau n°11 : Paramètres d'entrée au modèle ST

Paramètres	configuration
Définition du modèle	Vague et courant
Taille de la maille de la grille	1m
Propriétés des sédiments	<ul style="list-style-type: none">• Porosité = 0.4• Diamètre moyen $D_{50} = 0.17$ mm• Ecart type $\sigma_g = 1.1$
Vagues	Extraites du module SW <ul style="list-style-type: none">• Période de pique T_p(s)• La hauteur significative H_{mo} (m)• Direction des vagues dominantes $Deg(^{\circ})$
Morphologie	Bathymétrie, Rugosité des fonds marins = 2.5fois D_{50}

III. RESULTAT DE LA SIMULATION

III.1. Paramétrage du modèle

III.1.1. Emprise du modèle

Cette étape est fondamentale dans cette modélisation numérique, elle sert à définir la grille dans laquelle toutes nos simulations seront établies. La définition de cette

Chapitre 4 : Modélisation numérique

emprise du modèle consiste à éloigner les frontières du modèle de la zone d'étude des Sablettes, c'est-à-dire prendre toute la Baie d'Alger, afin de s'affranchir des « effets de bords » et disposer de conditions aux limites fiables. Cette stratégie réalise deux modèles. Nous nous sommes basés sur le premier modèle qui consiste à faire une bonne représentation de l'emprise « Les Sablettes »

La simulation a été menée par l'utilisation du modèle numérique de terrain (MNT) précis pour présenter avec précision le phénomène de la réfraction. Dans cette optique deux données ont été collectées à savoir :

- Base de données cartographique issue de la digitalisation de la carte SHOM 2005, correspondante au port d'Alger dont son échelle : **1/30.000**
- Des données issue de la bathymétrie fine : Compagne réalisée par l'équipe du LEM en 2013
- De ce fait nous avons fusionné les bathymétries de 2005-2013-2014 afin de créer un Modèle Numérique de Terrain (MNT), qui sera implémenté au sein du « MIKE Zero » sous forme d'une table Excel (Latitude(x), Longitude(y), profondeur(z)), et enfin l'afficher (**Figure n° 44**)

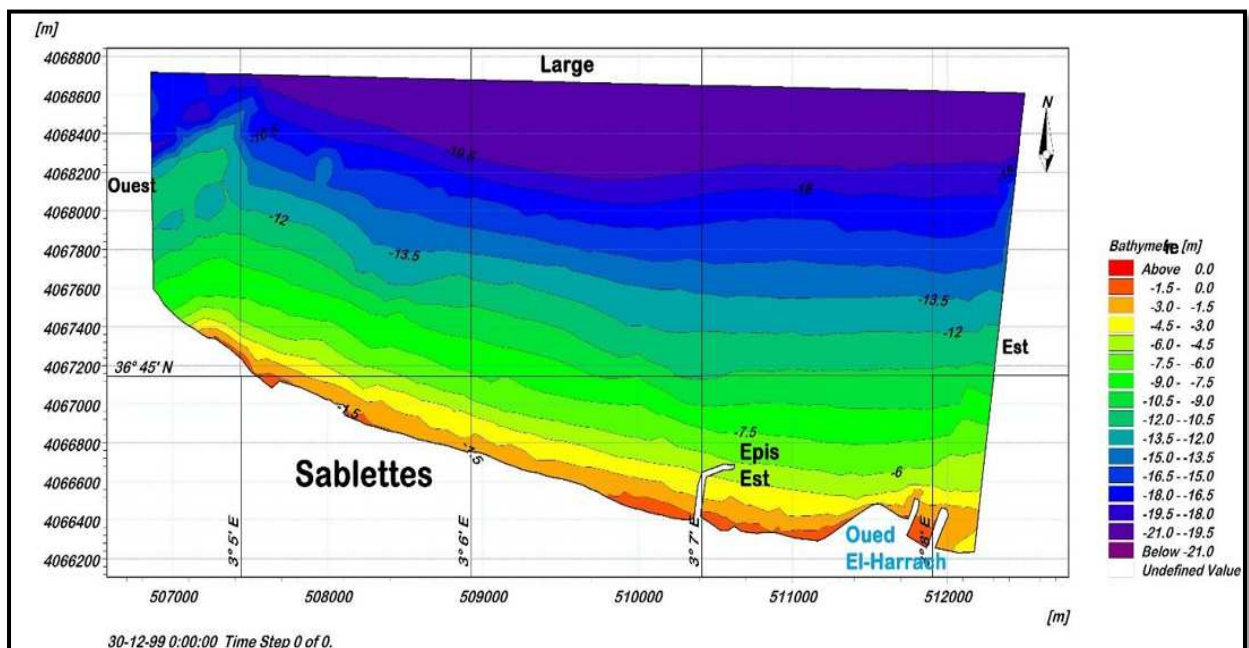


Figure n° 31: Bathymétrie de la zone des Sablettes établie par le

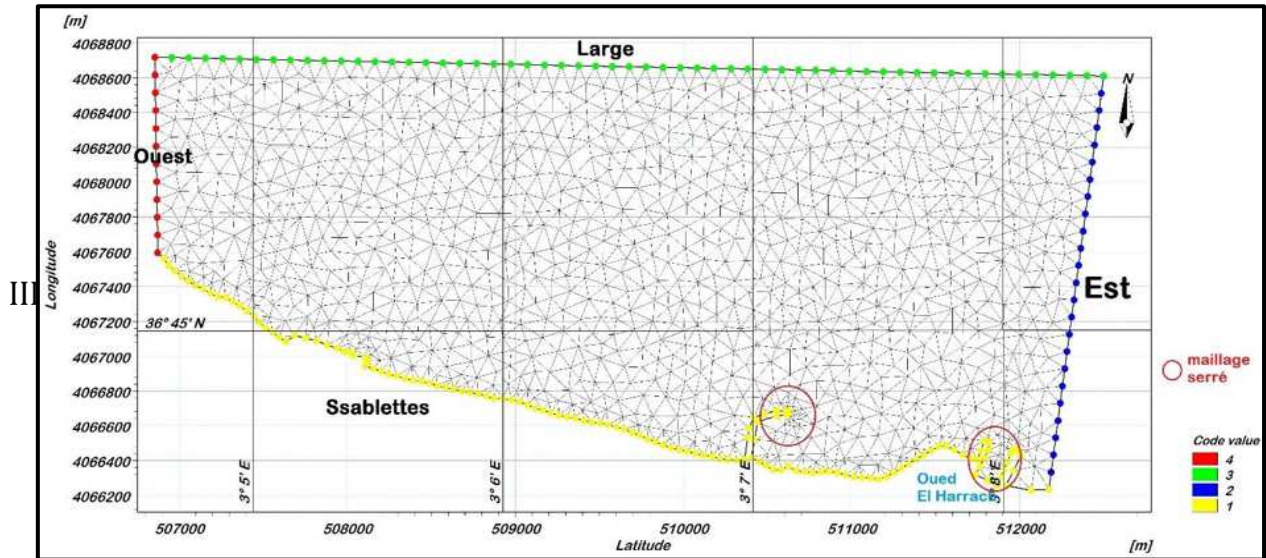
III.1.2. Maillage du modèle

Le modèle de la zone « des Sablettes » intègre l'utilisation du : **maillage triangulaire uniquement** qui nous a permis d'affiner les résultats à savoir que notre zone adopte une forme rectangulaire régulière.

La création du MESHGrid est donc de type « triangulaire », où les triangles sont équivalents, leurs tailles varient de [100m à 150m], selon l'emplacement c'est-à-dire un maillage serré au niveau des bordures et à l'extrémité de l'épi Est et plus léger

Chapitre4 : Modélisation numérique

tout au long du linéaire côtier de 4.7km et à l'embouchure de Oued El-Harrach. La surface du maillage est de 8500m², et le nombre d'itérations était de 250fois. (Figure n°45).



Le **Figure n° 32 : Maillage du modèle local des Sablettes, MIKE 21** est de dépassement d'une houle d'amplitude donnée. Les houles de fortes amplitudes (>10s), ont une probabilité d'apparition relativement faible. Les périodes de houle considérées dans le cadre de cette étude sont 6, 8,10 secondes pour les houles annuelles (**Tableau n°12**)

Tableau n° 6 : Caractéristiques de la houle annuelle au large (LEM ; 2016)

Période	Directions de la houle au large				
	Ouest	Nord Ouest	Nord	Nord Est	EST
6s	1.19m	1.1m	1.00m	1.09m	1.06m
8s	2.67m	2.64m	2.67m	2.56m	2.53m
10s	5.54m	4.53m	4.92m	5.05m	6.52m

III.2. Résultats de la simulation par SW

Les résultats de l'étude de propagation de la houle du large de la Baie d'Alger vers la côte des Sablettes sont obtenus sous trois formes :

- Une détermination quantitative du coefficient de réfraction K_r , pour chacune des directions retenues, à la profondeur limite de la dynamique sédimentaire à savoir -15m, ainsi qu'une détermination de l'angle d'arrivée (réfracté) (**Tableau n°13**).
- Cartes de réfraction qui montrent qualitativement le changement de la hauteur et de la direction de la houle au cours de sa propagation.
- Une rose des houles.

Chapitre4 : Modélisation numérique

I.1.1. Représentation quantitative de la réfraction

L'analyse et le traitement des paramètres de sortie de la simulation établie par le modèle MIKE21 : SW (Spectral Wave), sous forme d'un méga tableau a été résumé dans le tableau ci-dessous :

Tableau n° 7: Représentation des résultats de réfraction de la houle au large

Directions de la houle	Période de la houle en (s)	Hauteur significative de la houle au large Hs (m)	Hauteur de la houle à -15 m	Coefficient de réfraction (Kr)	Angle d'arrivée (Réfractée)
N315°	6	1.10	0.65	0.58	N340°
	8	2.64	1.40	0.53	
	10	4.53	2.36	0.51	
N360°	6	1.00	0.94	0.94	N360°
	8	2.67	2.4	0.9	
	10	4.92	4.35	0.89	
N45°	6	1.09	0.90	0.82	N30°
	8	2.56	1.94	0.75	
	10	5.05	3.71	0.73	

Interprétation

L'analyse de ce tableau, il en ressort que selon les hauteurs de houles les plus prépondérantes au large sont de l'ordre suivant Est-Nord-Ouest. Arrivant à la côte elles se réfractent et deviennent de l'ordre de Nord, Nord-Est vers Nord-Ouest.

Concernant, les houles issues de la direction Nord-Ouest (N315°) sont les plus réfractées avec des coefficients Kr qui varient entre 0.5 et 0.6, cela indique que ces houles perdent de 40 à 50% de leur énergie initiale en arrivant à -15m de profondeur.

Les houles de secteur Nord-Est (N45°) ont un coefficient de réfraction légèrement au-dessous de celui des houles Nord. Elles doivent cependant être prises en considération, car leur impact est important sur notre zone d'étude vu leur fréquence et orientation (exposition du site au secteur Nord-Est).

Les houles de secteur Nord (N360°) présentent des angles d'arrivées quasiment inchangés à leur arrivée à -15m de profondeur, elles sont donc moins affectées par la réfraction et gardent une partie importante de leur énergie initiale.

III.2.4. Représentation Graphique de la réfraction

La représentation graphique de ce phénomène est recommandée afin de pouvoir le visualiser et illustrer les résultats, c'est pour cela qu'un nombre de cartes par direction et par période de houle a été réalisé.

Chapitre4 : Modélisation numérique

III.2.4.2. La houle au large de direction Nord-Ouest (315°N)

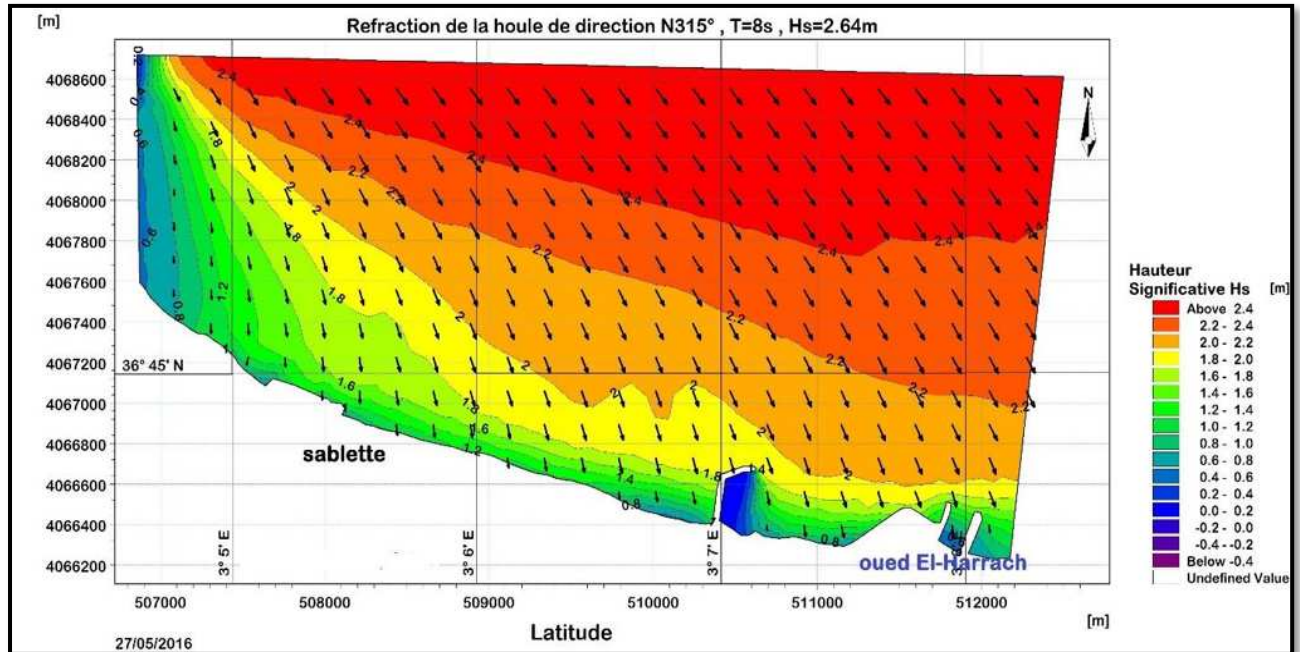


Figure n° 33: Carte représentative de la réfraction de la houle de direction N 315°, Période de T=8s, Hauteur significative Hs= 2.64m

Interprétation

La figure ci-dessus (**Figure n°46**) illustre la propagation de la houle provenant du secteur Nord-Ouest [315°N].

En premier lieu, nous observons que l'ensemble des houles arrivent obliquement à la côte, par un pivotement des orthogonale de direction Nord-Ouest à Nord avec un angle de 25° [de 315° à 340°]. Ensuite nous constatons que les vagues perdent la moitié de leur énergie à leur arrivée à la côte, leur coefficient de réfraction est de **0.53** indiquant un moyen effet de Shaoling. Cette perte d'énergie à fur et à mesure de son évolution vers la côte, pourrait être dû à la morphologie de la baie, notre zone est abritée non seulement par le massif de Bouzeréah mais aussi par la jetée principale du port d'Alger qui l'affecte complètement et ceci est confirmé par les autres carte de réfraction des périodes [6 et 10] s présentes dans l'annexe.

Enfin cette direction n'est pas très significative dans notre zone d'étude puisque elle se dissipe complètement avant son arrivée à la côte.

Chapitre4 : Modélisation numérique

III.2.4.3. *La houle au large de direction Nord (360°N)*

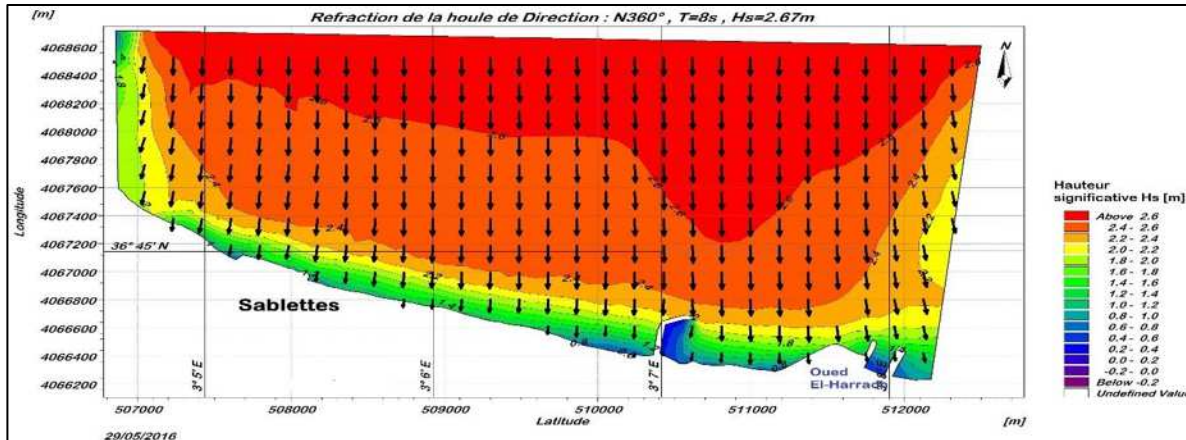


Figure n° 34: Carte représentative de la réfraction de la houle de direction N360°, Période de T=8s. Hauteur significative Hs= 2.67m

III.2.4.4. *La houle au large de direction Nord-Est (45°N)*

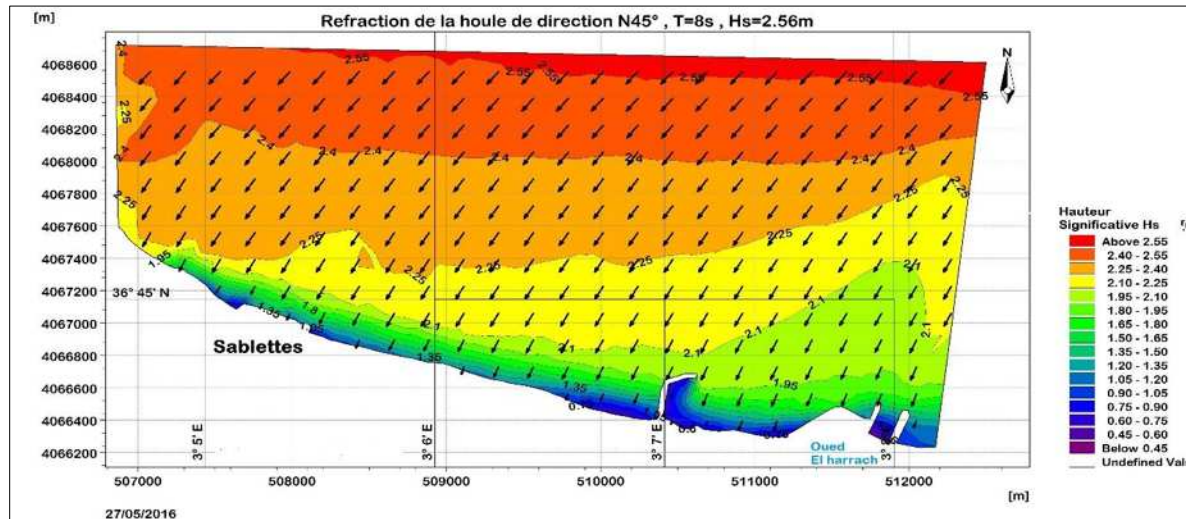


Figure n° 35: Carte représentative de la réfraction de la houle de direction N45°, Période de T=8s, Hauteur significative Hs= 2.56m

Interprétation

La figure ci-contre représente la propagation des houles du large provenant du secteur Nord N360°. Nous constatons que les vagues atteignent frontalement notre zone, ce qui explique qu'elle est totalement affectée. Ces houles sont celles qui se réfractent le moins avec des angles de déviation quasiment nuls 1° et un coefficient de réfraction de 0.9. Ces caractéristiques leur permettent de garder une partie importante de leur énergie initiale.

Cette direction est la plus présente tout au long de l'année, en ce qui concerne la hauteur significative Hs [m], nous remarquerons que les houles présentent des rapports (H/H0) proches de 1 indiquant un effet Shaoling très faible.

Interprétation

La carte ci-contre représente la propagation de la houle du secteur Nord-Est (N45°).

Nous constatons qu'elles ont une provenance oblique par rapport à la côte des Sablettes. Leur amplitude et coefficient de réfraction sont légèrement au-dessous de la Nord il est de 0.7, ses orthogonales pivotent de Nord-Est en Nord à leur arrivée à la côte avec un angle de 15°.

Elles doivent cependant être prises en considération, car leur impact et influence est très significatif sur notre zone d'étude vu leur fréquence et orientation (exposition du site au secteur Nord-Est).

III.2.5. La rose des houles

A l'issue de cette étude, des données de la réfraction de la houle à une profondeur de -20m sont extraites sous forme d'une table issue des résultats du module SW, dont laquelle est indiquée les différents paramètres hydrodynamique (Hauteur significative H_s , Période pic de la houle T_p , profondeur z , courants, élévation du niveau de la mer, direction...). De cela une rose des vents a été établie à l'aide du module **Rose plot** du logiciel **Mike 21**, qui illustre la distribution des houles en fonction de leurs hauteurs significatives et directions. Elle est représentée par la (Figure n°49) ci-dessous :

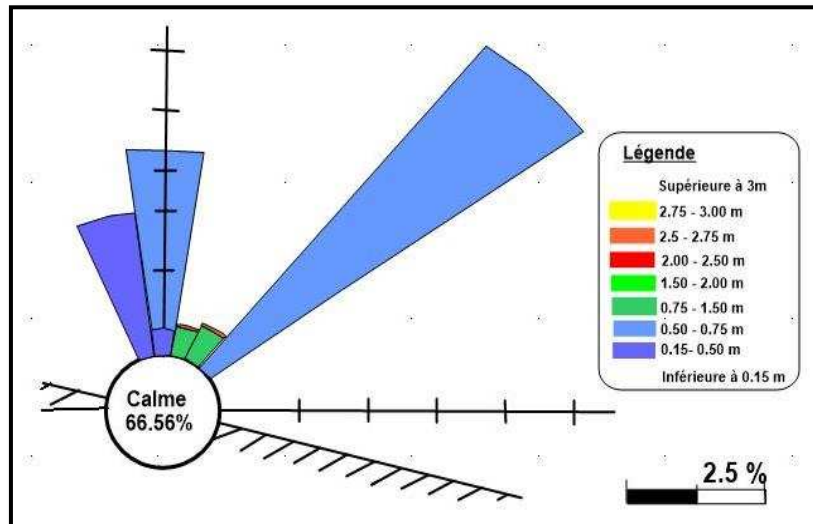


Figure n° 36: Rose de houles annuelles à la côte de la zone «Sablettes», LEM, 2016

III.2.6. Résultats de la simulation par le HD

Les résultats issus de la modélisation numérique des courants sont représentés sous formes graphiques, nous avons obtenues trois cartes correspondantes aux directions dominantes qui seront illustré comme suit :

I.1.1. Etude des courants Nord-Ouest (315°N)

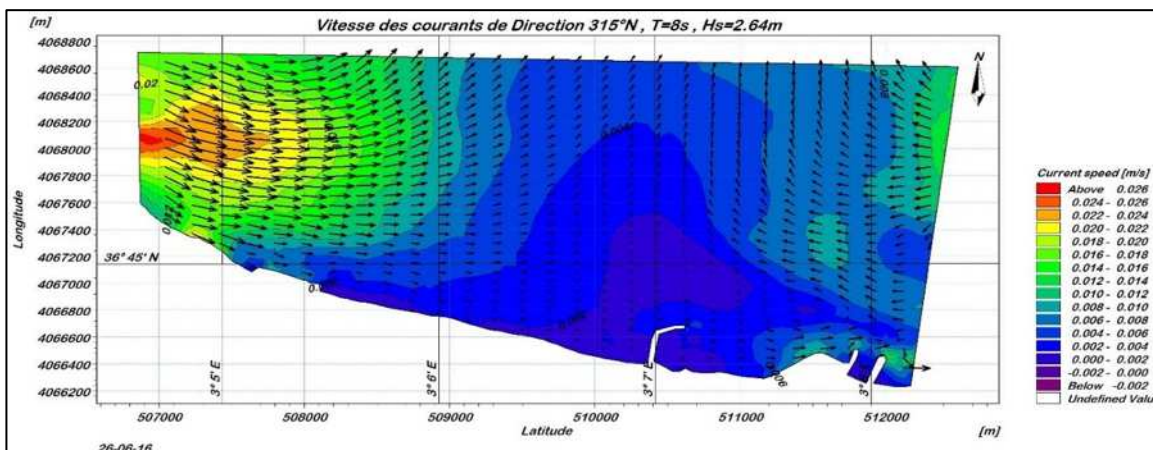


Figure n° 37: Carte de la vitesse des courants de la houle de direction N315°, Période de T=8s, Hauteur significative $H_s= 2.64m$

III.2.7. Etude des courants Nord (360°N)

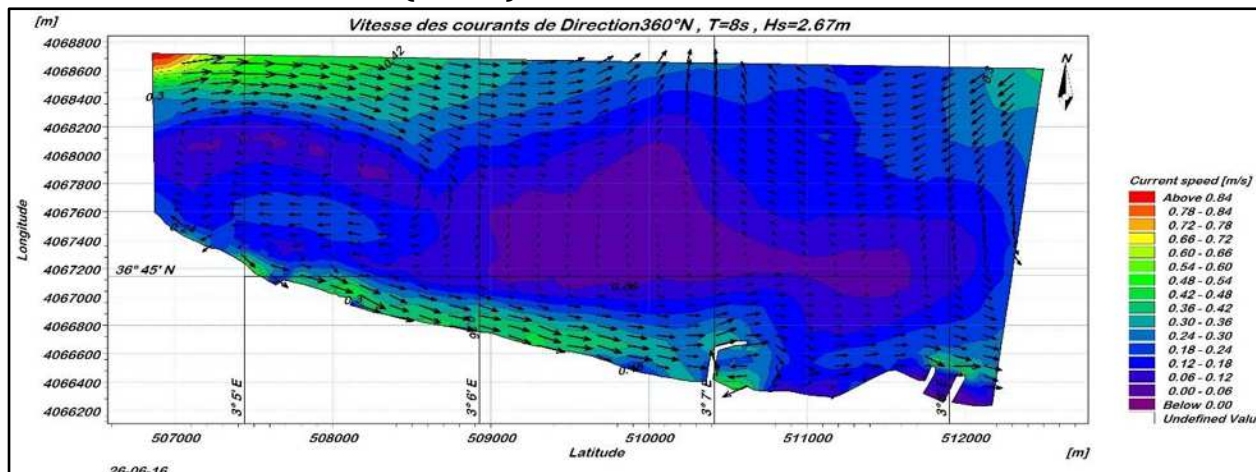


Figure n° 38: Carte de la vitesse des courants de la houle de direction N315°, Période de T=8s, Hauteur significative Hs= 2.64m

III.2.8. Etude des courants Nord-Est (45°N)

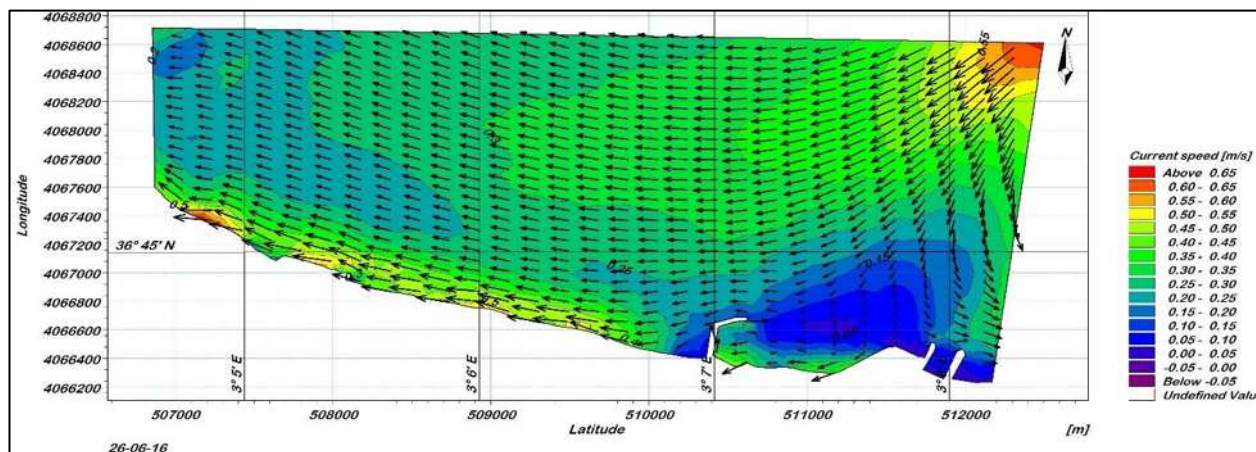


Figure n° 39: Carte de la vitesse des courants de la houle de direction N45°, Période de T=8s, Hauteur significative Hs= 2.67m

Commentaire

Les Figures (39,40,41), représentent l'étude des champs de courants induits par les vagues calculées au moyen du modèle numérique MIKE21-HD pour les trois houles sélectionnées dont les périodes sont de [6-8-10] s. La première observation indique que la totalité de déplacement des courants dans les trois cartes ci-contre est de la côte vers le large. Nous constatons que ce modèle hydrodynamique a mis en évidence l'apparition d'un courant de dérive littorale Est- Ouest généré par les houles provenant des secteurs Nord –Est (45°N).

Le courant qui provient de la direction Ouest-Est est engendré par les houles de provenance Nord –Ouest (315°N) et Nord (360°N). Lorsque ces courants sont engendrés par les houles de 8s et 10s ayant de fortes amplitudes, ils contournent l'épi Est en le pénétrant, on assiste à un faible phénomène de diffraction leur déplacement continue en longeant la côte jusqu'à Oued El-Harrach. Les vitesses des courants sont généralement faibles et ne dépassent pas 0.9m/s tout au long de la côte, mais ceux engendrés par le secteur Nord-Ouest sont les moins significatifs, leur magnitude ne dépasse pas les 0.026m/s et ils atteignent uniquement la partie occidentale de la côte.

CONCLUSION

Cette partie d'étude numérique par le biais des codes de calcul du Mike 21, nous a permis de mettre en lumière l'ensemble des processus existant et surtout dominant dans notre zone d'étude des Sablettes afin d'élucider la dynamique sédimentaire.

Au préalable, nous avons déterminé les conditions hydrodynamiques dominantes, commençant par la propagation des houles du large vers la côte, dont leur orthogonales pivotent généralement vers le Nord, où l'angle de déviation maximale est de 25°. Les houles de direction Nord-Est sont dominantes et affectent la plage « Piquet Blanc » dans la partie Est.

Ensuite, les champs de courants engendrés par les vagues, ont mis en évidence l'apparition d'un courant de dérive littorale Est-Ouest généré par les houles provenant des secteurs Nord –Est (45°N), et Nord (360°N) avec une faible vitesse qui ne dépasse pas 0.9m/s, ce qui nous emmène à déduire que notre zone d'étude n'est pas soumise à un courant complexe.

Enfin à partir des résultats cités auparavant, nous avons pu déterminer le transit littoral, qui est généré par des houles de direction Nord-Est, longeant la frange littorale des Sablettes d'Est en Ouest ce qui conduit à des accumulations sableuse naturelle le long de l'épi Est pour former une plage. Nous avons estimé un transport sédimentaire annuel moyen d'environ **8400m³/an**.

A noté que, d'après l'étude de l'élévation du niveau de la mer, la zone d'étude n'est pas très vulnérable au forçage côtier tel que la submersion.

Pour la validation de cette étude, il serait souhaitable de disposer des études sur terrain sur de longue durée à chaque station, afin de confirmer les résultats et de déterminer la marge d'erreur imputable aux mesures.

A signaler qu'il était préférable d'abord de faire une étude de ces processus dans la zone sans la présence de l'aménagement ensuite la zone en question en présence de l'épi Est afin de voir l'impact sur l'équilibre de la dynamique sédimentaire pour pouvoir estimer le risque d'ensablement qui pourrait en découler rendant l'ouvrage non opérationnel.

Chapitre 1 : Modélisation physique

I. INTRODUCTION

On assiste depuis quelques années à un renouveau des modèles physiques, dans tous les domaines de l'hydraulique. Malgré une évolution rapide de la modélisation mathématique, notamment 3D, le modèle physique reste un outil incontournable pour valider certains résultats ou remplacer le modèle mathématique quand celui-ci trouve ses limites. Les avancées récentes en termes d'instrumentation et moyens de mesures des phénomènes, ont permis de redonner un nouvel élan aux modèles réduits, qui ont toute leur place dans la panoplie des outils à disposition des maîtres d'ouvrage et des bureaux d'études.

I. GENERALITES

I.1. L'intérêt de la modélisation dans le domaine maritime

Toutes organisation du littoral nécessite un aménagement maritime faisant appel à la mise en place des ouvrages ayant de divers objectifs qui sont très coûteux , ce qui a poussé les experts du domaine avant toute réalisation de bien apercevoir et prévoir leur fonctionnement , et ceci à fin de :

- Garantir le meilleur fonctionnement de l'ouvrage contre l'action continue de la mer.
- Les observations des évolutions naturelles chronologique des évènements (séquence des épisodes de houles, marées, tempêtes ...).
- La simplification de la réalité intervient au niveau de la géométrie des fonds marins, mécanismes hydrodynamiques et sédimentaire.
- S'assurer que les objectifs visés seront atteints (formation des plages, tombolo, accrétion, érosion ...).
- Faire une projection au futur proche des risques qui se manifesteront, ainsi que la détermination de leurs impacts sur l'environnement.
- Au point de vue économique, optimiser le projet de la réalisation et le suivis.

I.2. Notions fondamentales

Le modèle : c'est une représentation de la réalité abstraite à petite échelle. Pour un projet d'aménagement du littoral, les modèles physiques sont restés le seul outil efficace pour définir correctement leur comportement, vu qu'il a bénéficié d'une longue et fructueuse expérience.

Le prototype : domaine physique naturel et dynamique, sujet à la modélisation.

Echelle de réduction : c'est le rapport des grandeurs entre le prototype et le modèle.

I.2.1. Définitions de la modélisation.

A la lumière de toutes les définitions établies auparavant, l'idée de base de la modélisation physique est de réduire la taille du domaine physique et l'ampleur des facteurs dynamiques, et d'accélérer la marche du temps dans des proportions spécialement déterminées pour que les mouvements et les évolutions soient homologues.

I.3. Types d'étude sur modèles réduits

Etant donné la complexité des phénomènes étudiés en modèle réduits, plusieurs options ont été mise en œuvre afin d'atteindre une meilleure approche des interactions houle-ouvrage, il existe donc des modèles à 2 et à 3 dimension, définis à base de leur siège, des buts recherchés et des observations qui en résultent.

I.1.1. Etude à deux dimensions

Elle se fait en canal à houle, pour déterminer le profil transversal de l'ouvrage, et s'assurer de sa stabilité face aux phénomènes de franchissements, de transmission et de la résistance mécanique des matériaux.

I.3.2. Etude à trois dimensions

Elle se fait en bassin à houle de grande superficie afin d'examiner certains problèmes particuliers :

- L'influence des fonds sur les caractéristiques de la houle et une appréciation des phénomènes de réfraction, diffraction et réflexion,
- Une vue générale des ouvrages et la différence de résistance des points singuliers tels que les musoirs d'extrémité, les points anguleux (coudes),
- De tels essais peuvent également être utiles pour apprécier les risques de dommages en cas de tempêtes survenant pendant les phases de travaux et pour rechercher les protections provisoires à prévoir en cas d'annonce de tempête et/ou d'arrêt du chantier.

I.3.3. Le modèle sedimentologique

Le modèle physique sedimentologique présente la particularité d'être établi sur fonds mobiles, afin de simuler la dynamique hydro-sédimentaire d'un site donné. Il reproduit à la fois les phénomènes hydrauliques (houles, marées, courants) et les phénomènes sedimentologique (la reprise, le transport et le dépôt des sédiments). C'est un type qu'on peut insérer dans l'étude à 3 dimensions puisqu'il se fait exclusivement en bassin à houle. La reproduction des mouvements de grains conduit inévitablement à l'usage d'un modèle distordu. Un choix d'échelle préalable se fait en se basant uniquement sur les dimensions du bassin, cependant les deux échelles horizontale et verticale peuvent être ajustées en comparant les données naturels du prototype et celles théoriques du modèle.

Cette étude recouvre un grand nombre de problèmes, comme (*Viguiet, 1992*) :

- L'ensablement et/ou l'envasement des ports et de leurs accès ;
- L'érosion et la protection du littoral ;
- L'impact d'ouvrages sur les fonds et sur le littoral ;
- La création ou la restauration de plages.

Une étude sur modèle réduit sedimentologique comprend les phases successives suivantes (*Viguiet, 2002*) :

- construction du modèle.
- réglage hydraulique : reproduction des phénomènes hydrodynamiques du site (houles, marées, courants,...).
- réglage sedimentologique : mise au point d'un cycle annuel qui est la succession schématique des houles naturelles (hauteurs, périodes et directions) telle qu'elle a pu être observée sur le site lors d'une année moyenne, c'est-à-dire avec des périodes de tempête et des périodes de beau temps.

- reproduction des évolutions des fonds observées par le passé (méthode historique). cette phase est la plus importante, car elle va valider le modèle quant à sa capacité à reproduire la dynamique du site.
- Essais finaux et l'exécution du modèle.

I.4.Principe de la modélisation

La modélisation a pour but la compréhension d'un phénomène naturel, physique à travers sa représentation en modèle, la tâche la plus complexe et la plus importante est la construction du modèle en lui-même. Si on veut résumer cette démarche, les étapes à suivre seront comme suit :

Dans le cas d'une étude hydro-sédimentaire, le facteur « grain » est un élément clé dans la réussite de la modélisation, sa représentation en modèle doit respecter un certain nombre de conditions afin que celui-ci puissent représenter fidèlement le comportement du sédiment naturel, il sera souvent remplacé par un matériau moins dense au diamètre plus important (mais équivalent) tel que le plastique broyé (PVC), la sciure de bois, ou encore le (plexiglas)

Les modèles réduits sont historiquement les plus anciens (*Viguiet, 1992*) et les premiers à avoir été utilisés il y a maintenant plus d'un demi-siècle (*Mignot, 1973*). Une bonne modélisation physique repose sur la qualité du matériel de reproduction et de mesure des phénomènes naturels, un bon choix des échelles de réduction et la pratique d'un bon réglage (*Viguiet, 2002*).

II. SIMILITUDE

En ingénierie La résolution des problèmes de grandes constructions hydraulique allant du barrage, fleuve, rivière jusqu'au maritime est très couteux. L'apparition des modèles hydrauliques qui peuvent être soit vrais ou déformés ont fournis des solutions pratiques. À l'heure actuelle, on ne construit pas une structure maritime qu'après avoir fait une étude de modèle approfondie, qui font appels à la simulation physique qui sert à faciliter, organiser et analyser la réalité. La recherche de l'échelle du model est basée sur « **la théorie de la similitude** » entre le model et le prototype, qui se base sur :

- Quelle est la méthodologie de la préparation théorique du model ?
- Quels sont les paramètres mesurés durant cette expérience ?
- Quelle est la procédure et l'ensemble d'hypothèses élaborées pour la recherche du résultat ?
- Sur quel phénomène appliquons nous les résultats obtenues ? Quelle est l'étendue de sa validité ?
- Quels sont les besoins du model pour représenter la réalité en échelle réduite ?

Aujourd'hui, la théorie de la similitude est élaborée en deux directions :

- a. La première, représente les critères de la similitude avec des équations mathématiques déduites à partir des lois physiques, cette méthode est utilisé dans différentes discipline physique, chimie, et elle a pris de l'ampleur dans le domaine de la recherche hydraulique.
- b. La seconde, c'est l'analyse dimensionnelle (unités physiques) basée sur un principe fondamental très simple l'usage de nombres sans dimensions) qui aident à déterminer les conditions des phénomènes simulés ainsi qu'une relation entre des grandeurs

physiques doivent être dimensionnellement homogène des paramètres d'un problème
Donc c'est un ensemble de règles qui vise :

- La simplification des équations de base en supprimant les termes négligeables.
- Diminuer le nombre de paramètres nécessaires à l'étude expérimentale des phénomènes
- Etablir les critères à respecter pour qu'une expérience à échelle réduite soit représentative d'un phénomène en grandeur réelle.
- fournir les relations de changement d'échelle entre expériences.

L'étude de la similitude en mécanique des fluides est basée sur des méthodes établies par des expérimentateurs qui ont pu déduire que la réduction d'un nombre de variables significatives du processus physique en jeu aux seules variables indépendantes, ces méthodes servent à relier les diverses grandeurs ou forces en jeu dans le modèle dans la nature (*Caude, 2003*). On parle ainsi :

- a. Similitude géométrique : toutes les dimensions linéaires du modèle correspondent à celles du prototype défini par un facteur d'échelle constante.

$$\text{Dimension} : L_T = (L_p/L_m) = N_L = \text{cste}$$

- b. Similitude cinématique : c'est lorsque les composantes des vecteurs ou vitesses ainsi que l'accélération du modèle et de la nature sont identiques pour chaque particule du fluide et dans le temps

$$\text{Vitesse} : V_T = (V_p/V_m) = \frac{\left(\frac{L_p}{T_p}\right)}{\frac{L_m}{T_m}} = N_L * N_T^{-1}$$

$$\text{Accélération} : a_T = (a_p/a_m) = \frac{\left(\frac{V_p^2}{T_p}\right)}{\left(\frac{V_m^2}{T_m}\right)} = N_L * N_T^{-2}$$

$$\text{Débit} : Q_T = (Q_p/Q_m) = \frac{\frac{L_p^3}{T_p}}{\frac{L_m^3}{T_m}} = N_L^3 * N_T$$

- c. Similitude dynamique : est le rapport des forces vectorielles aux points semblables qui s'appuie sur les équations de mouvement, généralement Navier Stokes en mécanique des fluides sur le modèle et le prototype est identique ce qui est impossible sauf à l'échelle 1.

On déduit les conditions nécessaires pour cette similitude à partir des deuxièmes lois de Newton, où les forces agissantes sont : force de viscosité (Fv), force de pression (Fp), force de pesanteur (Fg), force d'inertie (Fi), force de tension superficielle et élasticité.

$$\text{Force : } F_T = \sum F \mapsto F_i = F_P + F_g + F_v \rightarrow \frac{F_p}{F_m} = \frac{M_p * a_p}{M_m * a_m} = \frac{\rho_p * V_p^2 * L_p^4}{\rho_m * V_m^2 * L_m^4}$$

$$\frac{F_p}{F_m} = N_\rho * N_T^{-2} * N_L^4$$

C'est à partir de là que l'ingénieur met en lumière ses compétences autant que modélisateur ou il pourrait montrer que les rapports adimensionnels des lois citées ci-dessus permettent de retrouver aisément les grands critères de similitudes hydrauliques :

– Nombre de Froude

Appelé autrement le «coefficient cinétique», cette loi a été établie à partir d'une recherche expérimentale menée par Froude, dans laquelle on conserve dans le même rapport les forces de pesanteur (gravité) et d'inertie, On obtient ce résultat en réalisant un même nombre de Froude V/gD sur le modèle et dans la nature, il est appliqué sur les mouvements d'un fluide réel à surface libre (*P. Novak, 1980*), ou l'écoulement est en contact direct avec l'atmosphère (*ANCEY.C,2015*) avec Ceci nécessite souvent d'introduire une distorsion dans le modèle.

$$\text{Nombre de Froude } (F_r) = \frac{F_i}{F_g} = \frac{m * a}{m * g} = \frac{\rho * V * \frac{V}{T}}{\rho * V * g} = \frac{\rho * L^3 * \frac{L}{T^2}}{\rho * L^3 * g} = \frac{V^2}{L * g}$$

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{L * g}}$$

V : Vitesse de l'eau, **L** : Longueur, **g** : Gravité

– Nombre de Reynolds

C'estLa reproduction en similitude dynamique, il s'applique en toute rigueur à l'écoulement en charges pour lesquels les forces de pesanteurs sont nuls seules les forces d'inertie et des forces de viscosité. Il ne peut pas être conservé dans le prototype et sur le modèle sous peine d'avoir des échelles géométriques égales à l'unité .On s'affranchit de cette condition en s'imposant d'être dans le même régime d'écoulement dans le modèle et le prototype , c'est-à-dire que l'on doit généralement satisfaire la condition $Re > 500$ sur le modèle .

$$\text{Nombre de Reynolds } (R_e) = \frac{F_i}{F_\mu} = \frac{m * a}{\mu * V * L} = \frac{\rho * L^4 * T^{-2}}{\mu * V * L} = \frac{\rho * V^2 * L^2}{\mu * V * L}$$

$$R_e = \frac{V * d}{\mu} \quad V : \text{Vitesse de l'eau, } d : \text{Profondeur}$$

1.1.1. Les échelles

Une échelle est le rapport entre une dimension réelle, du prototype et celle du modèle utilisé. Lors d'une modélisation physique les échelles sont nombreuses et leur choix dépend d'un certain nombre de paramètres.

II.1.1.1. Analyse dimensionnelle et système d'unités

Le système international d'unité se base sur les trois grandeurs fondamentales : longueur L (m), masse M (kg) et temps T (s), on pourra donc exprimer toutes autres dimensions physiques de la majorité des paramètres hydrauliques en fonction de ces trois grandeurs principales.

Tableau n° 8 : Système unitaire des grandeurs dimensionnelles

Paramètre	Symbole (SI)	dimension	Froude (Fr)	Reynolds (Re)
Longueur	L	L	M_l	M_l
Surface	A	L^2	M_l^2	M_l^2
Volume	V	L^3	M_l^3	M_l^3
Temps	T	T	$M_l^{1/2}$	$M_l^2 M_v^{-1}$
Vitesse	V	LT^{-1}	$M_l^{1/2}$	$M_l^{-1} M_v$
Accélération	A	LT^{-2}	1	$M_l^{-3} M_v^2$
Masse	M	M	$M_l^3 M_p$	$M_l^3 M_p$
Force	F	MLT^{-2}	$M_l^3 M_\gamma$	$M_\mu^2 M_p^{-1}$

Avec $g_p = g_m = g$ et $M_p = M_\gamma$ et $Fr = V^2/gd$, $Re = Vd/\nu$

Pour un même liquide en modèle et en prototype $M_p = M_\gamma = M_\mu = M_v = 1$

II.1.1.2. Echelle non-distordue

C'est l'échelle la plus fréquemment utilisée dont les rapports horizontaux sont égaux aux rapports verticaux. Elle est utilisée dans la planimétrie

II.1.1.3. Echelles distordues

La distorsion est une forme de déformation importante des modèles réduits, elle réside dans le fait que les échelles géométriques diffèrent c'est-à-dire que l'échelle horizontale sera différente de la verticale, en effet on peut distordre non seulement les échelles géométriques mais aussi les caractéristiques hydraulique tels que les nombres de Froude et de Reynolds relatifs aux grains.

Soit une lettre exprimant l'échelle de similitude en général. Par exemple l'échelle des hauteurs pourrait être exprimée comme il suit :

$$\lambda_h = h_{nature}/h_{modèle} = h_N / h_M$$

Soit λ_l l'échelle des longueurs transversales et λ_v celle des longueurs longitudinales. Un modèle non distordu doit avoir comme l'échelle des longueurs :

$$\lambda_l = \lambda_v = \lambda_h$$

Une distorsion géométrique suppose une inégalité entre les diverses échelles de similitudes. En général on doit avoir :

$$\lambda_l \neq \lambda_v \neq \lambda_h$$

Comme la pente hydraulique est mesurée par $j = \Delta h / \Delta i$ il s'en suit immédiatement

$$\lambda_i = \lambda_h / \lambda_v$$

Ce rapport est appelé en même temps rapport de distorsion ou distorsion tout court.

III. APPLICATION DE LA MODELISATION PHYSIQUE SUR LE SITE DES SABLETTES

III.1. Choix de l'échelle

Le choix de l'échelle est une étape décisive qui oriente la suite de la démarche de modélisation, il doit être entrepris avec un maximum de rationalisme afin de nous rapprocher le plus possible de la réalité. Pour cela il faut que toutes les conditions hydrauliques importantes soient prises en considération.

Le choix de l'échelle est souvent contrôlé par les dimensions de la zone à étudier, du bassin, des ouvrages, ainsi que des conditions hydrographiques du modèle (la hauteur d'eau, hauteurs de houles).

Tableau n° 9 : Représentation des dimensions du site naturelles et en modèle (bassin à houle).

	Caractéristiques dimensionnelles du site	Caractéristiques dimensionnelles du bassin
Largeur	3 km	19 m
Longueur	5 km	26 m
Profondeur	25 m	1 m

A partir de ce tableau on peut facilement remarquer l'écart important entre les dimensions horizontales et verticales. L'application d'une échelle non distordue induirait non seulement à un sous-dimensionnement des grandeurs verticales, mais aussi à une difficulté à représenter la fraction sédimentaire mobile, c'est pour cela que le choix a été porté sur une échelle distordue, où l'échelle horizontale sera différente de l'échelle verticale.

III.1.1. Définition des échelles du modèle

Dans notre cas, les échelles géométriques qui nous permettent de représenter notre zone d'étude le plus fidèlement possible, compte tenu des dimensions du bassin à houle sont :

Dimensions du bassin : 26mx19mx1m

Echelle horizontal : $\lambda_h = 1/220$

Echelle verticale : $\lambda_v = 1/82$

Hauteur d'eau : 25 m

Echelle des temps sédimentologique : $\lambda_s = 1/1630$

Distorsion : $\Delta = 2.68$

Grossissement : $\lambda_d = 2.1$

Si l'on note «**1/m**» échelle horizontale et «**1/n**» l'échelle verticale, on aura le **Tableau n° 16** suivant :

Tableau n° 10 : L'ensemble des échelles obtenues pour l'étude sur modèle réduit physique

	Grandeurs	Echelles	Valeurs
Grandeurs géométriques	Longueurs	1/m	1/220
	Hauteurs	1/n	1/82
	Surface horizontale	1/m ²	1/48 400
	Surface verticale	1/mn	1/18 040
	Volume	1/m ² n	1/39 688 00
Grandeurs dynamiques	Vitesse horizontale	1/n ^{1/2}	1/9.05
	Vitesse verticale	m/n ^{3/2}	1/3.37
	Temps hydraulique	n ^{1/2} /m	1/24.29
Grandeurs relatives à la houle	Longueur d'onde	1/n	1/82
	Célérité	1/n ^{1/2}	1/9.05
	Période	1/n ^{1/2}	1/9.05
	Amplitude	1/n	1/82

III.1.2. Choix du matériau mobile

Les caractéristiques du matériau utilisé pour modéliser le sédiment influencent considérablement le choix de l'échelle. Plusieurs relations sont mises en évidence afin de trouver l'échelle la plus adéquate qui représente fidèlement la réalité et qui en même temps garantie une distorsion raisonnable. Cette étape comprend aussi la détermination du paramètre **G** qui représente le grossissement du grain en modèle.

Si l'on veut conserver le paramètre **G** du grain ($G = \varepsilon g D_3 / v^2$) et obtenir ainsi une similitude de "régime de fond" autour du grain (*critère de J. Valembos - Coastal Engineering - 1960*), il faudra que l'échelle du matériau artificiel soit :

$$D_{\text{modèle}} / D_{\text{nature}} = \varepsilon_{\text{nature}} / \varepsilon_{\text{modèle}} = n^{3/8}$$

Avec $\varepsilon = (\rho_s - \rho) / \rho$: densité apparente du matériau

ν : viscosité cinématique de l'eau

On obtient $\lambda_d = D_{\text{modèle}} / D_{\text{nature}} = 1,73$

Un autre rapport permettant de déterminer le grossissement tout en sauvegardant l'égalité $G_{\text{nature}} = G_{\text{modèle}}$ est comme suit :

$$D_{\text{modèle}} / D_{\text{nature}} = (\varepsilon_{\text{nature}} / \varepsilon_{\text{modèle}})^{1/3} (\nu_{\text{modèle}} / \nu_{\text{nature}})^{2/3}$$

On obtient $\lambda_d = D_{\text{modèle}} / D_{\text{nature}} = 1,73$

Chapitre5 : Modélisation physique

La conservation du rapport entre le poids du matériau et les forces exercées par l'eau sur le fond (*critère de J. Laurent et C. Devimeux*) nécessite que :

$$D_{\text{modèle}} / D_{\text{nature}} = 0,8 (\varepsilon_{\text{nature}} / \varepsilon_{\text{modèle}}) (v_{\text{modèle}} / v_{\text{nature}})^{1/2} m^{1/2} n^{-3/4}$$

(m : échelle en plan, n : échelle en hauteur)

On obtient $\lambda_d = D_{\text{modèle}} / D_{\text{nature}} = 2,27$

La valeur retenue est la moyenne entre les trois résultats obtenus par les différentes équations, on retiendra donc un grossissement $G=2,1$

De ce fait, le matériau mobile choisi est le PVC dont la densité est de 1,4 avec un facteur de grossissement des grains de 2,1.

III.1.3. Echelle des temps sedimentologique

L'échelle des temps sedimentologique est égale au rapport des durées respectives pour obtenir en modèle réduit les mêmes évolutions des fonds qu'en nature sous les mêmes actions hydrauliques reproduites en similitude. Dans le cas des transports de sable et sous l'action de la houle, cette échelle est différente de l'échelle des temps hydrauliques.

Cette échelle peut être déterminée théoriquement en se basant sur les équations du transit littoral sous l'effet de la houle, et en tenant compte du coefficient empirique "K modèle" du matériau artificiel et "K Nature" des sédiments naturels, ainsi que des échelles "m" des longueurs et "n" des hauteurs du modèle distordu. En fait, sur un modèle distordu, l'échelle théorique des temps sedimentologique sera égale au rapport entre l'échelle des volumes et l'échelle des débits, soit :

$$t_{s \text{ nature}} / t_{s \text{ modèle}} = n^{1/2} (m/n)^2 (K_{\text{modèle}} / K_{\text{Nature}})$$

Le rapport K_m/K_n est généralement compris entre 25 et 30 lorsque le matériau modèle a une masse volumique proche de 1,4.

$$t_{s \text{ modèle}}/t_{s \text{ nature}} = 1/1630$$

Avec une simple application numérique, on déduit qu'une année en nature sera théoriquement représentée sur le modèle en **5,3 heures** soit **5h20 min** qui correspond à environs **320 minutes** en modèle.

III.2. Construction du modèle

Une fois toutes les échelles nécessaires déterminées, le bassin sera préparé pour la construction du modèle. Cette étape doit être entreprise en respectant la bathymétrie du site.

I.1.1. Bathymétrie

La bathymétrie représentée au niveau du modèle est une combinaison de :

- **Entre ±0.00 NGA et -20.00 m** : Bathymètre établie par le LEM en Juillet 2013 ;
- **Entre -20.00 et -25.00 m** : Données cartographique de la carte SHOM relative au « Port d'Alger, Echelle : 1/10 000 du Service Hydrographique des Forces Navales (SHFN)- Publication : 2005 – Edition n°1 -2005».

Afin de représenter le transit sédimentaire au niveau du modèle, les fonds sont construits partiellement d'un fond mobile et d'une partie fixe :

- **Partie fixe, Entre -15.00 et -25.00 m de profondeur** : Cette partie a été construite par du sable, fini par une couche de ciment lissé.
- **Partie mobile, Entre ± 0.00 et -15.00 m de profondeur** : Cette partie définie par « la couche mobile » est représentée par un matériau mobile (PVC) sur l'équivalent de 3.00 m de profondeur le long de la zone mobile. Ce dernier est posé sur une base de fonds fixe.

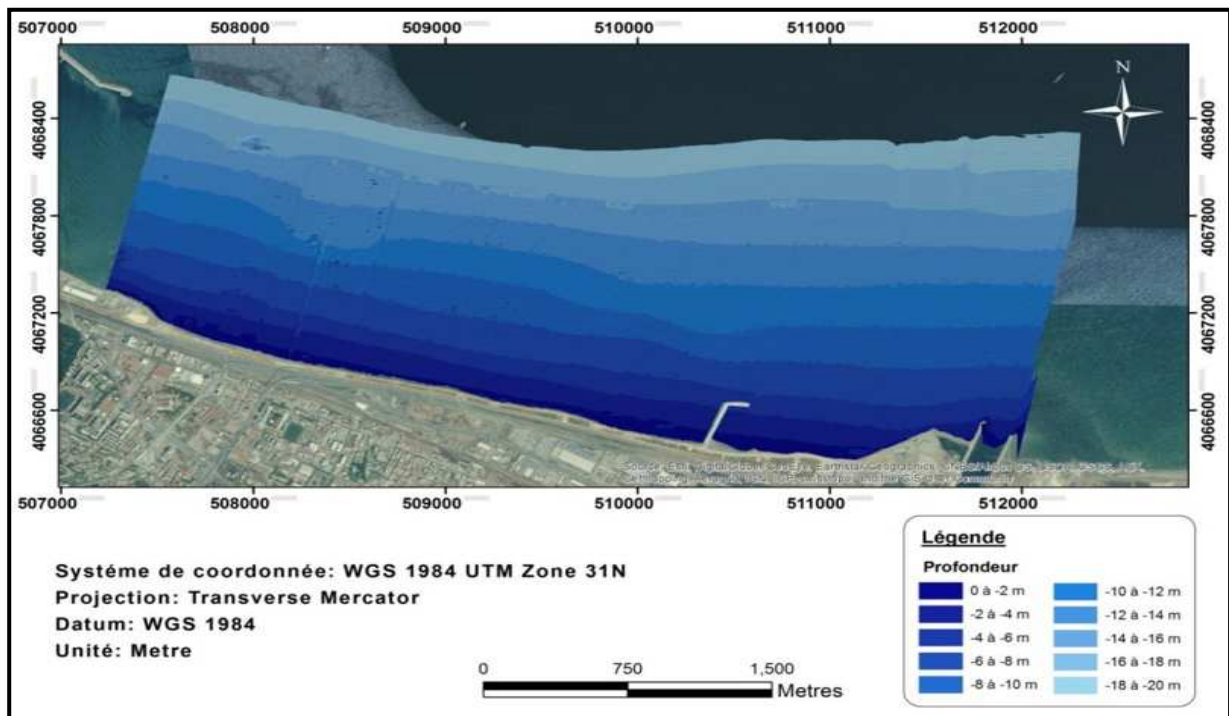


Figure n° 40: Carte bathymétrique de la région des « Sablettes », Juillet 2013

Interprétation

Notre zone d'étude est caractérisée par une bathymétrie régulière comme est illustré dans la (Figure n°63), dont les isobathes sont parallèles à la côte, les fonds descendent en pente douce avec de petites variations sur le côté Ouest. C'est une bathymétrie classique relative aux sites se situant au niveau des baies et particulièrement près des embouchures d'Oueds.

III.2.4. Couche mobile

On appelle couche mobile, le couvert sédimentaire du fond soumis à un mouvement sous l'action de la houle. Son épaisseur varie selon la zone géographique, la topographie des fonds et l'intensité du forçage hydrodynamique. Cette couche s'étend de la côte jusqu'à une profondeur dite limite, à partir de laquelle les sédiments sont supposés immobiles. Lors de notre étude, il est nécessaire de déterminer l'épaisseur de cette couche ainsi que sa limite afin de pouvoir la représenter convenablement en modèle.

Chapitre5 : Modélisation physique

Une étude géophysique comprenant une investigation des fonds marins, a été entreprise par le LEM en Juillet 2014 afin d'estimer l'épaisseur du recouvrement sédimentaire de la région d'étude, et de définir par la suite la couche mobile de sédiments.

La technique utilisée à cette fin est celle de la sismique réflexion, c'est une mesure indirecte qui consiste à enregistrer en surface à l'aide d'hydrophones, des échos réfléchis, issus de la propagation dans le sous-sol d'une onde sismique émise par un transducteur.

Le traitement des échos obtenus permettra de concevoir une carte isopaques du recouvrement superficiel en sédiment sablo-vaseux (Référence : Etude géophysique du site Sablettes - Mission n°3, Juillet 2014).

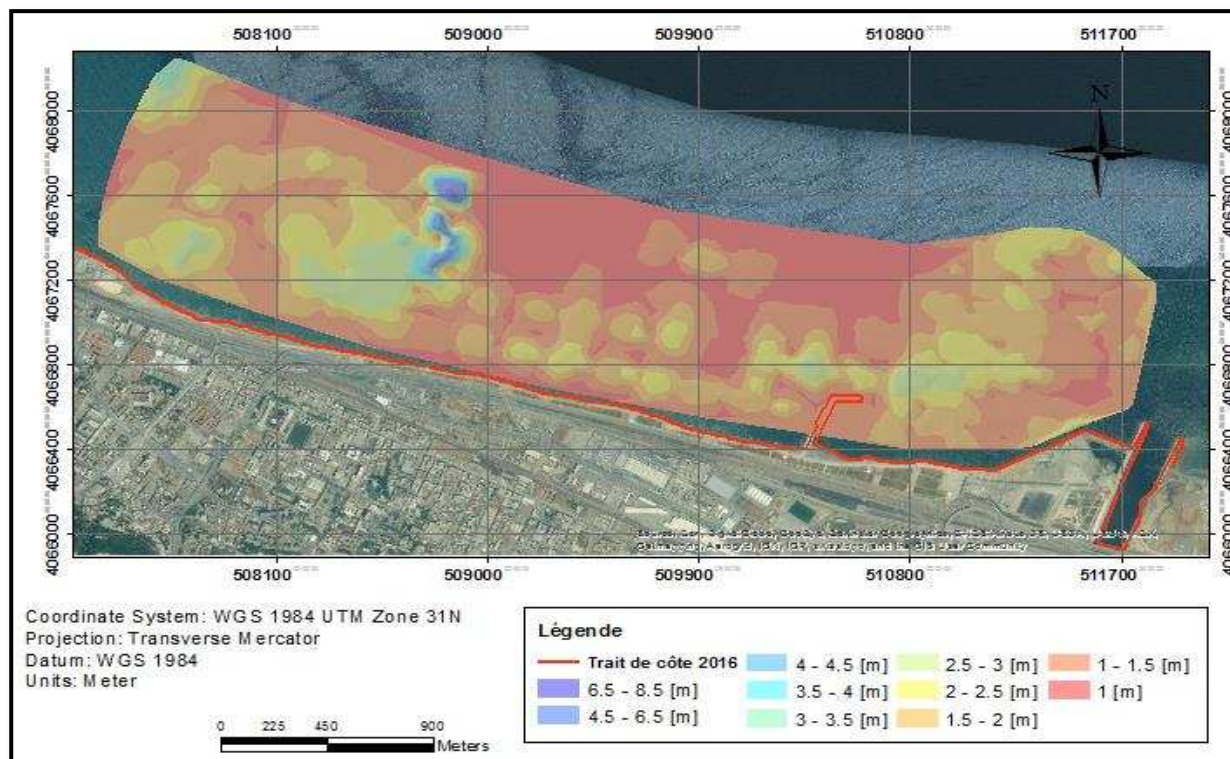


Figure n° 41: Carte des isopaques du recouvrement sédimentaire

Interprétation

La carte des isopaques (**Figure n°51**) du site « Sablettes » montre des variations d'épaisseur du sable vaseux comprises entre 1 et 8 m, ceci rend compte d'une couverture relativement importante dont les pics sont localisés à l'Ouest de la zone, le reste de l'étendue se caractérise par une couche moyenne allant de 1 à 3 m d'épaisseur. Ces valeurs peuvent être expliquées par plusieurs facteurs, on citera :

- La proximité de l'Oued aux apports considérables
- La présence du port d'Alger qui abrite la tranche Ouest des Sablettes.
- Le forçage hydrodynamique est faible.

Ceci dit, l'épaisseur de la couche mobile est fixée à 3.00 m de hauteur.

III.2.6. Granulométrie du site-Choix du mélange sédimentaire

Le but de cette partie est de choisir un mélange sédimentaire dont la courbe granulométrique se rapproche au maximum celle du sédiment naturel.

À l'issue de l'analyse granulométrique nous avons obtenues les résultats de la répartition spatiale des matériaux au niveau de la zone des « Sablettes » allant de la côte vers le large. Nous allons opter pour le choix du mélange sédimentaire après avoir déterminé le mélange existant en réalité. Le matériau à utiliser en modèle a été déterminé précédemment lors du choix du matériau mobile, il s'agit du PVC (**Annexe**). Le LEM s'est procuré un broyeur de type BT200 afin de broyer le plastique en question et fournir un matériau adéquat. Ce dernier passera à la tamiseuse pour être enfin réparti en classe selon la taille des grains obtenus.

Il est à signaler que les diamètres acquis ne correspondent pas à ceux du sédiment prototype mais sont plus grossier : Application du facteur de grossissement **G**.

Afin de représenter fidèlement le fond mobile, un examen des courbes granulométriques a été effectué. Ce dernier nous a permis d'extraire les différentes informations pertinentes qui nous ont aidés à établir le bon mélange en modèle. Ces informations sont :

- L'allure de la courbe en réalité,
- Les diamètres dominants et les pourcentages des classes granulométriques.

De cela nous avons établis 3 variantes de mélanges suivant le diamètre moyen D_{50} , où nous avons subdivisé notre zone en deux compartiments : grossier et fin. Ces variantes sont décrites comme suit :

III.2.6.1. Première variante

La première variante repose sur le diamètre moyen, du $D_{50} = 140 \mu\text{m}$

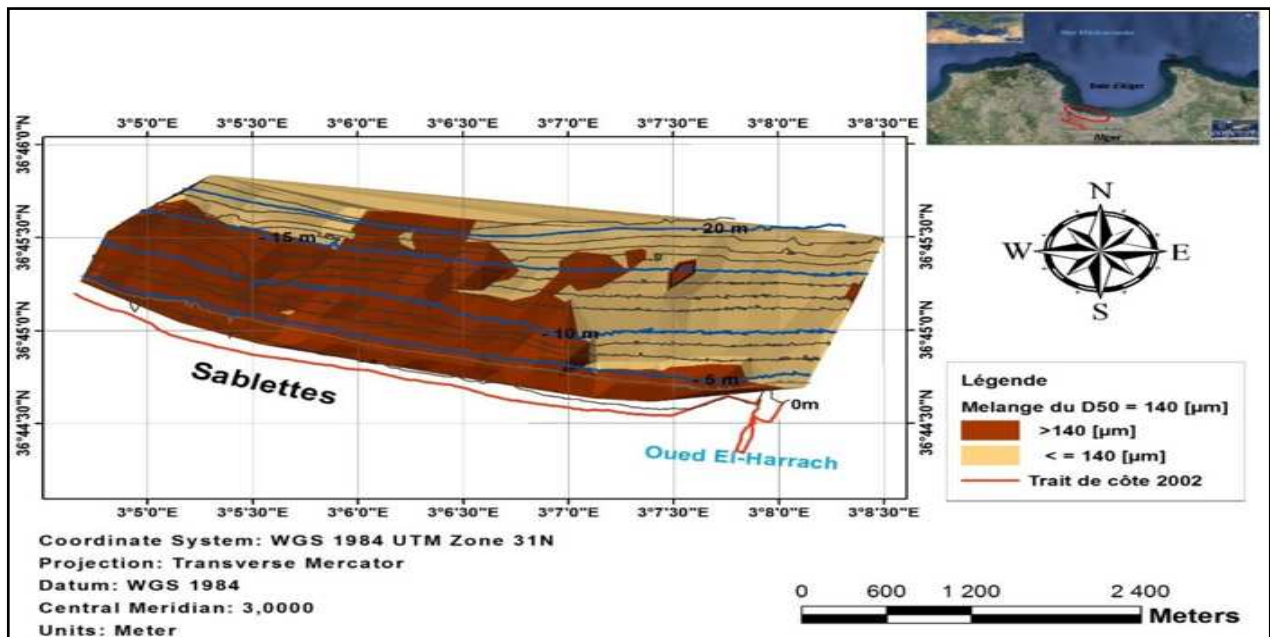


Figure n° 43 : Carte représentative du choix du mélange 1 dont le diamètre moyen $D_{50} = 140 \mu\text{m}$ (Variante 1)

III.2.6.2. *Seconde variante*

La deuxième variante repose sur le diamètre moyen, du $D_{50} = 150 \text{ } [\mu\text{m}]$ (Figure n°68).

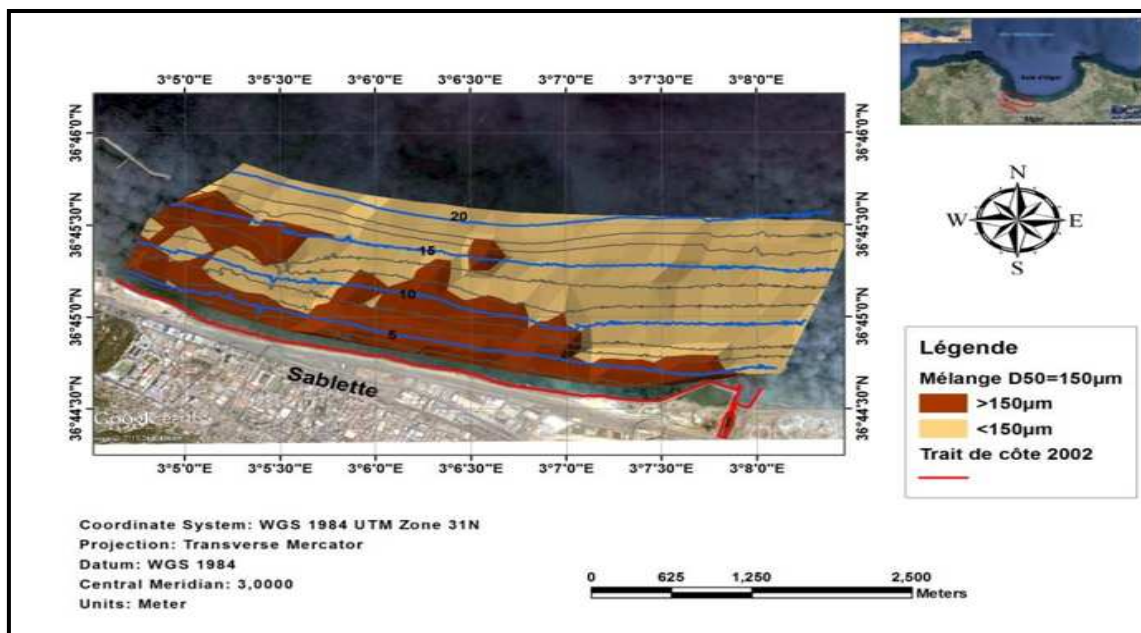


Figure n° 44 : Carte représentative du choix du mélange 2 dont le diamètre moyen $D_{50} = 150 \text{ } \mu\text{m}$ (Variante 2)

III.2.6.3. *Troisième variante*

La troisième variante repose sur le diamètre moyen, du $D_{50} = 170 \text{ } [\mu\text{m}]$ (Figure n° 69).

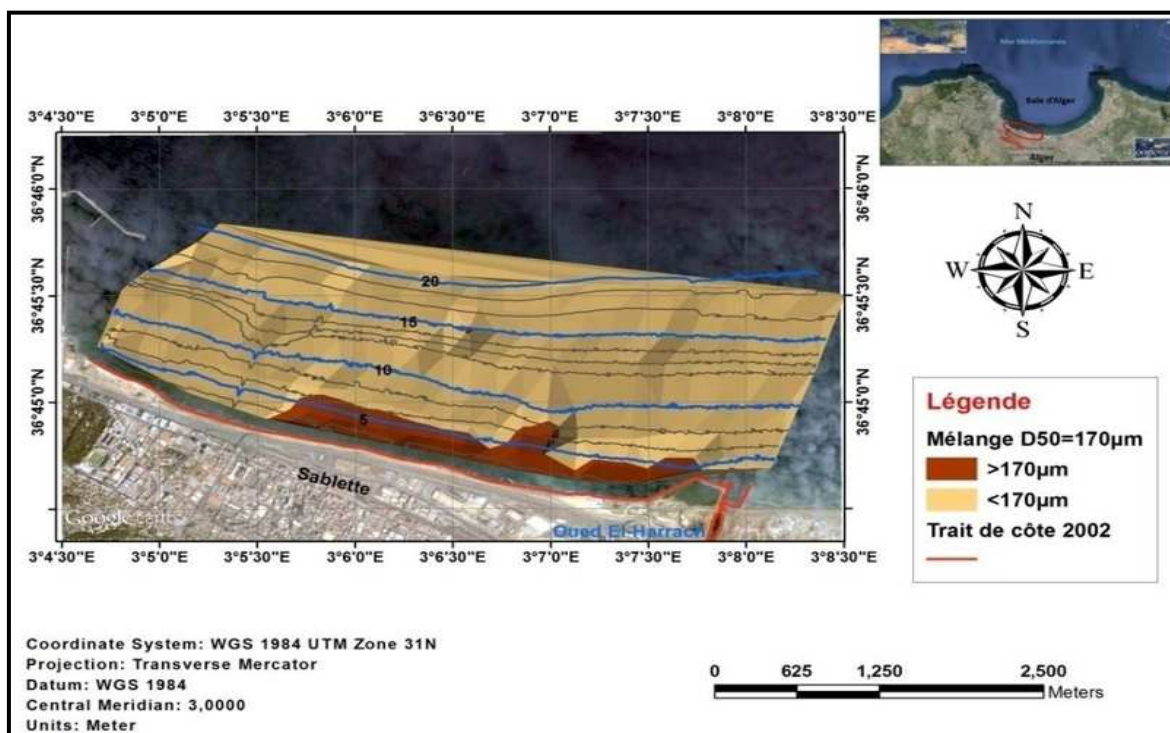


Figure n° 45 : Carte représentative du choix du mélange dont le diamètre moyen $D_{50} = 170 \text{ } \mu\text{m}$ (Variante 3)

Interprétation

La répartition spatiale des trois diamètres [140-150-170] μm nous donne une idée sur la possibilité de les reproduire en bassin.

Suite à une analyse effectuée pour chaque variante (1, 2,3) il s'est avéré que prendre le diamètre **170 μm** comme médiane serait la meilleure option dans le cas de notre étude. Il est à noter qu'il serait défavorable de trop diminuer la taille des grains car le PVC pourrait perdre les caractéristiques requises permettant de rester fidèle au sable, de plus la distribution que nous donne le **170 μm** est plus homogène que le reste des diamètres.

Le choix s'est donc définitivement porté sur une répartition spatiale où le **D₅₀** est soit inférieur ou bien supérieur à **170 μm** . Les fractions supérieures et inférieures seront déterminées suivant les quartiles et déciles obtenus lors du traitement granulométrique. Plusieurs essais avec différents pourcentage seront effectués pour pouvoir estimer le mélange qui se rapproche le mieux de la réalité.

Tableau n° 11 : Tailles des grains naturelles et en modèle après grossissement

	D nature	D modèle	D normalisé
D₂₅ moy	122	250	250
D₅₀ moy	147	315	315
D₇₅ moy	173	360	400

Le tableau (**Tableau n°17**) précédent représente des valeurs de diamètres moyens de l'ensemble des 200 échantillons.

Suite à l'analyse établi précédemment, nous avons subdivisé notre zone en deux parties distinctes, une zone grossière dont **D₅₀>170 μm** et une zone moyenne dont **D₅₀<170 μm** .

A. Diamètre $D_{50} < 170 \mu\text{m}$

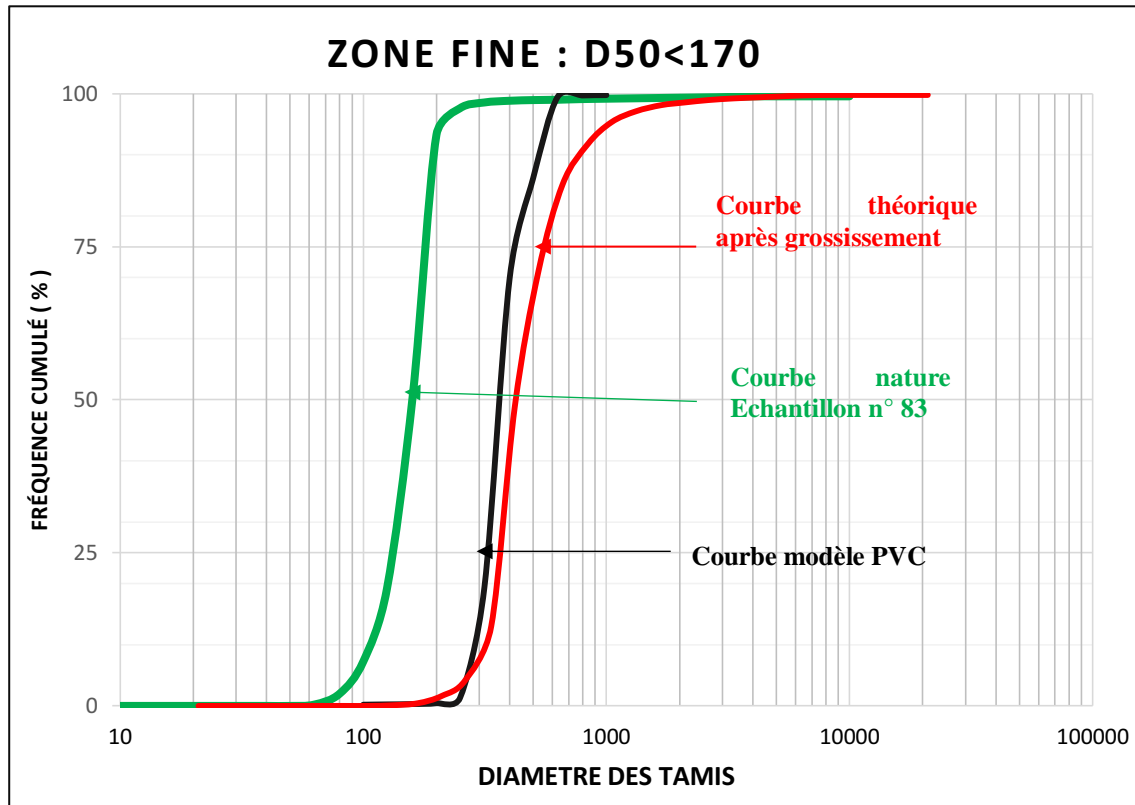


Tableau n° 12 : les pourcentages et diamètres du pvc en modèle pour la zone fine

Diamètre	PVC	Pourcentage
D_{25}	250	25%
D_{50}	315	60%
D_{75}	500	15%

Figure n° 46 : Graphe des courbes granulométriques en modèles, théorie et nature pour le diamètre $D_{50} < 170 \mu\text{m}$.

B. Diamètre $D_{50} > 170 \mu\text{m}$

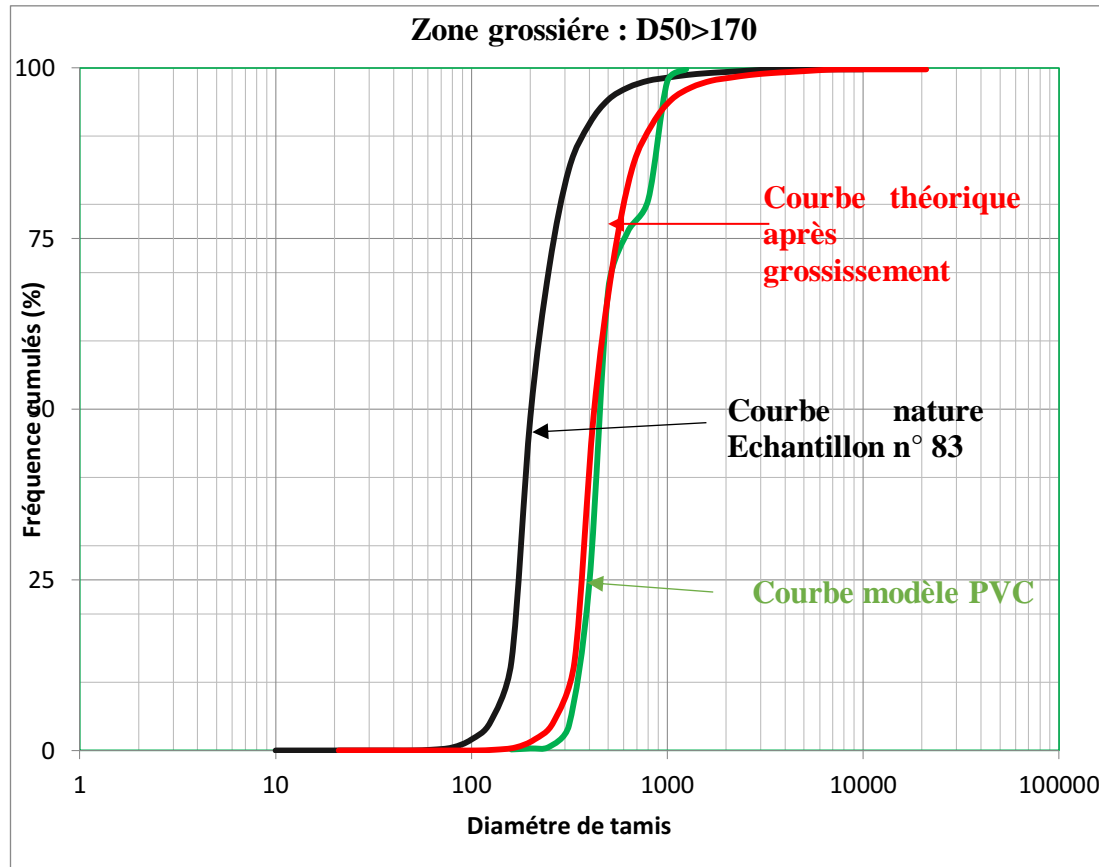


Figure n° 47 : Graphe des courbes granulométriques en modèles, théorie et nature pour le diamètre $D_{50} > 170 \mu\text{m}$.

Tableau n° 13 : les pourcentages et diamètres du PVC en modèle pour la zone grossière

Diamètre	PVC	Pourcentage
D_{25}	315	25%
D_{50}	400	50%
D_{75}	800	25%

Les courbes nature illustrées sont relatives à un échantillon représentatif de l'ensemble des échantillons. La courbe théorique réfère à la courbe nature après grossissement (c'est la courbe parfaite en modèle). La courbe modèle est celle du mélange PVC choisi après multiples essais et qui reflète relativement bien la réalité du sédiment.

Tableau n° 14 : Récapitulatif de l'ensemble des diamètres naturels et en modèle PVC.

Diamètre moyen [μm]		D ₂₅	D ₅₀	D ₉₀
Nature en [μm]	D ₅₀ <170	119	143	214
	D ₅₀ >170	158	188	352
Modèle en [μm]	D ₅₀ <170	250	315	500
	D ₅₀ >170	315	400	800

III.2.7. Aménagement du bassin

Après la préparation du modèle, avec élaboration de l'échelle et choix du matériau, vient l'étape de la construction qui se fait selon une démarche bien définie.

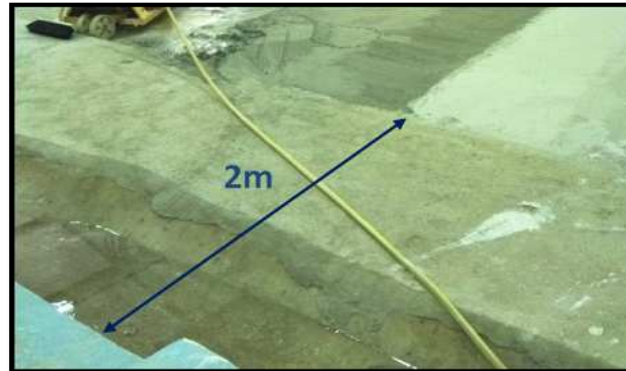
- Le choix du bassin où se dérouleront les essais est nécessaire, c'est souvent les dimensions de ce dernier qui pourront trancher sur la faisabilité de la modélisation à son niveau. Si la zone est vaste, il faudra choisir un bassin qui pourra la prendre en charge, dans notre étude nous avons opté pour le Bassin n°2.
- Le bassin doit être vidé et nettoyé avant toute mise en place.
- Carroyage du bassin dans le but de la mise en place des éléments du modèle conformément au plan du modèle fourni.
- Suivant le plan fourni, les courbes bathymétriques sont tracées sur le fond du bassin. Elles sont matérialisées puis rempli par du sable fini avec une couche de ciment lissé.
- Un creux d'une hauteur de 4cm est laissé lors de la construction afin d'y déposer le matériau mobile, sa hauteur correspond à celle de la couche mobile de sédiment estimée à 3m d'épaisseur.

Chapitre 5 : Modélisation physique



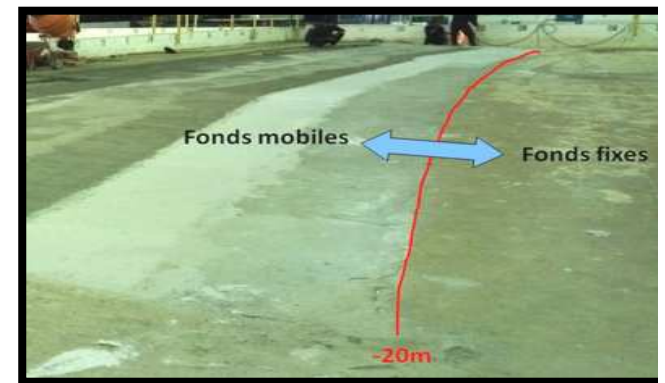
Un creux d'une hauteur de 4cm est laissé lors de la construction afin d'y déposer le matériau mobile, sa hauteur correspond à celle de la couche mobile de sédiment estimée à 3m d'épaisseur

Figure n° 53: Bassin avant construction



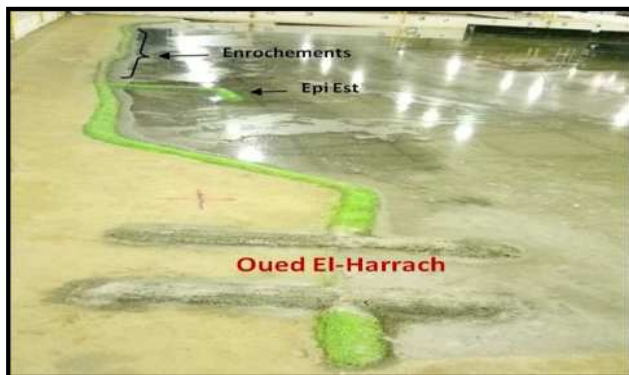
Un espace de 2m est laissé de chaque côté entre la limite du bassin et le fond mobile, afin de contenir le matériau.

Figure n° 52 : Espace laissé aux extrémités du bassin



Le matériau est posé conformément à la répartition effectuée précédemment.

Figure n° 51 : Limite séparant les fonds mobiles des fixes



Mise en place des ouvrages en respectant leurs dimensions géométriques et orientation, car nous nous intéressons à leur influence sur le mouvement des fonds et non pas leur performance hydraulique.

Figure n° 50 : Mise en place de l'épi n°1 et Oued El-Harrach



Mise en place d'un talus amortissant de part et d'autre du bassin afin de dissiper l'énergie et d'éviter la réflexion de la houle.

Figure n° 49 : Talus amortissant



Mise en place des batteurs aux positions et directions désirées puis remplissage du bassin à débit adéquat, jusqu'à atteindre le niveau 0.00 m.

Figure n° 48 : Batteurs de secteur nord-est mis en place

III.2.8. Détermination du cycle de houle

Une année d'action des houles sur un site donné est représenté en modèle par un « cycle de houle », où le temps d'action est réduit à l'échelle des temps sédimentaire. Le souci reste de répartir les différentes directions, intensités et périodes sur l'ensemble des 365 jours de l'année, il est donc nécessaire d'avoir certaines données statistiques tel que les fréquences d'apparition de chaque catégorie de houle durant l'année afin de pouvoir déterminer le cycle de houle.

Ce cycle pourra être ajusté après les essais de la calibration sedimentologique.

Nous avons, lors du calcul de l'échelle des temps sédimentaire, déterminé le temps que représente une année en modèle, soit **(365jours)** prototype —→ **(320minutes)** modèle, il ne reste plus qu'à répartir les pourcentages présents dans les tableaux précédant sur les **320 minutes** d'action de houle.

Des simplifications sont appliquées au cycle de houle, car les grandes houles, les périodes calmes et les houles non significatives (clapot) n'y sont pas illustrées, il est donc nécessaire de soustraire ce pourcentage avant de répartir les houles.

Les directions principales qui touchent le site sont : **Nord 315°, Nord 360°, Nord 45°**. Une étude de réfraction a été établi et a fait ressortir qu'après réfraction, les directions prises en compte sont : **340°N, 360°N, 30°N**. Le temps imparti pour chacune de ces directions sera subdivisé sur les trois périodes de la houle annuelle : **6s, 8s et 10s**. La hauteur significative prise en compte, est celle de la houle à une profondeur de 15m

Logique de calcul

- Les **320 minutes** seront réduites à **263 minutes** en éliminant les houles non significatives.

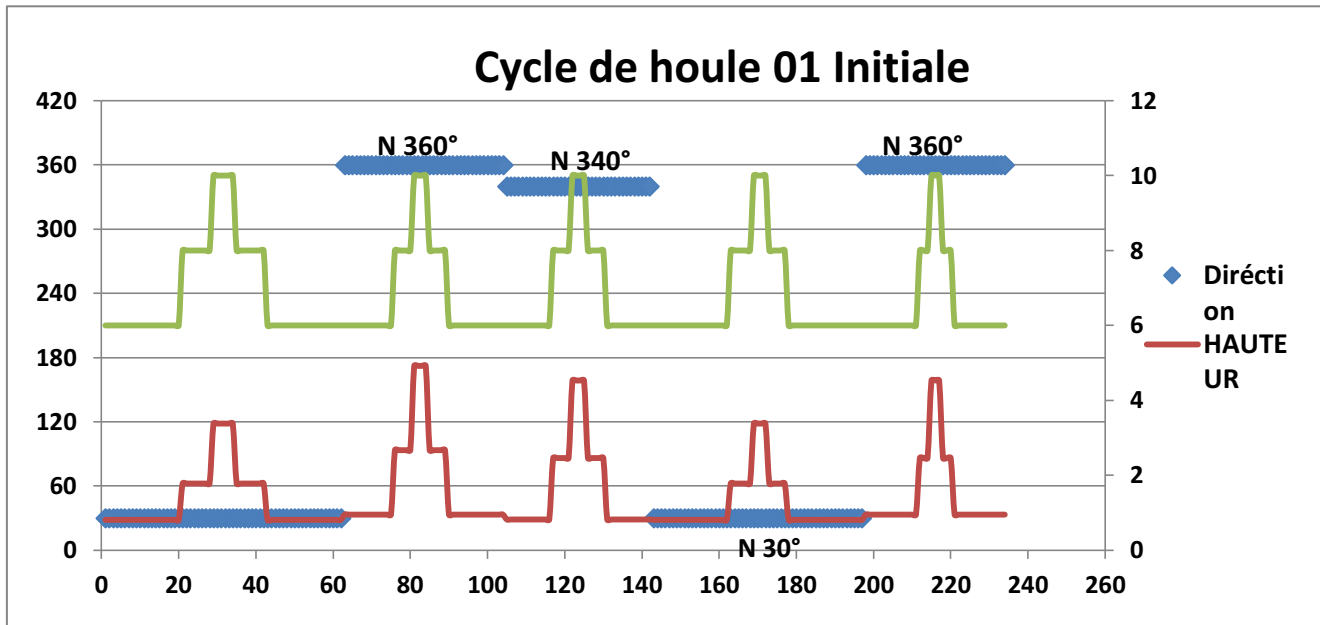
Pour les 263 minutes restantes, les houles dont l'amplitude <0.5m sont tout aussi éliminés à partir des statistiques d'apparition précédentes, soit :

Amplitude de la houle (m)	Direction de la houle				
	Ouest	Nord-ouest	Nord	Nord-est	Est
<0.25	2.90%	1.10%	2.00%	2.70%	4.00%
Pourcentage à éliminer	12.70%				

À partir des 263 minutes obtenues auparavant, il n'en restera que **230 minutes**.

I.1.1.1. Résultat

Les résultats obtenus sont illustrés dans le schéma suivant:



III.3. Calibration hydraulique

Avant la mise en place du matériau et le lancement des houles mobile, une calibration hydraulique est effectuée. Elle a pour but d'une part de faire la mise au point de l'appareillage, et d'autre part d'ajuster les conditions expérimentales de manière à ce que l'ensemble des paramètres hydrauliques soit reproduits conformément à la nature. On procède donc à la calibration des sondes d'enregistrement, vérification de leurs emplacements, vérification du niveau d'eau. On utilisera dans notre cas trois sondes couvrant l'ensemble de la zone, afin de pouvoir enregistrer l'information de la houle.

III.4. Calibration sédimentologique

La calibration sédimentologique est la procédure qui nous permet de s'assurer de la conformité de notre modèle avec le prototype. C'est une où l'on reproduit un phénomène ayant déjà eu lieu. Dans notre cas, la calibration sédimentologique sera basée sur l'évolution sédimentaire qui s'est déroulée après l'implantation de l'épi Est en 2013, avec formation d'une plage sur environ 200 ml.



Figure n° 55 : Image satellitaire de l'épi Est Juillet 2013



Figure n° 54 : Image satellitaire de l'épi Est en Juillet 2015

Chapitre5 : Modélisation physique

Lorsque le cycle de houle déterminé aboutira aux mêmes résultats qu'en réalité, on pourra à ce moment clôturer la calibration et entamer les essais. Cependant, il était préférable de ne pas s'arrêter à un seul cycle mais d'en ajouter un deuxième allant ainsi jusqu'à 2015. Ceci est dans le but d'atteindre l'état des fonds avant la mise en place des ouvrages, tel que la réalisation des épis Ouest et n°2 qui a été entamé en 2015.

I.1.1. Premier cycle

Le premier cycle de houle appliqué favorise les petites houles : durées des tests des petites houles relativement élevé par rapport aux grandes houles.

- La houle de secteur Nord-Est N30° est la plus prépondérante, vu son intensité, son taux de réfraction relativement faible, et sa fréquence d'apparition au cours d'une année. Elle La houle de secteur Nord N360° est aussi privilégiée, car c'est la direction la moins affectée par la réfraction, elle est aussi présente le long de l'année. vue son orientation par rapport à la côte, ses effets sont considérables. Elle sera aussi représentée deux fois.
- La houle de secteur Nord-Ouest N340° est la moins effective, vue sa réfraction et sa fréquence d'apparition au niveau du site.

Une fois le bassin rempli, il faut éviter ou minimiser tout mouvement pouvant générer des ondes qui pourraient affecter le fond mobile.

- Lancement des essais de calibration sédimentologique et observations

Quelques photos illustrant le lancement des houles



Figure n° 57 : Houle de secteur Nord-Ouest, de période 6s à gauche et de 8s à droite

Directions	Tp [s]	Durée d'action [minutes]	Hs au large [m]	Hs à -15 m [m]	Hs modèle à -15 m [m]	Observations
N30°	6	20	1.09	0.88	0.65	<ul style="list-style-type: none"> - Petites accumulations sédimentaires à l'intérieur de l'épi estimées à environ 60 ml - Petites accumulations à l'embouchure d'Oued El-Harrach qui seront érodées durant les grandes houles.
	8	6	2.56	1.94	1.73	
	10	4	5.05	3.71	3.92	
	8	6	2.56	1.94	1.99	
	6	20	1.09	0.88	0.82	
N360°	6	13	1	0.91	1.10	<ul style="list-style-type: none"> - Les houles de cette direction affectent l'ensemble de la zone. - Apport important à l'intérieur de l'épi par la 6s. - Formation des ripples marks - Erosion des plages formées à l'Ouest de l'épi par les houles de 8 et 10s
	8	3	2.67	2.33	2.94	
	10	3	4.92	4.27	5.84	
	8	3	2.67	2.33	2.64	
	6	14	1	0.91	1.09	
N340°	6	20	1.1	0.58	0.71	<ul style="list-style-type: none"> - Formation d'un creux entre Oued El-Harrach et l'épi Est - Formation d'une plage en aval de l'épi d'environ 70 ml en réalité, instable face aux houles de grandes amplitudes. - Absence d'impact sur la plage formée à l'intérieur de l'épi
	8	3	2.64	1.27	1.86	
	10	3	4.53	2.13	2.79	
	8	3	2.64	1.27	1.73	
	6	20	1.1	0.58	0.54	
N30°	6	20	1.09	0.88	1.25	<ul style="list-style-type: none"> - Formation d'une plage au niveau du terre-plein actuellement en travaux du côté de l'embouchure d'Oued El-Harrach. - Accumulation significative à l'intérieur de l'épi
	8	6	2.56	1.94	2.26	
	10	4	5.05	3.71	4.01	
	8	5	2.56	1.94	1.95	
	6	20	1.09	0.88	0.91	
N360°	6	14	1	0.91	0.61	<ul style="list-style-type: none"> - Formation d'une plage d'environ 150 ml à l'intérieur de l'épi. - Diffraction de la houle au musoir de l'épi. - Formation des riple marks - Erosion des plages formées en aval de l'épi par les houles de 8 et 10s.
	8	3	2.67	2.33	2.23	
	10	3	4.92	4.27	4.24	
	8	3	2.67	2.33	2.72	
	6	14	1	0.91	0.92	

Observation terrain du cycle de houle n° 1

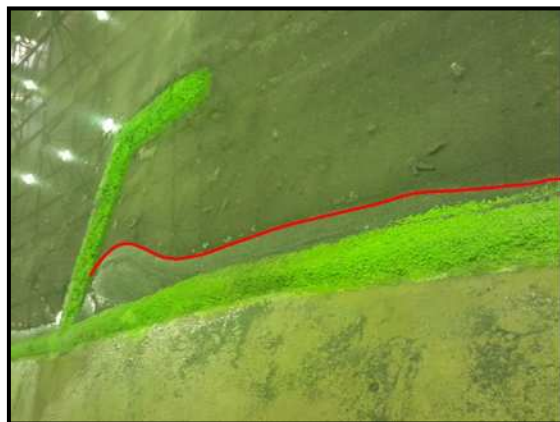


Figure n° 60 : Observation début d'accumulation à l'intérieur de l'épi



Figure n° 59 : Observation du début de formation de la plage à l'aval de l'épi



Figure n° 58 : Observation du début de déferlement à la côte



Figure n° 62 : Observation des ripples marks

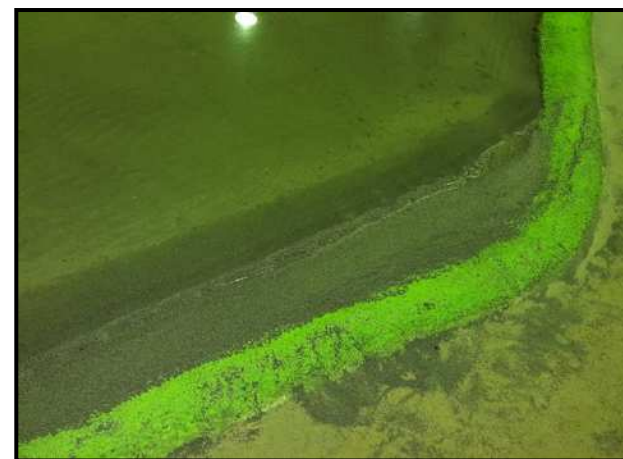


Figure n° 61 : Formation de la plage à l'emplacement du terre-plein Est actuel

Chapitre 3 : Calibration sédimentaire

III.4.9. Deuxième cycle

L'ajustement du premier cycle nous a mené à établir un deuxième cycle qui a pour but l'observation sur une longue durée allant jusqu'à 2015, pour une meilleure conformité du modèle. Un rechargement en sédiment artificiel a été effectué du côté Est, estimé par un volume de 3kg de PVC en modèle qui représente l'apport annuel d'Oued El-Harrach. Ce cycle suivra les mêmes étapes que celui du premier cycle, seuls les observations détermineront la différence qui seront décrites comme suit :

Direction	Tp(s)	Durée d'action (min)	Hs au large (m)	Hs à -15m (m)	Hs modèle à -15m (m)	Observations
N30°	6	20	1.09	0.88	0.86	<ul style="list-style-type: none"> - Déplacement sédimentaire de la plage formée au paravent près d'Oued El-Harrach vers l'intérieur de l'Épis. - Amincissement de la plage du côté Ouest de l'épi.
	8	8	2.56	1.94	2.02	
	10	6	5.05	3.71	3.92	
	8	8	2.56	1.94	2.13	
	6	20	1.09	0.88	0.84	
N360°	6	13	1.00	0.91	0.81	<ul style="list-style-type: none"> - Apport sédimentaire important en amont et en aval de l'épi, avec instabilité lors des grandes houles. - Elargissement de la plage à l'intérieur de l'épi. - Erosion des formations sédimentaire en aval de l'épi.
	8	5	2.67	2.33	2.34	
	10	4	4.92	4.27	4.43	
	8	5	2.67	2.33	2.45	
	6	15	1.00	0.91	0.95	
N340°	6	12	1.10	0.58	0.56	<ul style="list-style-type: none"> - Plage formée à l'intérieur de l'épi est non affectée. - Reformation de la plage à l'ouest de l'épi estimé à 50ml. - Formation de petits croissants.
	8	5	2.64	1.27	1.30	
	10	4	4.53	2.13	2.16	
	8	4	2.64	1.27	1.37	
	6	12	1.10	0.58	0.55	
N30°	6	18	1.09	0.88	0.80	<ul style="list-style-type: none"> - Accumulation sédimentaire au près de Oued El Harrach - Erosion de l'accumulation située à la partie occidentale de la zone - Les petites houles enregistrent une avancée du trait de côte de la plage intérieur de l'épi
	8	7	2.56	1.94	1.96	
	10	6	5.05	3.71	3.99	
	8	7	2.56	1.94	2.10	
	6	22	1.09	0.88	0.82	
N360°	6	10	1.00	0.91	0.72	<ul style="list-style-type: none"> - Formation complète de la plage à l'intérieur de l'épi d'environ une largeur de 220ml - Erosion de la plage formée en aval de l'épi Est. - Diffraction au musoir de l'épi.
	8	5	2.67	2.33	2.38	
	10	4	4.92	4.27	3.94	
	8	5	2.67	2.33	2.05	
	6	10	1.00	0.91	0.94	

Observation terrains du cycle de houle n=° 2

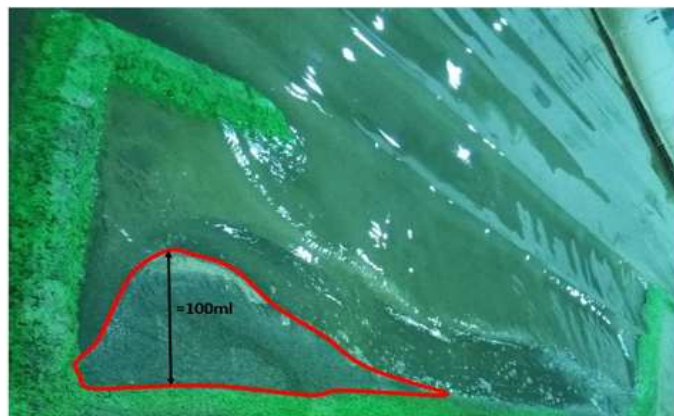


Figure n° 68: Accumulation sédimentaire à l'intérieur de l'épi d'environ 100ml



Figure n° 64: Formations de deux plages par les directions Nord et Nord-Ouest

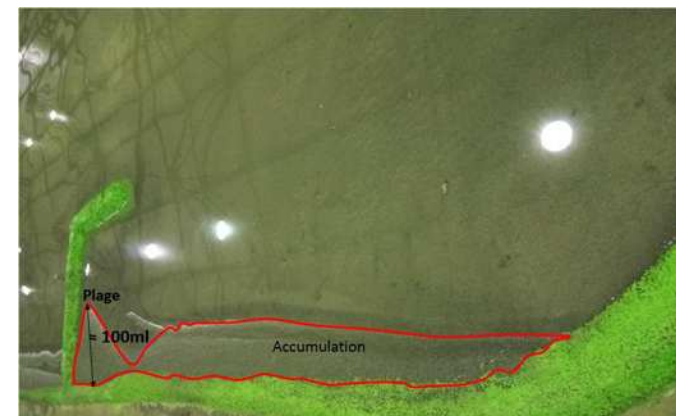


Figure n° 63 : Accrétion au près de Oued el El-Harrach par la direction Est

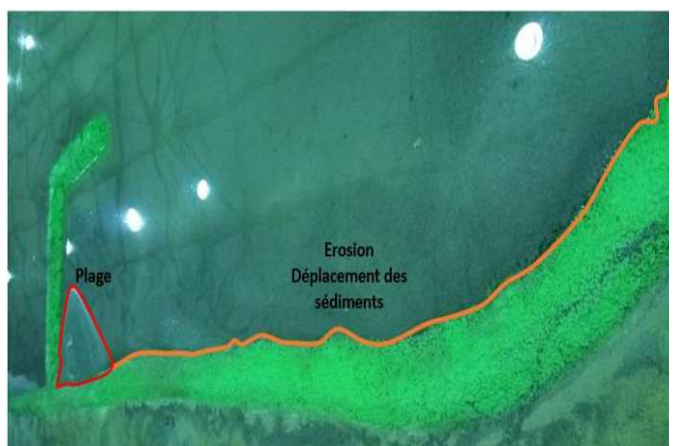


Figure n° 67: Déplacement des sédiments à l'intérieur de l'épi pour former une plage

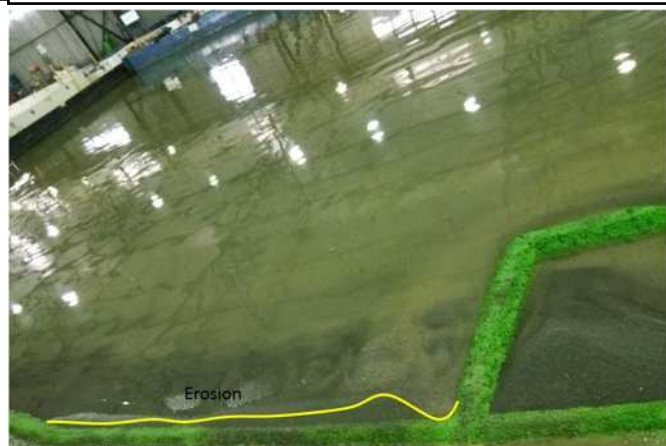


Figure n° 66: Erosion remarquable de la plage formé à l'Ouest de l'epi



Figure n° 65 : Formation complète d'une plage stable à l'intérieur de l'épi (220ml de largeur)

Interprétation

D'après les deux tableaux et l'ensemble des observations terrain nous avons constaté que :

- Les deux houles de secteurs Nord-est et Nord jouent le plus grand rôle d'apport dans notre zone d'étude.

La première affecte la partie Est des « Sablottes », formant ainsi la plage au sein de l'épi et quelques accumulations plus à l'Est.

La deuxième touche la majorité du linéaire côtier, formant des plages résiduelles à l'Ouest et contribuant à l'apport de la côte Est tout en adoucissant la pente de la plage de l'épi. Elle reste tout de même une houle érosive lors des grandes périodes.

- La houle de secteur Nord-Ouest est la moins effective, sa réfraction accentuée ne permet pas l'arrivée des houles de hauteur importante à la côte, elle touchera plus la partie occidentale, où on observera quelques accumulations. son effet est cependant observable au niveau du côté Ouest de l'épi.
- Concernant l'hydrodynamisme nous avons observés deux types de déferlement à la côte : plongeant et gonflant.
- On remarquera durant la calibration des formations de Riple Marks et un transport sédimentaire majoritairement par saltation et suspension.

III.5. Evolution des fonds

L'analyse cartographique des levés effectués après chaque cycle nous permet d'estimer l'évolution spatio-temporelle des fonds de notre zone d'étude. Voici dans ce qui suit un nombre de comparaisons de bathymétries sous forme de cartes synthétiques.

I.1.1. Historique d'évolution

Avant d'entamer les évolutions obtenues en bassin, nous avons considéré nécessaire de passer par un petit historique de notre zone d'étude. Ceci en comparant entre la bathymétrie de la carte SHOM 2005 et la bathymétrie effectuée par le LEM en 2013.

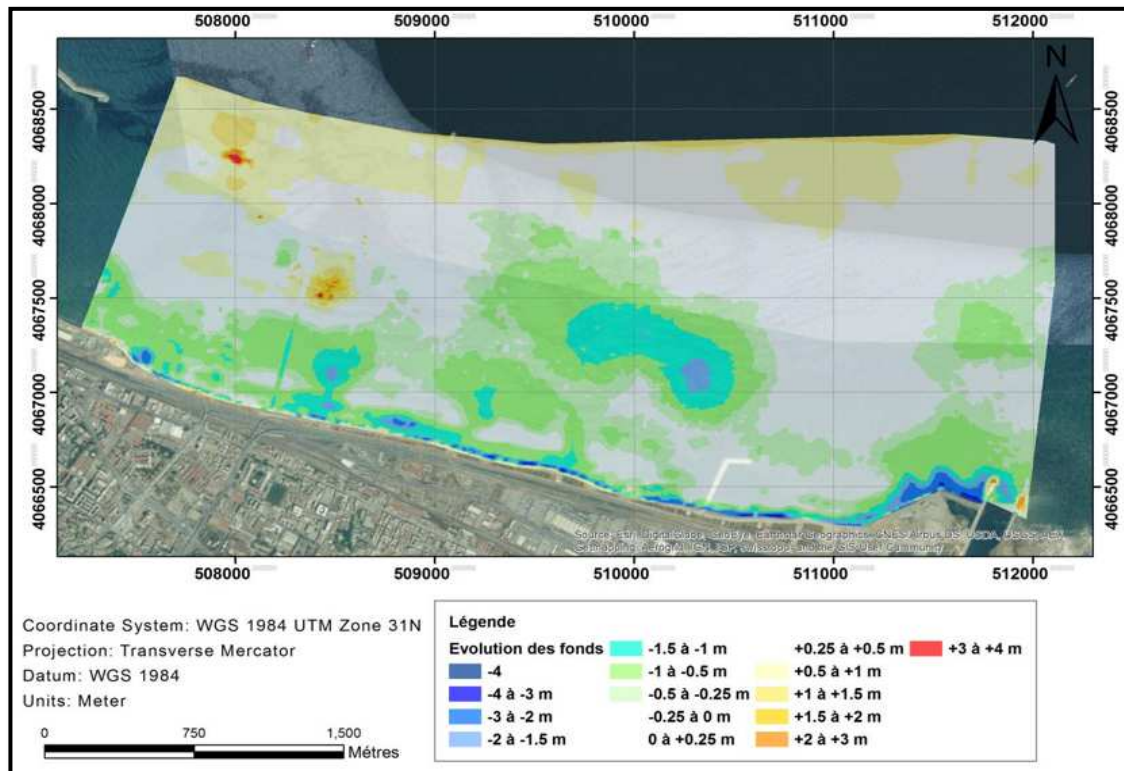


Figure n° 69 : Carte synthétique de l'évolution des fonds **2005-2013** de la zone des Sablettes

Interprétation

Nous observons un net changement sur l'ensemble des petits fonds de Sablettes durant la période 2005-2013, les parties les plus érodées sont celles situées principalement au centre et près de la côte, les pertes peuvent atteindre les -4 m entre la bathymétrie initiale et finale. Les causes de cette variation peuvent être dues à plusieurs facteurs dont :

- Le régime hydrodynamique.
- La variation du débit d'apport d'Oued El-Harrach
- L'implantation d'ouvrages et modifications au niveau du trait de côte.

III.5.10. Evolutions des fonds après calibration sedimentologique

A. Cycle n°1

Des levés bathymétriques ont été effectués avant la calibration et après le premier cycle, les résultats sont soumis à une analyse cartographique afin d'estimer les évolutions réelles. A cette fin, une nouvelle méthode a été mise au point, se basant sur un matériel moderne qui est le **Scanner 3D Leica**.

Les résultats sont illustrés dans ce qui suit :

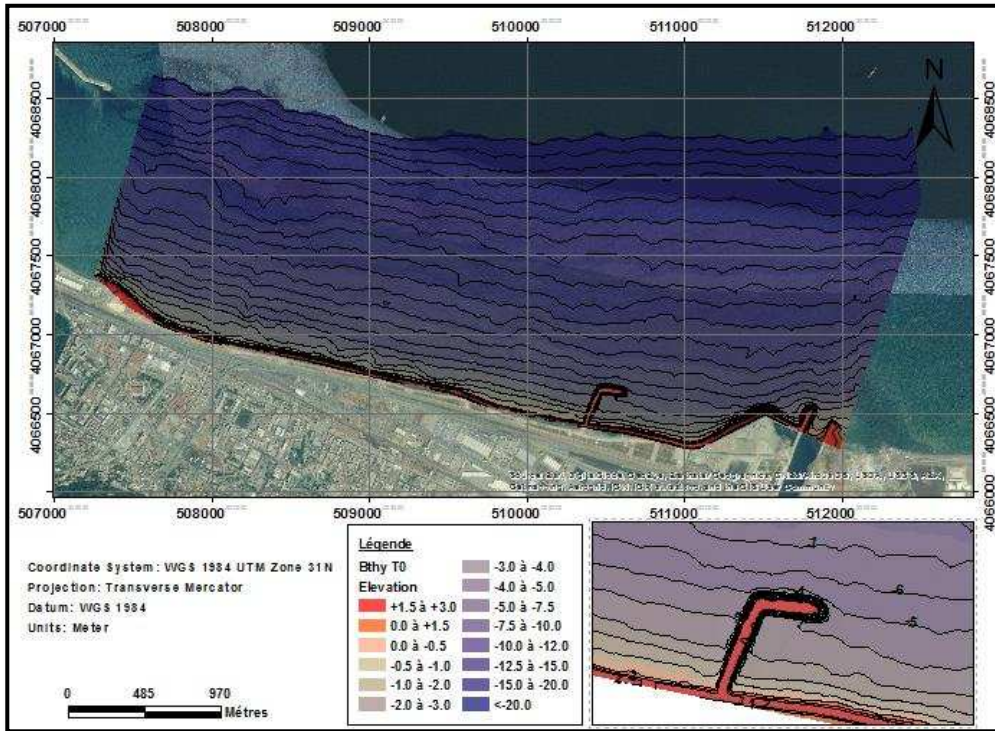


Figure n° 71 : Carte bathymétrique avant calibration T₀

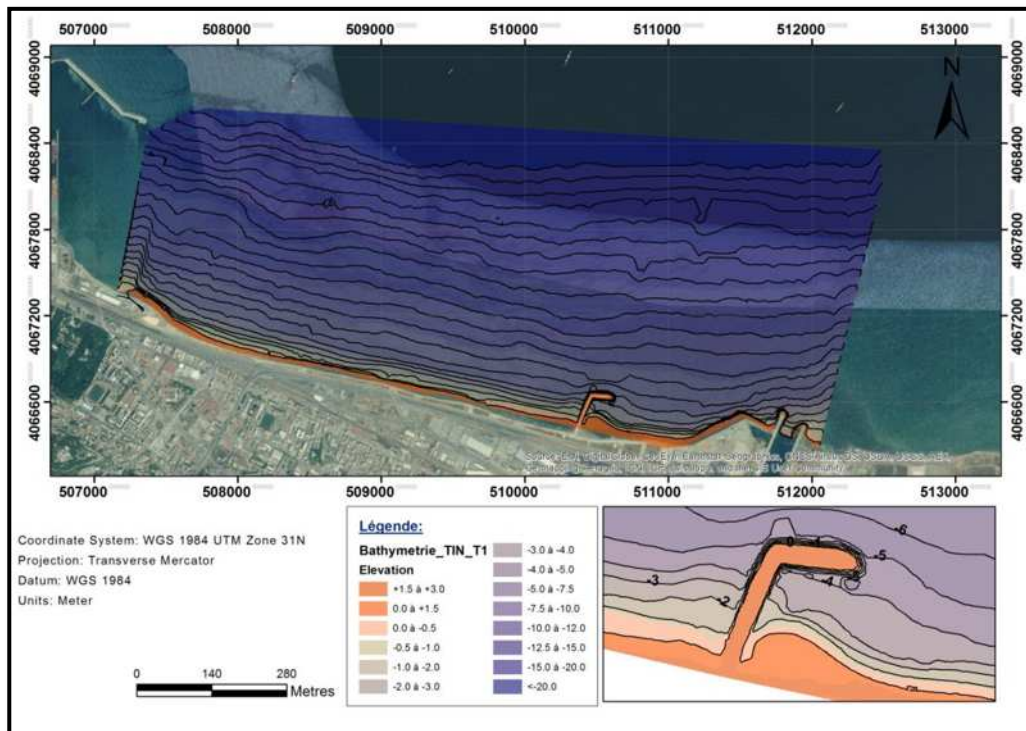


Figure n° 70 : Carte bathymétrique en fin de cycle n°1 T₁

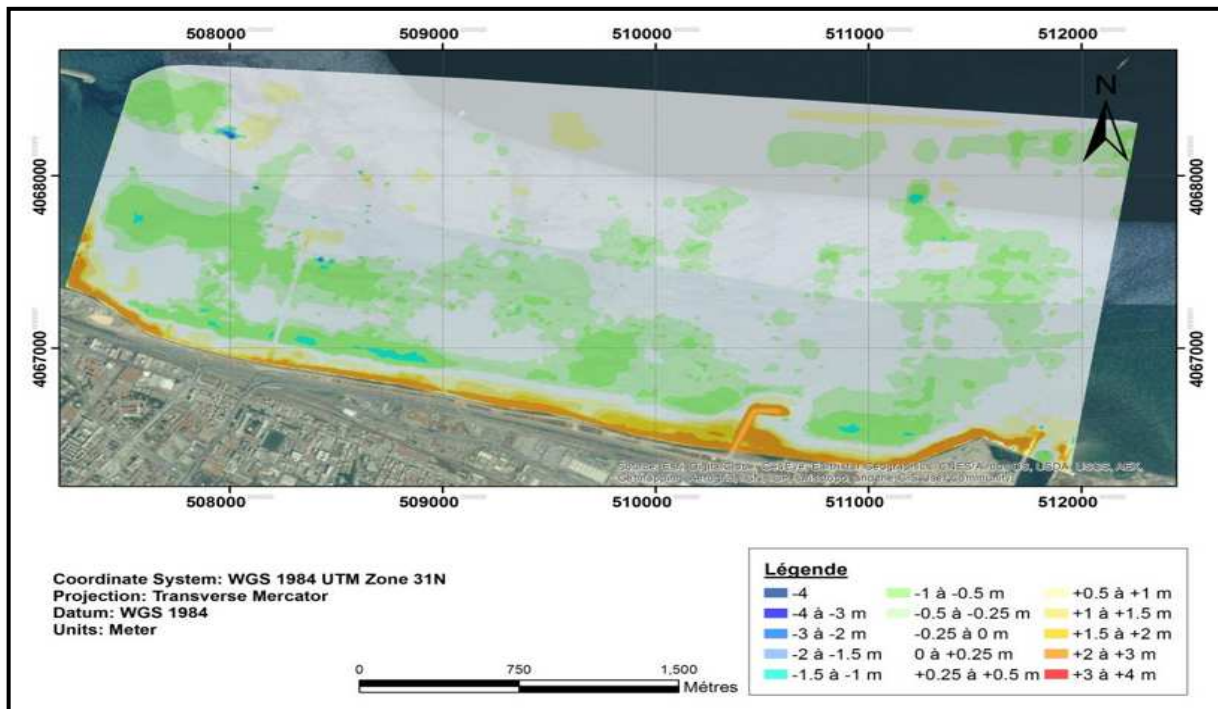


Figure n° 72 : Carte synthétique de l'évolution des fonds après le 1er cycle de calibration
Evolution $T_0_T_1$ de la zone Sablettes

Interprétation

Après un cycle d'essais, les fonds mobile ont connu une modification considérable. Une érosion apparente à partir des -5m de profondeur estimée à environ -1m, couvre de larges surfaces représentées en dégradé de vert. Cependant, à la côte une accumulation est apparue au niveau de l'épi, formant ainsi la plage prévue. le reste du trait de côte est aussi sujet à de petites accumulations. Les surfaces en blanc restent tout de même stables et ne subissent pas d'évolution.

L'ouvrage mis en place a contribué à la rétention des sédiments en transit. L'alimentation de ce dernier peut être issue de ces zones érodées plus au large, sachant que lors de ce cycle, l'apport sédimentaire d'Oued El-Harrach n'a pas été représenté.

B. Cycle n°2

La même démarche a été entreprise à la fin du deuxième cycle, afin d'estimer l'évolution global de la calibration sédimentaire.

Les résultats sont illustrés dans ce qui suit

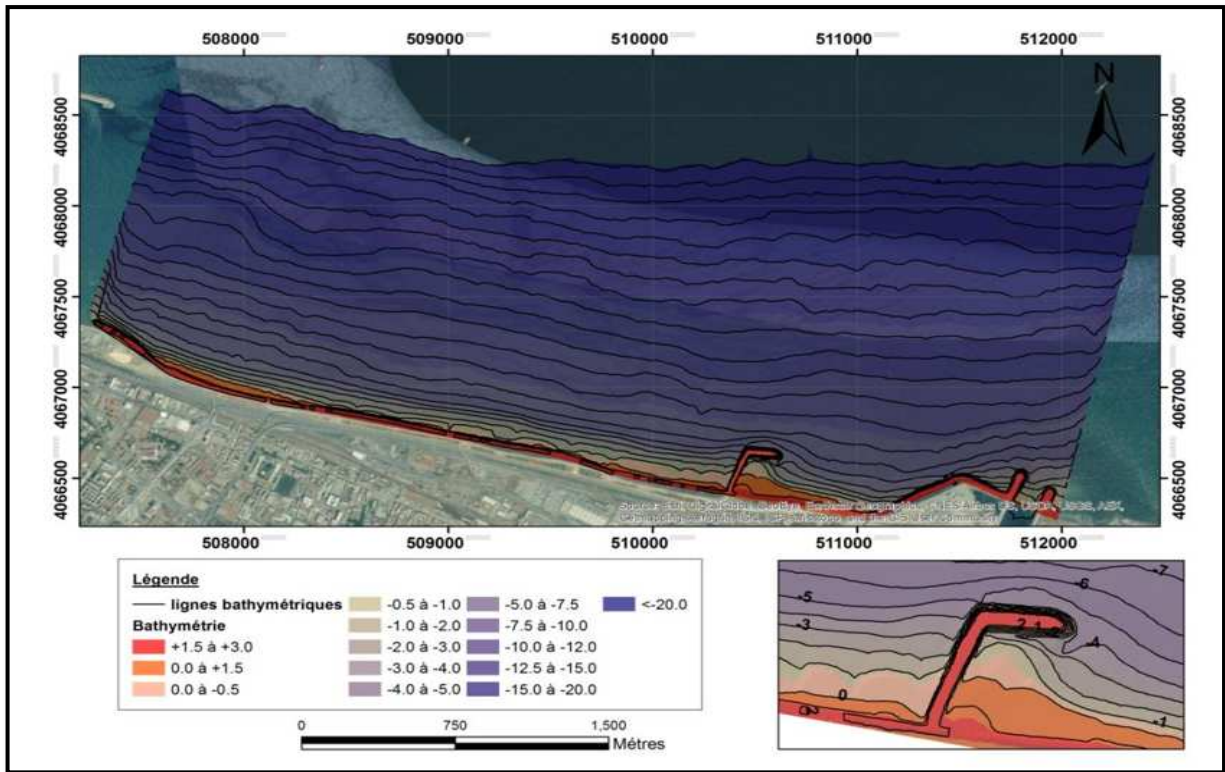


Figure n° 73 : Carte bathymétrique à la fin du cycle n°2, T₂

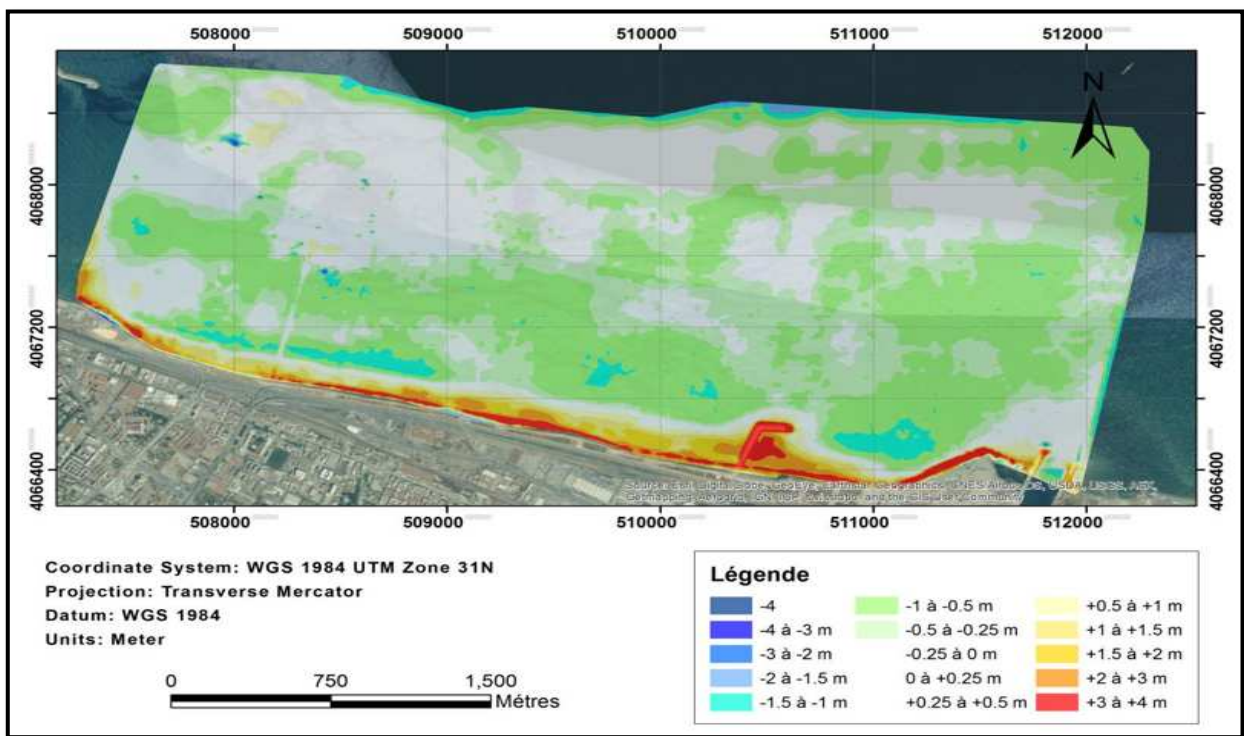


Figure n° 74 : Carte synthétique de l'évolution des fonds après le 2eme cycle de calibration Evolution T₀_T₂ de la zone Sablettes

Interprétation

L'évolution s'est poursuivie selon le cycle précédent, avec accentuation de l'érosion dans les zones précédemment érodées et accumulation à la côte, principalement près de l'épi.

Conclusion

Les résultats obtenus après calibration sédimentologique nous ont permis de trancher sur la conformité de notre modèle. Les deux cycles ont abouti à un état final similaire à l'état naturel de Sablettes en 2015, nous pouvons donc dire à ce moment que le modèle est calibré et que sa représentation est fidèle à la réalité. A partir de ce constat, il est possible d'entamer les essais qui nous donneront une perspective correcte des états futurs de la zone d'étude.

Lors des essais, un seul changement aura lieu. Il s'agit de la répartition des temps d'actions des houles du cycle, la direction Nord-Ouest N340 sera décalé vers la fin du cycle afin que l'on puisse mieux observer son impact.

III.6. Description des essais à venir

Après la phase de calibration et une fois assuré de la conformité du modèle, on peut entamer les essais, ils seront réalisés suivant la démarche décrite en calibration avec l'ajustement du cycle de houle comme cité précédemment. Lors de la calibration 2 cycles ont été réalisés correspondant à la période 2013-2015. Ces essais débuteront en 2015 et seront réalisés en deux phases.

Phase 1 : elle correspond à la phase de réalisation des ouvrages qui a débuté en 2015 et qui se poursuit durant l'année 2016 en cours. Trois ouvrages seront construits en plus de l'épi Est :

- Epi Ouest
- Epi 2
- Terreplein Est (siège de la future grande roue)

Phase 2 : elle se fera selon deux étapes :

- Première étape de perspective qui s'étend de 2016 jusqu' éventuellement 2018, où les épis de la grande plage seront implantés. On s'assurera durant cette étape du rechargement naturel de la grande plage, du comportement des ouvrages implantés et du transit sédimentaire qui en découlera. Ceci se fera sur deux cycles.
- La deuxième étape comprendra un seul cycle où l'ensemble des ouvrages sera mis en place et où on s'assurera de la stabilité de la grande plage

Si la plage s'avère instable, un autre cycle pourrait avoir lieu après alimentation artificielle pour suivre le devenir des sédiments allochtone.

CONCLUSION GENERALE

Les villes côtières font aujourd'hui l'objet de diverses études d'ingénierie maritime. L'aménagement et l'organisation de cette bande littorale est devenue indispensable pour répondre aux besoins socio-économiques des riverains et habitants. De ce fait une étude scientifique de différents phénomènes côtiers est une étape fondamentale qui nous aide à comprendre, appréhender et prévoir le futur proche de la zone.

En vue des multiples impacts des infrastructures maritimes implantés au niveau de la zone côtière des Sablettes sur l'équilibre naturel de ces dernières, nous nous sommes concentrés dans notre travail sur les processus physiques responsables cette dynamique qui la caractérise. Pour bien mener cette recherche, notre intérêt s'est porté sur le transport sédimentaire de ma bande littorale des 5km des Sablettes. Pour ce faire nous avons opté pour deux approches différentes mais complémentaires :

- Une approche numérique basée sur les résultats de simulation empiriques et de modélisation au moyen du logiciel MIKE 21 DHI.
- Une approche expérimentale à court terme basée sur l'étude sur modèle réduit physique dans un bassin à houle.

Avant d'étudier la dynamique sédimentaire une première partie d'étude de la zone d'étude, qui a porté sur recherche bibliographique a été menée sur les caractéristiques du site en vue d'ensemble sur l'organisation de son reliefs et des structures et de déceler les caractères spécifiques à cette région en terme de géologie, géomorphologie, topographie, hydrologie et autres.

La deuxième partie était plutôt basée sur la collecte et l'analyses des différentes données historiques et in situ obtenues tout au long de la recherche d'où en ressort :

- L'étude sédimentologique de cette zone montre que la zone des Sablettes est caractérisée par un sédiment généralement sableux allant du fin au moyen. La répartition de la fraction fine (Pelites, diamètre $<40\mu\text{m}$) est relativement importante au périphérie de l'embouchure de Oued El-Harrach mais aussi au-delà de l'isobathe 15m où la décantation est favorisée. Concernant la fraction grossière se concentrent au niveau de la frange des Sablettes, à Ouest de l'embouchure du Oued et qu'ils sont classés dans la gamme du « *Sable fin* ». Cette analyse va nous mener déterminer le mélange du PVC à utiliser en bassin.
- L'étude du trait de côte nous a montré que cette région tout comme le reste des côtes sableuses de la baie d'Alger a connu un déficit important en sédiment .qui a été comblé par une protection tout au long du linéaire. Cette dernière nous indique qu'il y a eu une stabilité du trait de côte de 1980-2013 sachant que son évolution entre [2013-2016] n'est pas très significative vu les modifications qui sont en cours par la mise en place des terrepleins et autres structures. Concernant la morphologie de cette bande d'étude, nous concluons qu'elle est caractérisée par une pente très douce, où ses isobathes sont régulières et parallèle à la côte.

La troisième partie de ce mémoire a été principalement consacrée à la modélisation des processus hydro-sédimentaires avec ses deux approches numérique et physique.

L'approche numérique a été réalisée au moyen d'un logiciel numérique puissant (MIKE 21) de l'institut Danois DHI. Qui consiste à mettre en place une simulation intégrée du transport

sédimentaire après avoir obtenus les résultats de la réfraction des houles et champs de courants générés par les houles et vents. Nous avons conclu en premier que la zone d'étude des Sablottes est soumise à la dominance des houles de directions Nord-Est(45°N) en été et de direction Nord (360°) le long de l'année et un effet minime des houles du secteur Nord-Ouest (315°N). Ensuite concernant les courants la zone n'est pas très affectée par une complexité elle est soumise à un champ de courant allant de Est –Ouest ayant une faible intensité 0.9m/s. De ces deux résultats nous avons conclu que la zone n'est pas soumise à un forçage hydrodynamique important, et son transport sédimentaire se fait majoritairement d'Est en Ouest ou le transit est estimé est de 8400m³/an.

Suite aux résultats obtenus en modélisation numérique, des essais en bassin à houle ont été entamé afin de mieux visualiser le transit sédimentaire de notre zone et d'estimer qualitativement la tendance de la morphodynamique côtière à « Sablottes ». Ce chapitre s'est intéressé en premier lieu à la préparation de l'ensemble des conditions initiale qui consiste à choisir l'échelle, le matériau mobile et les différents facteurs, permettant la construction conforme du modèle, un deuxième volet a porté sur la démarche de calibration sedimentologique, qui est une étape décisive pour la validation du modèle.

La calibration sédimentaire après deux cycles de houles a abouti à une représentation conforme de la réalité par la formation de la plage de l'épi Est.

A l'issue de ces deux volets, et en comparant les résultats, nous pouvons déduire que les deux études, numérique et physique sont complémentaire

- AL SID CHIKH, Safa. (2011). *Etude de protection de la plage de Palm Beach-Azur contre l'érosion. Recours à la modélisation numérique et physique*. Mémoire de magister. Surveillance et gestion de l'environnement marin et littoral. Alger : ENSSMAL, 228 p.
- AUBIE, S., MALET, C. (Aout 2011). Caractérisation de l'aléa érosion (2020-2040) de la côte Aquitaine dans le cadre de l'étude stratégique de gestion du trait de côte. Rapport final. BRGM/RP-59095-FR. France : Malet.
- BACHARI HOUMA, Fouzia. (2009). *Modélisation et cartographie de la pollution marine et de la bathymétrie à partir d'imagerie satellitaire*. Thèse de doctorat. Océan, Atmosphère. Paris: Université Paris-Est, 274 p.
- BANNER, M., MORISON, R. (2006), Modelling spectral dissipation due to wave breaking for ocean wind waves, In Proceedings of the 9th International workshop on wave hindcasting and forecasting; Victoria, Canada, 136 p.
- BELKESSA, R. (1991). *Evolution géomorphologique et sédimentologique du bas Isser et de son embouchure*. Mémoire de magister. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 127 p.
- BELKESSA, R. (2005). *Ensemblement des ports algériens, pollution par les métaux lourds et sites de dépôts de sédiments*. Thèse de doctorat. Aménagement du littoral. Constantine : Université de Mentouri, 412 p.
- BENOIT (2009). *Modélisation et simulation des vagues de l'échelle océanique à l'échelle d'une structure côtière*. 2^eéd. Marseille: Laboratoire de modélisation. 135 p.
- BOAK E, H., TURNER, L. (2005). Shoreline definition and detection. *Journal of Coastal Research*. Vol 21, n°35, 19 p.
- BONNEFILLE, R. (1992). *Cours d'hydraulique maritime*. 2^eéd. Paris : Masson. 29 p.
- BOUCHARREB, B., KAMOUCHE, Y. (2013). *Contribution à l'aménagement du site « les sablettes » et à son intégration dans le projet de la baie d'Alger*. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 53 p.
- BOUTIBA, M. (2009). Analyse par ondelettes des variations historiques de la ligne de rivage entre l'oued Reghaia et l'oued Mazafran (wilaya d'Alger). Vol 20, n° 2, 144 p.
- BOWEN, A. (1969). Rip Currents: 1. Theoretical Investigations", *Journal of Geophysical Research* Vol 74, N°3, 78 p.
- BYRNES, R., HILAND, W. (1994). *Shoreline position and nearshore bathymetric change*. 122 p.
- CAUDE, G. (2003). *Modélisation physique au XXI^{ème} siècle*. Colloque SHF « Quels modèles physiques pour XXI^{ème} siècle ». Cemef. Lyon, 36 p.
- CHABOT, S. (2011). La modélisation des vagues : pourquoi, comment ?. *Thèse de Doctorat. Génie côtier. Belgique : Université de Technologie de Compiègne*, 136 p.

CHAUCHAT, J. (2007). *Contribution à la modélisation diphasique du transport sédimentaire en milieux côtiers et estuarien*. Thèse de doctorat. Sciences de la terre. Caen (France) : Université de Caen, 96 p.

COSTA, S. (2015). *Analyse du fonctionnement hydro-sédimentaire du littoral*. Thèse de doctorat. Caen : Université de Caen, 70 p.

FIERE, M. (2006). *Modélisation morphodynamique d'une embouchure lagunaire*. Mémoire d'ingénieur. Science de la terre. Marseille : CNRS. 3^eéd. 253 p.

GARLAN, T. (2004). *Apports de la modélisation dans l'étude de la sédimentation marine récente*. Mémoire d'HDR. Génie côtier. France : Université des sciences et techniques de Lille, 140 p.

GHANEMI, Z., MOUSSAOUI, S. (2011). *Caractérisation lithologique et géotechnique des sols de la partie orientale de la baie d'Alger*. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 110 p.

GIOVANNI De Cesare. (2010). *Etude sur modèle physique et numérique des évacuateurs de crue et des fosses d'érosion du barrage de KOMAN en Albanie*. Lausanne: Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), 133 p.

GRASSO, F. (2009). *Modélisation physique de la dynamique hydrosédimentaire des plages*. Thèse de doctorat. Océan, Atmosphère. France : Université Joseph-Fourier-Grenoble I, 125 p.

KHALFANI, D. (2014). *Etude Hydro-sédimentaire à l'avant côte de cap Djinet*. Mémoire de magister. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 9 p.

KAMPHUIS, J. (2010). *Introduction to coastal engineering and management. Advanced series on Ocean Engineering*. Vol 30,N°2, 269 p.

KEIJERS J.G.S., POORTINGA A. (2014). *Spatiotemporal variability in accretion and erosion of coastal foredunes in Netherlands: regional and local Topography*. PLoS ONE, Vol 21, 703 p.

KINDERMANS. (1947). *Analyse granulométrique par sédimentation*. 1^eéd. Bruxelles : Kindermans. 29 p.

KRAUS, C. (2005). *Beach profile*. SCHWARZ Coastal Science springer. Hollande : département de génie côtier, 196 p.

LE DISSEZ, A (2006). *Modélisation numérique des écoulements tidaux en milieux peu profonds. Application à l'étude de l'hydrodynamique du bassin*. Mémoire de magister. Génie de l'environnement. France : Université Bordeaux I, 125 p.

LECLAIRE, L. (1972). *Sédimentation holocène sur le versant méridional du bassin Algéro-Baléares (pré-continent Algérien)*. Paris : Muséum, 521 p.

- LEM. (1999). *Etude de l'établissement de la carte sédimentaire du littoral algérien, 1ere tranche*. Rapport de synthèse (Mission 6). Document non publié. Alger : Laboratoire d'étude maritime. 18 p.
- LEM. (2002). Etude de la protection de la plage de Zeralda, étude en modèle réduit physique. Rapport de synthèse. Document non publié. Alger : Laboratoire d'étude maritime. 35 p.
- LEM. (2012). Etude de désensablement du port de Sidi Fredj mission 2, étude sur modèle réduit physique en bassin à houle à fond mobile. Rapport de synthèse. Document non publié. Alger : Laboratoire d'étude maritime. 22 p.
- LEM. (2014). Etude d'Aménagement de la promenade de la baie d'Alger, mission 3.1. Rapport de reconnaissances. Document non publié. Alger : Laboratoire d'étude maritime. 15 p.
- LEM. (2014). Etude d'aménagement de la promenade de la baie d'Alger, Mission 3.2 : rapport d'étude géophysique. Rapport de synthèse. Alger : Laboratoire d'Etude Maritime.
- LEM. (2015). Etude sur modèle réduit physique en bassin à houle de l'épi n°2 au niveau du site des Sablettes. Rapport de synthèse. Alger : Laboratoire d'Etude Maritime.
- LEM. (2016). Etude d'aménagement de la promenade de la baie d'Alger, étude de réalisation (Mission 3.2.5). Rapport de synthèse. Alger : Laboratoire d'Etude Maritime.
- LONGUET-HIGGINS MS. (1964). *Radiation stresses in water waves, a physical discussion with application, Deep-sea Research*. Vol II, 559 p.
- MALLET, C., MICHOT, A. (2012). *Synthese de référence des technique du suivi du trait de cote*. Rapport d'activité. Document non publié. France : .bureau des recherche géologique et miniere (BRGM). 68 p.
- MEDDTL. (2010). *La gestion du trait de cote*. Rapport d'activité. Document non publié. Versailles (France) : ministere du transport et du logement et Ministere de l'écologie du développement durable. 95 p.
- MIGNIOT, C (1973). *Modèles à fonds mobiles, facteurs hydrodynamiques intervenant sur les modèles sedimentologique*. 2^{éd}. France : laboratoire central d'hydraulique. 47 p.
- OTMANI, H. (2014). *Impacts des infrastructures maritimes sur le littoral : cas de Cap Djinet*. Thèse de Magister. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 157 p.
- PASKOFF, R (1993). *Côtes en danger*. 2^{éd}. Paris : Masson. 25 p.
- PASKOFF, R. (1993). *Les littoraux : impact des aménagements sur leur évolution*. 2^{éd}. Paris : Masson, 256 p.
- PASKOFF, R., CLUS-AUBY, C. (2007). *l'érosion des plages, les cause, les remèdes*. Paris: Groupe Albin Michel, 184 p.

RIVIÈRE, A. (1977). *Méthodes granulométriques : technique et interprétation*. Paris : Masson. 170 p.

SAIDI, H ; BRAHIM, M. (2009). *Caractérisation granulométrique et minéralogique des sédiments de surface de la frange littorale sidi bou said - la goulette*. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 76 p.

SCHMIDT, S ; MANEUX, E. *Impact d'un barrage intra-estuarien sur la dynamique sédimentaire : la retenue de Saint-Savinien (Charente-Maritime)*. *Le regard sur terre*. Vol 2, N°3, 22 p.

SHOM et IGN. (1992). *Trait de côte. Descriptif technique*. Rapport d'activité. Document non publié. Paris: Service hydrographique d'océan de la marine et institut géographique national. 5 p.

Viguié, J (1992). *Modèles en hydraulique maritime : Département ports et côtes de SOGREAH ingénierie*. Hollande : Viguié. 26 p.

Viguié, Jean (2002). *Notions de la dynamiques sédimentaires : Département ports et côtes de SOGREAH ingénierie*. Hollande : Viguié. 129 p.

Sites d'internet :

<http://www.ghentdredging.be>

<http://www.Paralia.fr/>

<http://www.mem-algeria.org/français/index.php?page=795>

http://www.shom.fr/fr_page/fr_act_oceano/vagues/MODELES/index.html

Résumé

La côte sableuse de la bande littorale des Sablettes, située dans la partie occidentale de la baie d'Alger, suscite un intérêt en terme d'équilibre morpho-dynamique, car cette zone côtière est en proie d'une (accrétion/érosion) qui risque de rompre son équilibre précaire. De plus, cet environnement fragile a fait récemment l'objet d'occupations anthropique intense, traduite par des aménagements divers, plus ou moins réussis, qui s'intègrent dans le cadre du méga projet de la Baie d'Alger intitulé « Ville du monde» pour une durée (2009-2029). L'intérêt de cette étude portera particulièrement sur l'étude du transport sédimentaire et nous conduit à poser la question suivante : En quoi une bonne connaissance du transport sédimentaire peut profiter à la compréhension des phénomènes d'érosion et à l'aménagement raisonnée dans la Baie d'Alger ? Pour mener à bien ce travail de recherche, une étude pluridisciplinaire a été établie ou nous avons jumeler entre le modèle numérique à l'aide du MIKE21 et physique par le bassin à houle ou nous avons effectué des observations tout au long des essais et nous avons élaborer des constats

Mots clés : Sablettes, similitude, hydrodynamique, modèle réduits physique, modélisation numérique.

Abstract:

Sablettes is located in the Wester of Alger's bay. It has interest equilibrium of sediment dynamics caused by swell that comes so dominant, especially in winter, causing erosion and accretion. This zone is enrolled in the mega project of Alger's (2009-2029). The objectif of this stady is the sediment transport in this sector of bay, we must reproduce the conditions of the climate with numerical modeling resulting from refraction with MIKE21, and adoption of Froude similarity laws, we realized the sedimentological model in which was simulated with a distorted scales and also the sand supply in order to represent the evolution of the shore line and fund bathymetry near the coast.

Keywords: Sablettes, similarity, hydrodynamique, physical modeling, numerical modeling.

ملخص

الواجهة البحرية لسابلتت تقع في وسط خليج الجزائر والذي يشهط تغيرات كثيرة هذه الاعوام الاخيرة اتر تسجيله في اكبر مشروع الجزائر (2009-2029). هذه الدراسة تشمل عدة مجالات لغرض دراسة مدققة لتحركات الرمال على طول الشريط الساحلي. اولاً بدانا بالتمدجة الالكترونية بواسطة المايك 21. وذلك لغرض دراسة الانكسار الموجي واعتمادا على قوانين التشابه "فروود" ثم تم استخدام الهيكل الامثل في نموذج ثلاثي الابعاد لدراسة تحركات الرمال اين تم اعداد تقارير و نضائر لمتابعة هذه الدراسة.

كلمات المفتاح . سابلتت. التمدجة الالكترونية. التمدجة الفيزيائية .