

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

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



MEMOIRE DE FIN d'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME

D'INGENIEUR ET MASTER EN SCIENCES DE LA MER

OPTION : Gestion et Protection du Littoral

Thème :

**Impact des infrastructures de protection littorale sur l'évolution morphodynamique de la région centre de la baie d'Alger « site des Sablettes : la grande plage »**

Présenté par :

**Khanfar Lamouchi Abd El Djalil**

**Remaci Said**

Soutenu le 30 /12/2020 devant le jury suivant :

<b>Mr OTMANI H</b>	<b>Président</b>	<b>ENSSMAL</b>
<b>Mr DAHMANI A</b>	<b>Encadreur</b>	<b>ENSSMAL</b>
<b>Mr LALLAOUI N</b>	<b>Co-promoteur</b>	<b>MEDITRAM</b>
<b>Mme ABDEDDAIM H.</b>	<b>Examinatrice</b>	<b>ENSSMAL</b>

Promotion : 2020

## **REMERCIEMENT**

*Au terme de ce travail, nous remercions Dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé, le courage et la volonté, pour réaliser ce modeste travail.*

*Nos plus vifs remerciements s'adressent au :*

*Mr Dahmani pour avoir proposé, dirigé et suivi constamment l'évolution de ce mémoire.*

*Qu'il trouve dans ces lignes le témoignage de nos respectueuses reconnaissances.*

*Mr Lallaoui, qui nous orientés au cours de notre stage au sein du MEDITRAM*

*Mr Outmani qui nous fait l'honneur de présider ce jury.*

*Mme Abd dayem pour avoir accepté d'examiner et d'apporter leurs vives contributions à l'enrichissement de ce travail par leurs commentaires constructifs, leur bon sens et leur expérience.*

*Nous exprimons notre gratitude à toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

## **DEDICACE**

*Je dédie ce modeste travail*

*À mon cher père et ma chère mère pour tous ce qu'ils ont faits pour moi  
durant mes études*

*À mes frères et sœurs*

*À mon binôme Nems*

*Mes professeurs de l'ENSSMAL*

*À mes amis (les loups) : Abdenour, Khaled, Rabah, Zaki, Walid, Nikho,  
Didine, El 3ou, Hani, Marez, Rachid, Lvyayli, Akli, Housseem, Zinou, Nounou,  
Mohamed.*

*À mes amis de la misère : Moses, Ma7you, God, Manix, brad pitt lite, Bechar,  
Mourad, Hichem, Ali, Sohaib, El Don, Zinou, charaf.*

*À mes amies de l'Enssmal : kenza, Imen, Fahima, Sara, Bouth, Meriem, Lisa,  
Fatima, Bahdja, Amina, Noubi.*

## ***DEDICACE***

*Je dédie ce modeste travail*

*A ma chère mère Zaho que dieu la garde pour son énorme support et à mon  
père aussi*

*A mes Frères et mes sœurs et toutes ma famille d'Afnan jusqu'à Hamana*

*A mon binome Said*

*A Tous mes amis Hadoula mon petit adorable fils Jazz Fiyou Manix Pedrossi  
ICE La mousse Mohyi Yazid Loubia Bilel la souris Titiba Touta Billy  
Bouhabed Zou9ari Boussa3da big boss EXOTIK lahneq Kamar Manou  
Youcef Nech Heikel l'Aigle Rebaa Mouh Nessrine Shemsa l'escroc Bissa Sam  
lWess Snay3i Bouharna Moh Amine Soha Nekfeu Largo Mouh Nechnache et  
tous ceux que j'ai oublié*

*A la promo GPL 2015*

*A mes amis de l'école*

## LISTE DES FIGURES

Figure 1: Composants d'un système morpho dynamique côtier (Cowell et Thom1994). .....	5
Figure 2: Processus hydrodynamiques induits par les vagues incidentes (CARON, 2017). .....	6
Figure 3: Zonation des milieux littoraux (Beauchamp, 2005). .....	7
Figure 4: Action du vent sur le milieu littoral ( <a href="http://www.eid-">http://www.eid-</a> .....	8
Figure 5: Génération et transformations des houles au niveau de la zone de fetch (ALLOSURF).....	9
Figure 6: Représentation des grandeurs caractéristiques des vagues (Grasso, 2009). .....	10
Figure 7: Illustration théorique du phénomène de la réfraction des houles incidentes. (CARON, 2017) .....	11
Figure 8: Illustration du phénomène de diffraction : a) Schématisation théorique ; b) au niveau de l'embouchure de l'oued Martil (Maroc) (22 /10/2008). .....	11
Figure 9: Réflexion de la houle incidente à la rencontre d'un épi, la direction de réflexion fait avec la perpendiculaire à l'obstacle un angle égal à l'angle d'incidence : a) Schématisation théorique ; b) au niveau de la plage de Zemmouri. ....	12
Figure 10: Différents types de déferlement en fonction de la hauteur de la houle, profondeur de l'eau et la pente de plage (d'après Briggs et al. 1997) ; modifiée par El Mrini, 2011). .....	12
Figure 11: Schématisation du courant de retour et de sa structure verticale. (MEZOUAR, 2009).....	13
Figure 12: Le courant de dérive ou "longshore current" (LEYVA, 2005). .....	14
Figure 13: Schématisation des rip-currents au-dessus d'un système de barres sableuses (à gauche) et photo aérienne de courants sagittaux au-dessus d'une plage sableuse. ....	15
Figure 14: a) Schématisation des croissants de plage, b) croissants de plage au niveau de la plage de Sidi Fredj.....	15
Figure 15: Représentation schématique des vagues constructives et destructives. (Mr Caron, 2017).....	17
Figure 16: Transport sédimentaire (F.Boulvain, 2020). .....	19
Figure 17: Situation géographique de la zone d'étude (Google earth pro 2020). .....	23
Figure 18: Carte morpho-géologique du bassin de la Mitidja et ses environs (Domzig, 2006) .....	26
Figure 19: Carte sédimentologique de la Baie d'Alger (LEM, 1996). .....	27
Figure 20: Diagramme de température. (rp5.ru, Années). .....	28

Figure 21 : Histogramme des taux de précipitation par mois au niveau de la baie d'Alger (rp5.ru, 2008/2019). .....	29
Figure 22: Rose du vent annuelle (« era5 ») .....	30
Figure 23: Rose des houles annuelles au large d'Alger (Mike 21).. .....	31
Figure 24: la grande plage « Sablettes ».....	35
Figure 25: Les Positionnement des points de prélèvement au niveau de la grande plage. ....	36
Figure 26: Les étapes de l'analyse granulométrique (ENSSMAL).....	37
Figure 27: Méthodologie suivie pour l'analyse granulométrique. ....	38
Figure 28: Carte de la répartition des pélites (%) dans la partie marine au niveau de la grande plage « Sablette». ....	41
Figure 29: Carte de répartition de diamètre moyen (D50) dans la grande plage «Sablettes»..	42
Figure 30: Carte de répartition de diamètre moyen (D90) dans la grande plage. ....	43
Figure 31: Carte de répartition de diamètre moyen (D10) dans la grande plage. ....	44
Figure 32: Schéma explicatif des étapes de réalisation d'un MNT. ....	50
Figure 33: Cartes bathymétriques de la zone d'étude de 2014 et 2020.....	53
Figure 34: Carte de différentiel bathymétrique entre 2014 et 2020 .....	54
Figure 35: Approche méthodologique adoptée pour la modélisation intégrée du transport sédimentaire non cohésif. ....	58
Figure 36: Emprise du modèle .....	59
Figure 37: Carte bathymétrique de la baie d'Alger 2014 et 2020.....	60
Figure 38: Carte bathymétrique de la grande plage 2014 et 2020 .....	60
Figure 39 : La propagation de la houle de l'année 2014 "la baie d'Alger".....	64
Figure 40 : La propagation de la houle de l'année 2014 "la grande plage" .....	64
Figure 41 : La propagation de la houle de l'année 2020 "la baie d'Alger".....	65
Figure 42 : La propagation de la houle de l'année 2020 "la grande plage" .....	65
Figure 43 : Le champ de courant pour l'année 2014 " la baie d'Alger" .....	68
Figure 44 : Le champ de courant pour l'année 2014 "la grande plage" .....	68
Figure 45 : Le champ de courant pour l'année 2020 "la baie d'Alger" .....	69
Figure 46 : Le champ de courant pour l'année 2020 "la grande plage" .....	69
Figure 47 : Schéma représentatif des Epis est et ouest .....	73
Figure 48 : les étapes de construction d'un mode réduit physique .....	75
Figure 49 : Profil de la variante 01 bis (retenue).....	76
Figure 50 : Profil partie courante des deux épis Ouest et Est .....	77
Figure 51 : Profil musoir des deux épis Ouest et Est. ....	77

## **LISTE DES TABLEAUX**

Tableau 1: Tableau représentatif des valeurs des températures minimales, moyennes et culminantes (rpr.ru).....	28
Tableau 2 : Tableau représentatif des valeurs de précipitations moyennes. ....	29
Tableau 3: Les limites de l'indice de classement de « Si ». ....	39
Tableau 4: Les valeurs adoptées de Mz. (Folk et Ward).....	40
Tableau 5: Les limites de l'indice d'asymétrie « SKi ». (Folk et Ward) .....	40
Tableau 6: Calcule des indices granulométriques et interprétation des résultats de la partie marine.....	45
Tableau 7: Les caractéristiques des houles cinquantennales au large de la baie de d'Alger ...	57
Tableau 8: Les équations utilisé pour le calcul des paramètres des digues.....	74
Tableau 9: les résultats des essais pour le choix des variantes.....	75

## **LISTE DES ABREVIATIONS**

AFNOR	Association Française de Normalisation.
DREAL	Direction <b>R</b> égionale de l' <b>E</b> nvironnement, de l' <b>A</b> ménagement et du <b>L</b> ogement.
DTM	<b>D</b> igital <b>T</b> errain <b>M</b> odel.
EGIS	Société anonyme à conseil d'administration est active depuis 50 ans.
FM	<b>F</b> low <b>M</b> odel.
GPS	<b>G</b> lobal <b>P</b> ositioning <b>S</b> ystem.
H.S	<b>H</b> auteur <b>S</b> ignificative.
L.E.M	Laboratoire des <b>É</b> tudes <b>M</b> aritimes.
L'EID Med	L' <b>E</b> ntente <b>I</b> nterdépartementale pour la <b>D</b> émoustication du littoral <b>M</b> éditerranéen (EID-Med).
MEDITRAM	<b>M</b> éditerranéen des <b>T</b> ravaux <b>M</b> aritimes.
MNE	<b>M</b> odèle <b>N</b> umérique d' <b>E</b> lévation.
MNT	<b>M</b> odèle <b>N</b> umérique du <b>T</b> errain.
P.A.C	<b>P</b> lans d' <b>A</b> ménagement <b>C</b> ôtier.
PDAU	<b>P</b> lan <b>D</b> irecteur d' <b>A</b> ménagement et d' <b>U</b> rbanisme.
RP5	<b>R</b> éelles <b>P</b> révisions.
S.I.G	<b>S</b> ystème d' <b>I</b> nformation <b>G</b> éographique.
SMNLR	<b>S</b> ervice <b>M</b> aritime et de <b>N</b> avigation <b>L</b> anguedoc- <b>R</b> oussillon.
SW	<b>S</b> pectral <b>W</b> ave.
TIN	<b>T</b> riangular <b>I</b> rregular <b>N</b> etworks.
U.T.M	<b>U</b> niversal <b>T</b> ime <b>M</b> ercator.
W.G.S	<b>W</b> orld <b>G</b> eoïde <b>S</b> ystem.
T.V.C	<b>T</b> out <b>V</b> enant de <b>C</b> arrière

# SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES.....	IV
LISTE DES TABLEAUX.....	VI
LISTE DES ABREVIATIONS.....	VII
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I : Généralités.....	3
1. Généralités.....	4
1.1 Le système littoral.....	4
1.2 La morpho dynamique côtière.....	4
1.3 Hydrodynamique littorale.....	5
1.4 Profil général d'une côte sableuse.....	6
1.5 Les agents de la dynamique littorale.....	7
1.6 Transport sédimentaire.....	18
CHAPITRE II : Présentation du site d'étude.....	21
Introduction.....	22
1. Situation géographique.....	22
2. Le projet d'aménagement de la baie d'Alger.....	23
3. Cadre Géomorphologique.....	24
4. Cadre géologique.....	25
4. Cadre sédimentologique.....	26
5. Cadre météorologiques.....	27
6. Cadre hydrodynamique.....	30
Conclusion.....	32
CHAPITRE III : Etude granulo-sédimentaire.....	34
Introduction.....	34
1. Matériel et Méthode.....	34
1.1. Prélèvement et échantillonnage.....	34
1.2. Etude au laboratoire.....	36
1.3. Méthode d'analyse.....	37

1.4. Calcul des paramètres granulométriques .....	38
2. Résultats et Discussion.....	41
2.1. Analyse de la fraction fine.....	41
2.2. Le Diamètre moyen des sédiments .....	42
2.3. D90 : diamètre du grain à l'ordonnée 90%.....	43
2.4. D10 : diamètre du grain à l'ordonnée 10%.....	44
2.5. Les indices granulométriques .....	44
Conclusion.....	46
CHAPITRE IV : Etude de l'évolution bathymétrique .....	48
Introduction .....	48
1. Approche méthodologique .....	48
1.1. Acquisition des données bathymétriques .....	48
1.2. Choix de la zone d'intérêt.....	48
1.3. Réalisation d'un modèle numérique de terrain.....	49
2. Résultats et discussion.....	51
Conclusion.....	54
CHAPITRE V: Modélisation de la dynamique hydrosédimentaire de la zone d'étude.....	55
Introduction .....	56
1. Les données nécessaires pour la modélisation numérique de fonctionnement hydrodynamique.....	56
1.1. Les données bathymétriques.....	56
1.2. Les données relatives aux conditions météorologiques.....	57
1.3. Les données relatives au niveau de la mer et au marnage .....	57
2. La démarche adoptée.....	57
2.1. Construction du modèle et la création de la bathymétrie sous maillage : .....	58
2.2. Interprétation de la bathymétrie de la grande plage .....	61
2.3. Simulation de la propagation de la houle par le module SW (Spectral waves model)..	62
2.4. Simulation des champs de courants (HD) .....	66
Conclusion.....	70
CHAPITRE VI: Dimensionnement des ouvrages de protection .....	71

Introduction .....	72
1. Aperçus général sur les ouvrages de protection (Epis en arc).....	72
1.1. Epis .....	72
1.2. Les éléments constituant l'ouvrage.....	73
2. Dimensionnement et conception .....	74
3. Construction d'un modèle réduit physique pour la variante retenue.....	75
Conclusion.....	78
Conclusion générale .....	79
Références Bibliographique .....	i
Annexes .....	vii
Résumé .....	xiv

# **INTRODUCTION**

## INTRODUCTION

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

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

La conjugaison entre les facteurs naturels et anthropiques rend le milieu littoral très fragile face aux risques naturels notamment l'érosion côtière et la submersion marine.

De ce fait, ces phénomènes constituent un vrai problème pour les côtes Algériennes et en particulier, le site d'étude « la grande plage » qui se situe dans une zone vulnérable, soumise à des plusieurs contraintes d'ordre physique (la géomorphologie, la pente, l'élévation du niveau marin...etc.) et socioéconomique (la population, occupation du sol...etc.).

La lutte contre ces phénomènes exige une compréhension adéquate des processus fondamentaux qui entrent en jeu tels que : l'hydrodynamisme, la morphologie côtière, les facteurs climatiques (Températures, pluviométries, vents...), et les facteurs anthropiques.

C'est pour cette raison qu'il est indispensable de construire des outils permettant de bien prévoir les effets induits des ouvrages de protection de manière générale et de prédire les évolutions futures qui en résultent, d'où le recours à la modélisation numérique (**Dahmani A., 2016**).

Les ouvrages de protection du littoral sont parfois considérés comme un facteur aggravant le déséquilibre des systèmes côtiers (**Bernatchez et Dubois, 2004**). Les impacts les plus largement reconnus en zone intertidale sont la modification des conditions hydrodynamiques et du transport sédimentaire (**Kraus, 1988 ; Carter, 1988**). Certains environnements sont donc jugés inadéquats pour la mise en place de structures rigides, alors que d'autres sont jugés acceptables (**Kraus et Pilkey, 1988**). La connaissance des milieux porteurs et l'évolution des environnements anthropisés revêt donc une importance bien tangible.

L'objectif de notre étude, intitulée « influence des ouvrages de protection de la grande plage sur l'équilibre littoral de la baie d'Alger » vise à déterminer le degré d'impact de ces ouvrages sur l'évolution du littoral, en se basant sur la reconstitution du climat hydro-sédimentaire qui règne la zone d'étude avant et après la mise en place des ouvrages de protection en utilisant le SIG et le Mike 21 dans le contexte de la modélisation numérique.

## **L'organisation du mémoire**

De manière à traiter notre sujet, ce mémoire s'organise en quatre chapitres :

- **Le premier chapitre** est consacré à la synthèse des connaissances nécessaires pour traiter ce sujet. Il dresse un état de l'art concernant les concepts et les outils théoriques qui permettent de comprendre et d'expliquer le système côtier sableux, la morpho-dynamique côtière, l'hydrodynamisme et le transport sédimentaire.
- **Le deuxième chapitre** a fait l'objet d'une description complète de la zone d'étude, son cadre géographique et ces principales caractéristiques physiques.
- **Le troisième chapitre** se focalise sur l'étude granulo-sédimentaire, donnant l'approche d'analyse utilisée lors de cette étude, le traitement des données à travers des logiciels (Matlab et Excel), la représentation et interprétation des résultats en vue de décrire la situation de la zone d'étude.
- **Le quatrième chapitre** a pour objet d'une comparaison sur le plan bathymétrique avant et après l'installation des ouvrages de la grande plage pour obtenir à la fin des éléments de réponse à notre problématique.
- **Le cinquième chapitre** est réservé à l'étude de la dynamique hydro-sédimentaire du littoral de la baie d'Alger (Sablettes), précisément la grande plage.
- **Le sixième chapitre** est consacré au dimensionnement des ouvrages de protection et les essais réalisés pour avoir une meilleure estimation sur le choix de la variante.

# **CHAPITRE I : Généralités**

## 1. Généralités

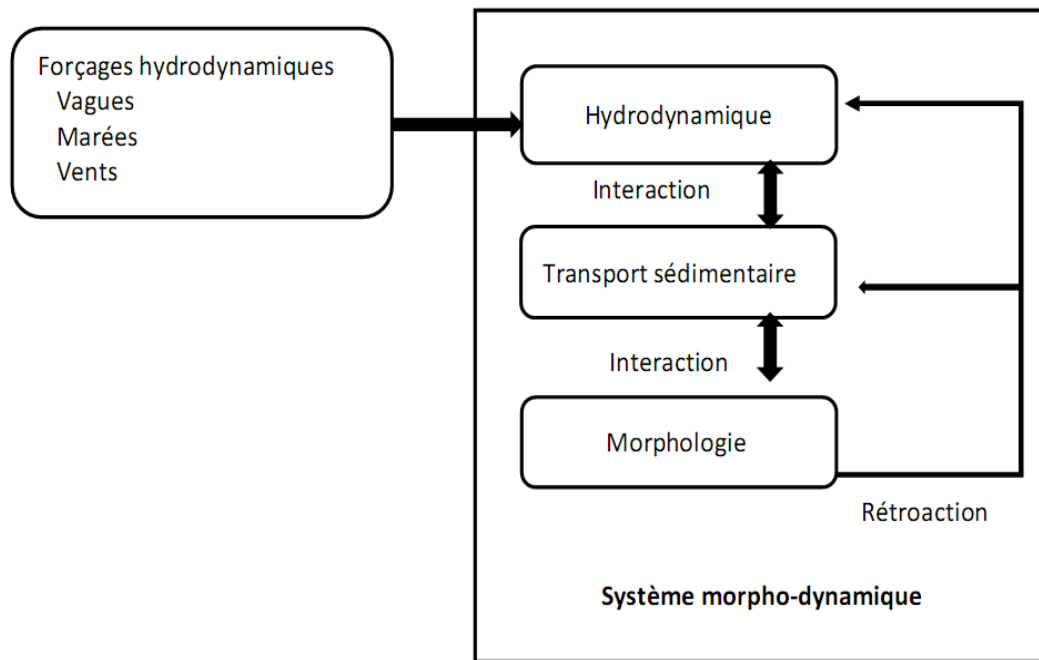
### 1.1 Le système littoral

Le littoral est une zone géométrique complexe où se rencontre la terre, la mer et l'atmosphère. Il comprend deux grandes unités de milieux rocheuses) et les côtes basses d'accumulation (vasières, grèves, les plages sableuses). Les plages qui agissent comme limite entre la terre et la mer, sont formées de sédiments mobiles de différentes tailles (boue, sables, graviers, galet, influencées par les conditions de forçages hydrodynamiques et les caractéristiques des systèmes côtiers environnantes. La plage se situe entre un point immergé en mer qui limite vers le large de l'action des houles sur le fond et un point terrestre marquant la limite supérieure de l'action des vagues (Ayadi, 2016).

Eminemment mobile les littoraux sableux sont des systèmes dynamiques qui peuvent être « stables », subir une érosion, ou bien avoir tendance à s'engraisser selon les forçages naturels auxquels ils sont soumis (Paskoff, 1998 ; Paskoff et Clus-Auby, 2007). Dans ces environnements, la tendance érosive naturelle est accélérée par des actions anthropiques (extraction du sable, aménagement près du littoral) qui ont introduit un déséquilibre dans les processus côtiers en limitant le volume de sable nécessaire au maintien des plages et à la stabilité du trait de côte (Paskoff, 1998).

### 1.2 La morpho dynamique côtière

Un système morpho dynamique est constitué d'un objet géomorphologique qui réagit aux variations d'une composante dynamique par un ajustement morphologique. Cette réponse est une tentative de mise à l'équilibre de la morphologie par rapport aux nouvelles conditions de forçages. Dans le cas des systèmes littoraux, la topographie des fonds côtiers est en constant ajustement avec la dynamique du milieu fluide. Cet ajustement morphologique est le résultat d'un gradient de transport sédimentaire (figure 1).



**Figure 1:** Composants d'un système morpho dynamique côtier (Cowell et Thom1994).

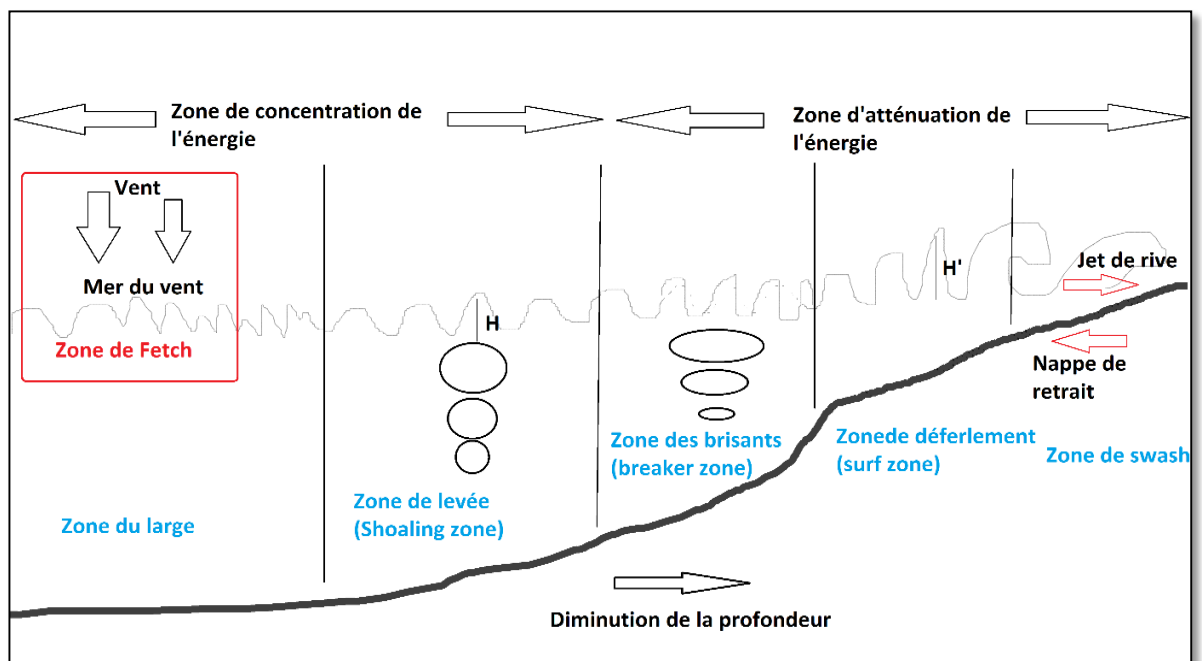
Une modification des forçages génère une modification de la dynamique des fluides, du transport sédimentaire et l'interaction de ces processus avec la morphologie initiale est à l'origine de la construction d'une nouvelle morphologie. Des phénomènes de rétroactions sur la dynamique des fluides et le transport peuvent être soit positifs ou négatifs (**Cowell and Thom, 1994**). Un processus d'autocontrôle renforce la tendance d'évolution du système en augmentant le déséquilibre. Alors qu'un processus d'autorégulation inverse la tendance et amène le système vers l'équilibre.

### 1.3 Hydrodynamique littorale

Les zones littorales sont des environnements dynamiques où se produisent de nombreuses interactions entre des différents agents de circulations hydrodynamiques. La majorité de ces agents sont des phénomènes oscillatoires qui se manifestent à différentes échelles spatio-temporelles (**Rihouey, 2004**). Une zonation du domaine côtier et de la plage s'effectue en fonction des processus hydrodynamique liés aux transformations des vagues lors de leur propagation (**figure 2**) :

- La zone du large (*offshore zone*) : Les vagues ne subissent aucune déformation liée à la topographie des fonds.

- La zone de levée (*shoaling wave zone*) : Siège d'interactions non-linéaires entre les vagues incidentes et le fond, est caractérisé par une augmentation de la hauteur des vagues  $H$  et une diminution de leur longueur d'onde  $L$ .
- La zone des brisants (*wavebreaking zone*) : Où le déferlement des vagues se produit lorsque la profondeur d'eau devient faible devant la hauteur des vagues.
- Zone de swash (*swash zone*) : c'est le lieu où se manifestent les processus de jet de rive et la nappe de retrait.



**Figure 2:** Processus hydrodynamiques induits par les vagues incidentes (Caron, 2017).

#### 1.4 Profil général d'une côte sableuse

Les plages sont des accumulations littorales de sédiments meubles, qui vont des sables fins (de 0.063 à 0.2 mm) aux blocs (supérieurs à 20 cm), susceptibles d'être mobilisés par le passage régulier des eaux marines ; on parle de grève lorsqu'elles sont constituées de galets.

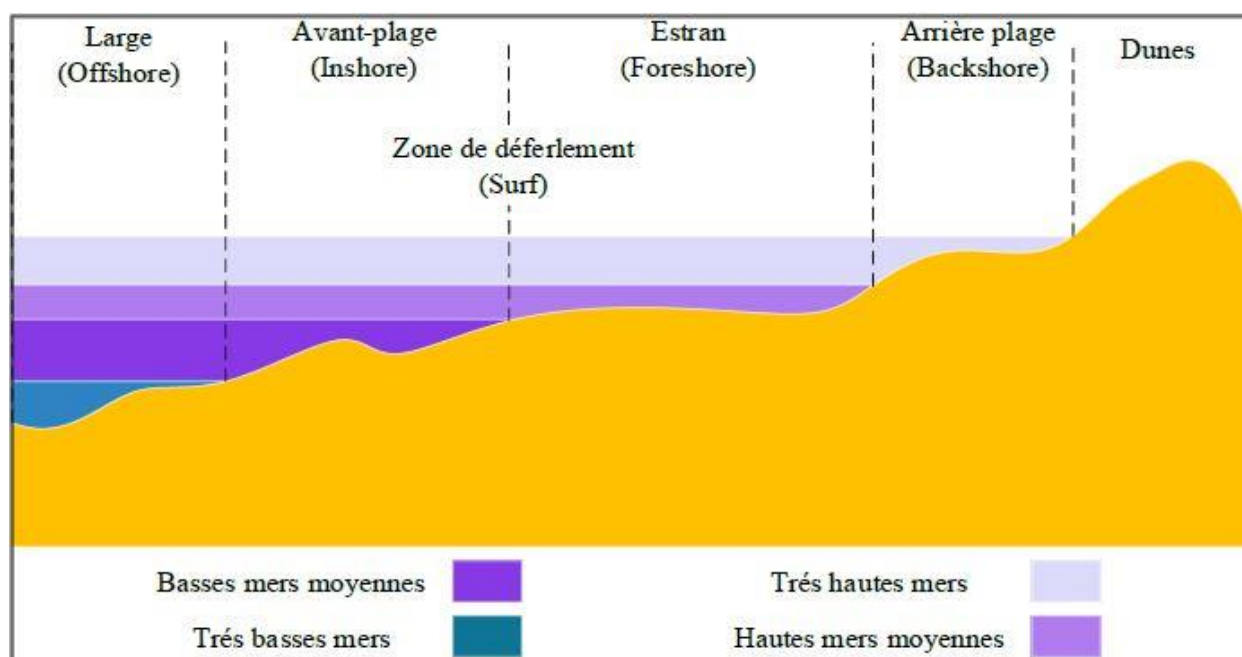
Les matériaux des plages proviennent des sédiments continentaux apportés par les fleuves, ils sont remaniés par l'action des houles et des dérives littorales qui peuvent les transporter vers le large. Ainsi, il se forme une plage dès lors que le volume de sédiments disponibles est supérieur au volume transporté. Les plages ont un profil transversal en pente douce, à allure faiblement concave. Leur pente varie en fonction du calibre des sédiments qui les constituent et des caractéristiques des vagues qui y déferlent. Le profil est abrupt quand les sédiments sont grossiers (Faye, 2010 in Nadir, 2016).

D'après la **(figure 3)** on peut distinguer entre les différentes zones des milieux littoraux qui sont **(Mezouar, 2009)** :

L'avant-côte : (ou "plage sous-marine", "avant-plage" ou encore "offshore") s'étend depuis le niveau des basses mers jusqu'à la plate-forme continentale.

La plage ou estran : ("beach" ou "shore" des anglo-saxons) est la partie du littoral sableux qui s'étend de la ligne des hautes mers jusqu'à celle des basses mers. On distingue généralement le haut de plage du reste de l'estran, cette frange supérieure étant submergée plus ou moins fréquemment, au gré des variations de la marée, contrairement à la moyenne et basse plage, quotidiennement soumises au balancement des marées.

Les dunes littorales : sont des accumulations éoliennes de sable marin, où la végétation joue un rôle de piège à sédiments en ralentissant les filets d'air.



**Figure 3:** Zonation des milieux littoraux (Beauchamp, 2005).

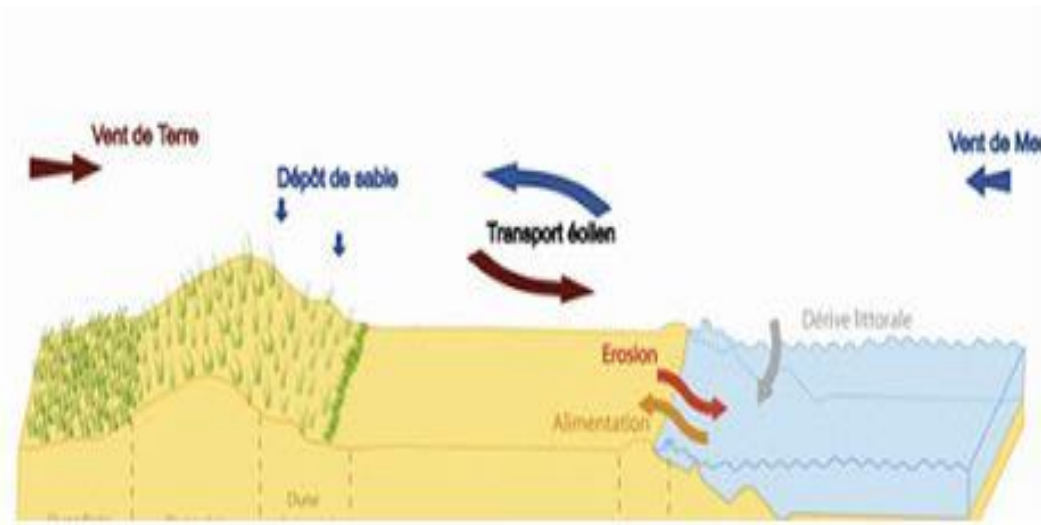
## 1.5 Les agents de la dynamique littorale

Comme nous l'avons déjà mentionné, les zones côtières constituent des milieux hautement dynamiques, leur comportement dépend fortement des énergies apportées par les processus hydrodynamiques, dont : le vent, la houle, la marée et les courants **(Caron, 2017)**.

### 1.5.1 Le vent

L'action du vent au niveau des littoraux peut se produire de deux manières ;

- Action directe, en déplaçant les sédiments sur les zones émergées (transport éolien (Migniot, 1990) (figure 4).



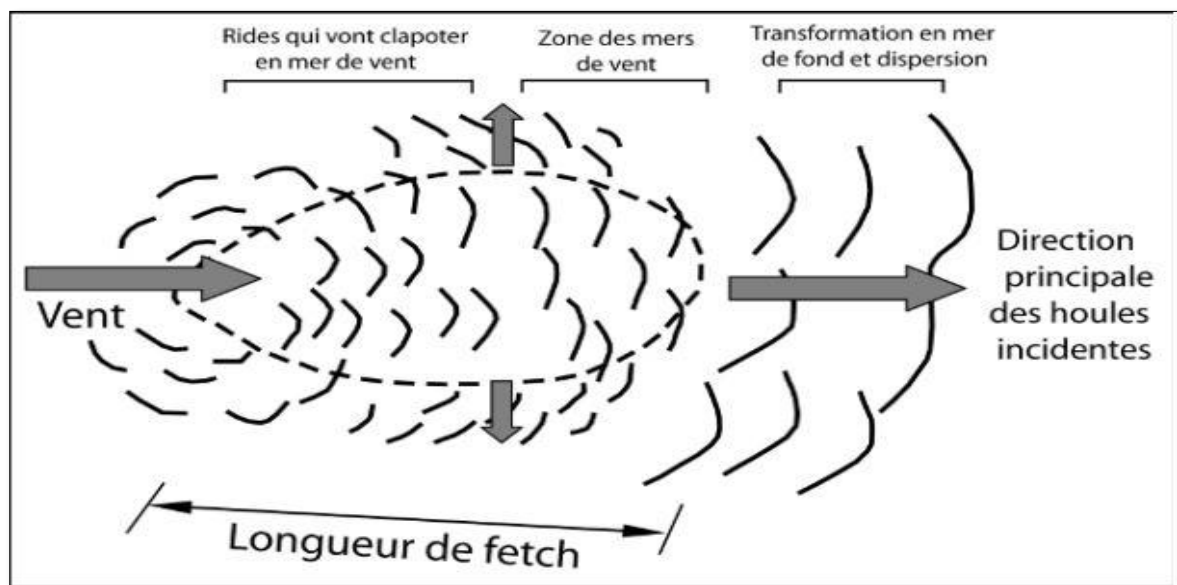
**Figure 4:** Action du vent sur le milieu littoral (<http://www.eid-med.org/Littoral/connaissances>)

- Action indirecte, en agissant sur la masse d'eau. En effet, le vent est responsable de la génération des houles et des mers de vent, soufflant du côté océan, est à l'origine des surcotes (élévation du niveau d'eau), il en résulte en plus un courant de fond dit de compensation dirigé vers le large (downwelling) qui peut être en partie responsable de l'érosion des fonds durant les périodes de tempêtes. Quant au vent qui souffle du côté continent, les eaux de surface sont repoussées vers le large (décote), il en résulte alors un courant du fond de compensation dirigé vers le continent et qui remonte à la côte (upwelling) (Héquette & Hill, 1993).

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

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

- Lorsque les vagues sont en formation et observées dans la zone de génération par le vent elles correspondent à “la mer de vent” (**figure 5**) : elles présentent un fort étalement directionnel, leurs hauteurs sont souvent irrégulières et leurs périodes comprises entre 2 et 8 s. Après leur formation, les vagues sont amenées à quitter la zone de génération et à se propager : elles présentent alors un aspect plus ordonné et leurs crêtes tendent à être parallèles entre elles et leurs périodes caractéristiques sont de l’ordre de 9 à 25 s. Ces vagues, nommées “houle océanique”, peuvent traverser les océans (**WRIGHT, Andrew, 1984**).



**Figure 5:** Génération et transformations des houles au niveau de la zone de fetch (Allousurf).

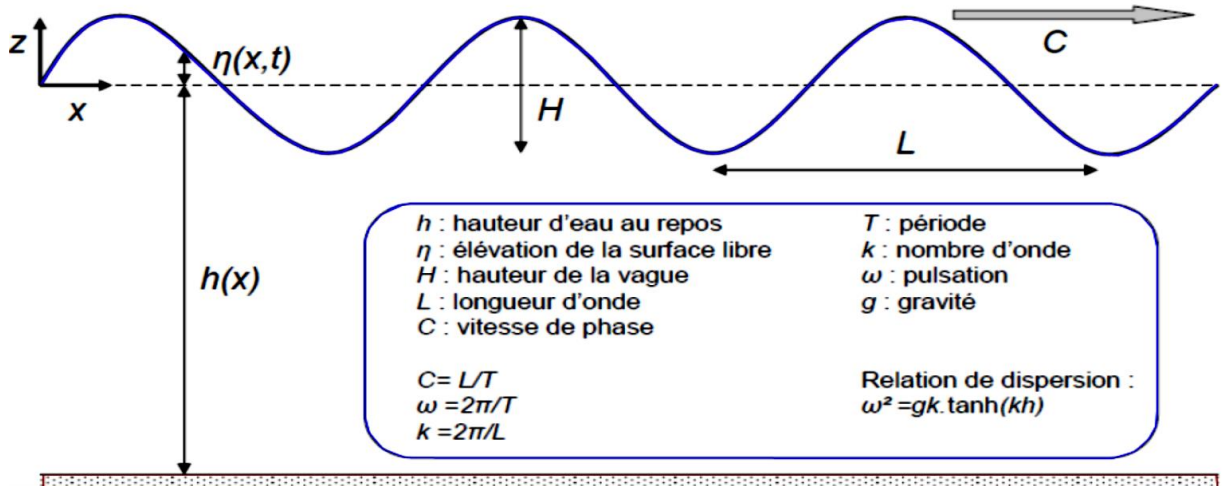
### 1.5.2 La houle

La surface de la mer présente généralement une suite indéfinie d'ondulations parallèles presque identiques qui se propagent de façon sensiblement uniforme vers le rivage. On appelle houle cet ensemble d'ondulations ou de vagues (**Bonnefille, 1992**).

Selon (**Grasso, 2009**), Elle est définie par (**figure 6**) :

- La hauteur (H) : correspondant à la distance verticale entre une crête et un creux.
- L'amplitude ( $A=H/2$ ).
- La période (T) : correspondant au temps couru entre deux crêtes ou deux creux successifs.
- La longueur d'onde,  $\lambda$ , correspondant à la distance horizontale entre deux crêtes ou deux creux successives, au large : ( $\lambda=gT^2/2\pi$ )

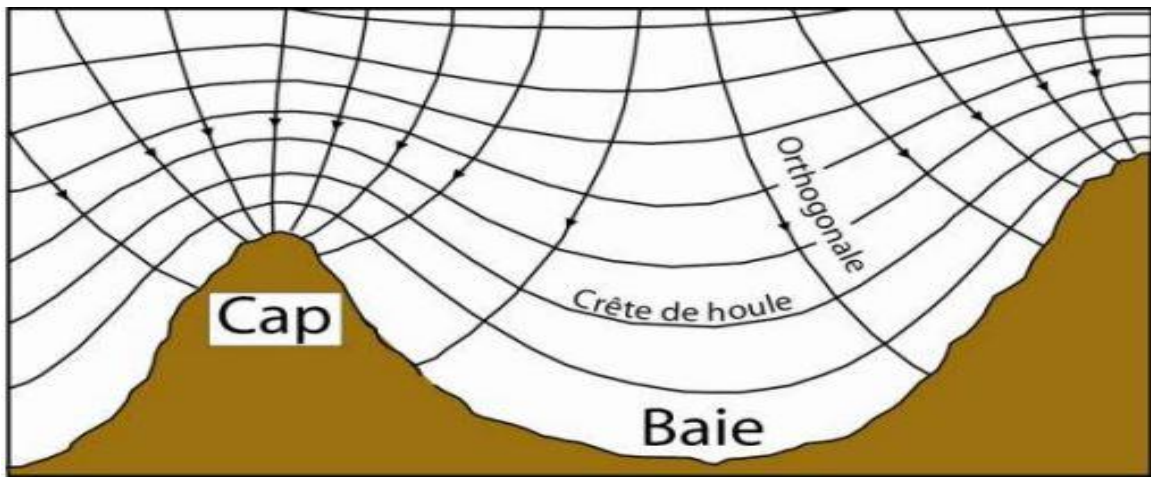
- Avec :  $g$  est l'accélération de la pesanteur.
- La fréquence angulaire : ( $\omega = 2\pi / T$ )
- Le nombre d'ondes : ( $K = 2\pi / \lambda$ )
- La célérité  $c$ , au large : ( $c = gT / 2\pi$ )



**Figure 6:** Représentation des grandeurs caractéristiques des vagues (Grasso, 2009).

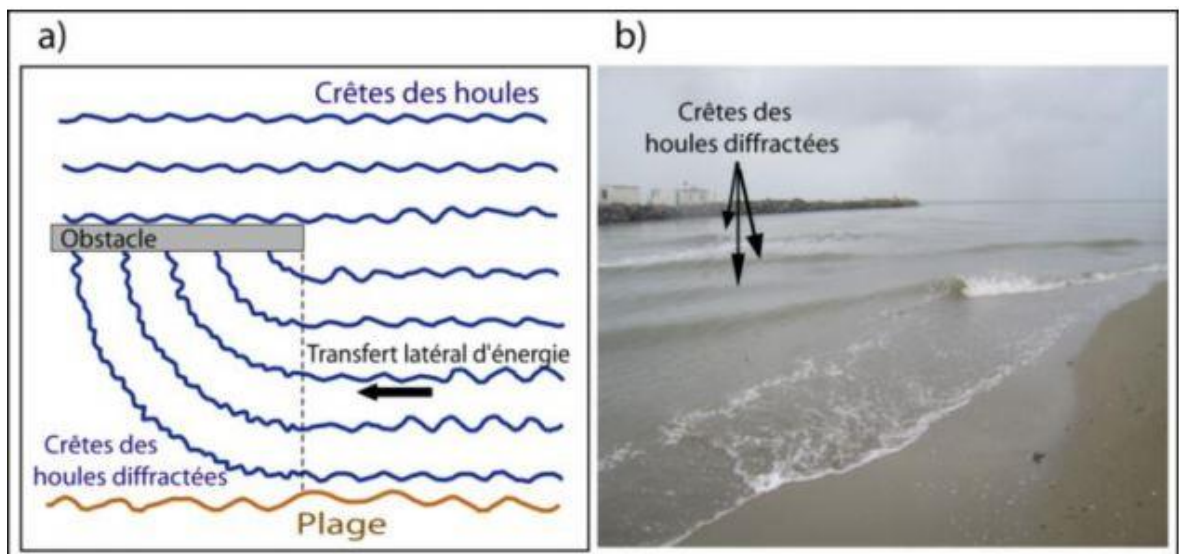
A l'approche de la côte, la houle va subir différentes transformations, suivant la bathymétrie des secteurs qu'elle traverse, et les obstacles qu'elle rencontre (**L'EID Méditerranée., SMNLR, 2005**) :

- La réfraction : Elle peut être définie comme étant une adaptation de la ligne des crêtes des houles incidentes à la bathymétrie, le frottement de la houle sur le fond entraîne une diminution de la vitesse et une modification de la direction de propagation et, de ce fait, la réduction de l'énergie transportée (**figure 7**).



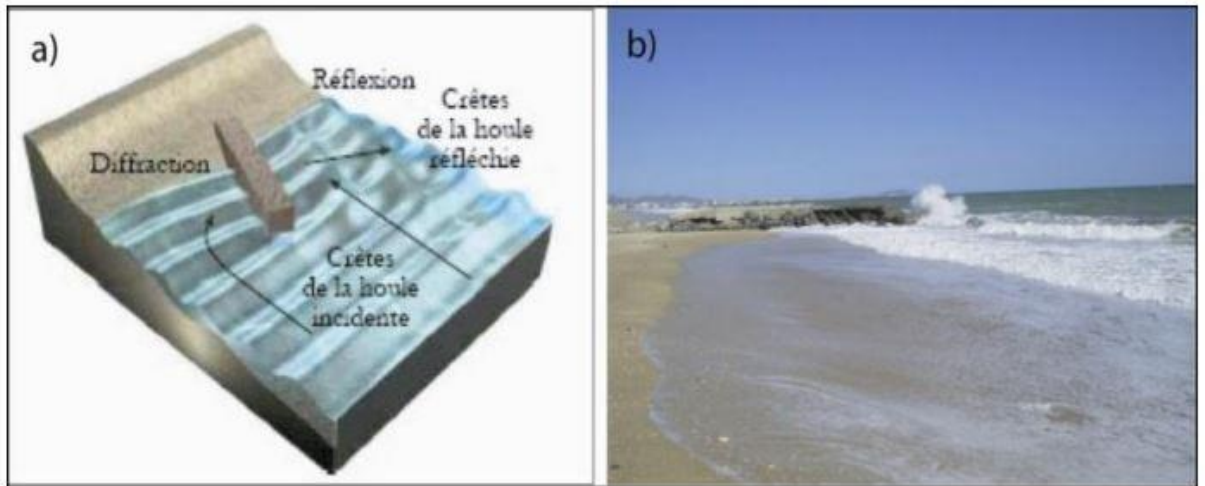
**Figure 7:** Illustration théorique du phénomène de la réfraction des houles incidentes. (Caron, 2017)

- La diffraction : c'est le phénomène par lequel une onde, en rencontrant un obstacle, génère à l'aval de celui-ci une onde circulaire de même période mais d'énergie décroissante (**figure 8**).



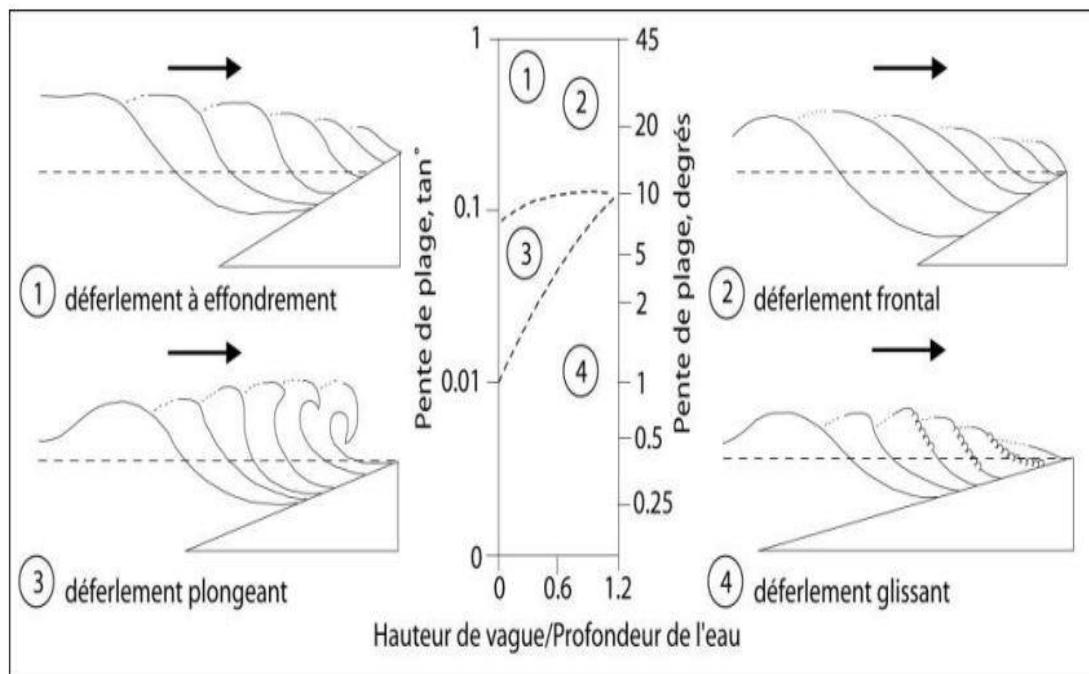
**Figure 8:** Illustration du phénomène de diffraction : a) Schématisation théorique ; b) au niveau de l'embouchure de l'oued Martil (Maroc) (22 /10/2008).

- La réflexion : quand la houle rencontre un obstacle, elle est réfléchiée dans une direction qui fait avec la perpendiculaire à l'obstacle un angle égal à l'angle d'incidence. La superposition des ondes incidentes et réfléchiées peut créer des oscillations bien plus grandes que celles de la houle incidente seule (**figure 9**).



**Figure 9:** Réflexion de la houle incidente à la rencontre d'un épi, la direction de réflexion fait avec la perpendiculaire à l'obstacle un angle égal à l'angle d'incidence : a) Schématisation théorique ; b) au niveau de la plage de Zemmouri.

- Le déferlement : la houle se brise en arrivant à de faibles profondeurs, puis déferle jusqu'au rivage. Le déferlement a une action très importante sur la morphologie du rivage et mobilise d'importants volumes de matériaux. C'est en partie à lui que l'on doit la formation des systèmes fausse-barre (**figure 10**).



**Figure 10:** Différents types de déferlement en fonction de la hauteur de la houle, profondeur de l'eau et la pente de plage (d'après Briggs et al. 1997) ; modifiée par El Mrini, 2011).

### 1.5.3 Les courants

Au niveau des zones côtières, la houle incidente est à l'origine d'une série de courants qu'on peut regrouper en trois grands groupes : les courants longitudinaux, les courants transversaux et les courants sagittaux. Ces courants sont capables de mobiliser les sédiments, si leur force est suffisante, et jouent donc un rôle primordial au niveau du façonnement de certaines formes qu'on rencontre au niveau des côtes. (Caron, 2017).

#### 1.5.3.1 Courants transversaux « cross-shore currents »

Pendant le « shoaling », la vitesse de l'eau près de la crête de la houle est plus importante qu'au niveau de son creux, il en résulte au niveau de la zone de déferlement la libération de l'énergie de la houle incidente dirigée vers le continent, et par conséquent la création d'un courant de compensation près du fond dit également de retour « undertow » orienté vers le large. L'intensité du courant est corrélée à l'énergie de la houle incidente (Greenwood & Osborne, 1990). Elle est maximale au milieu de la zone de déferlement (Masselink & Black, 1995) et décroît progressivement vers le large (figure 11).

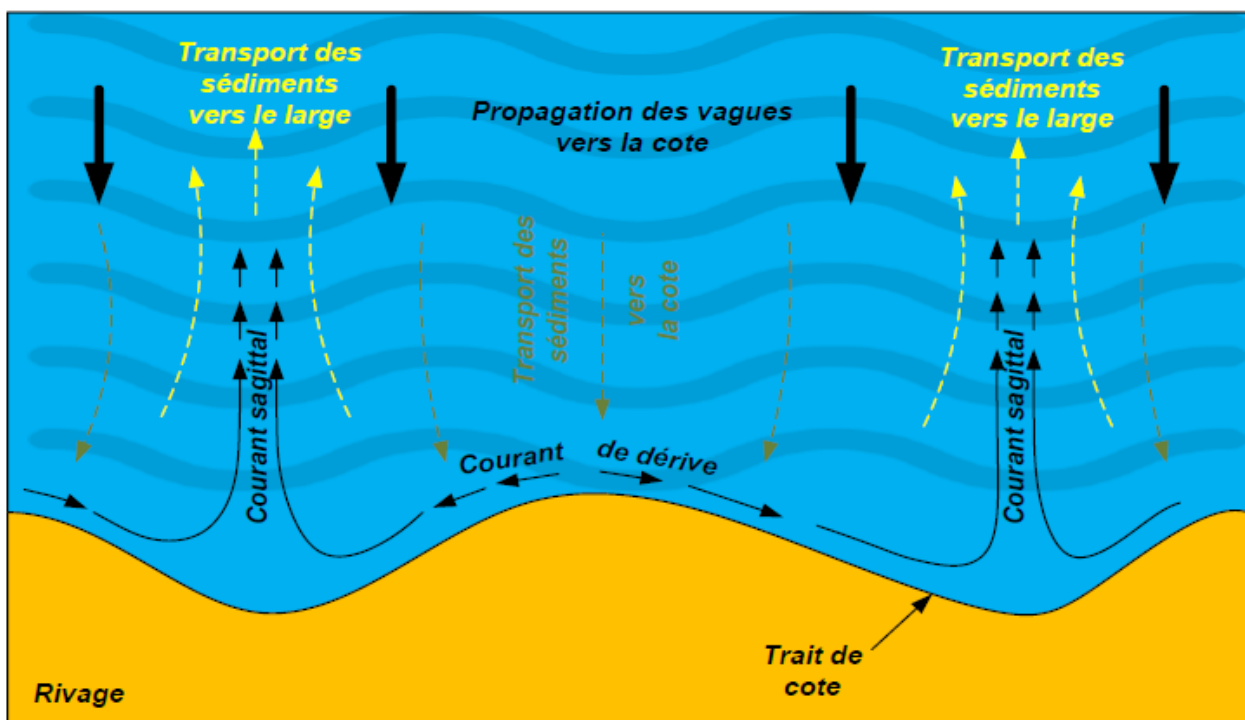


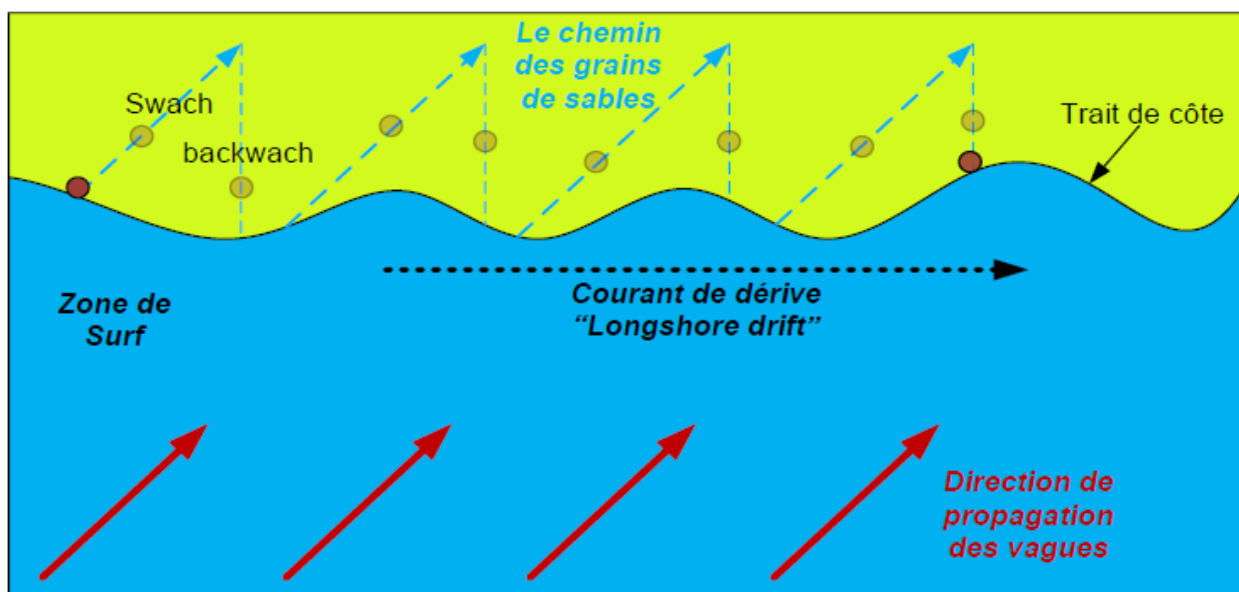
Figure 11: Schématisation du courant de retour et de sa structure verticale. (Mezouar, 2009).

Ce courant est responsable de la formation des barres sableuses et de leur migration en période de tempêtes et par conséquent contribue à l'évolution du profil de la plage (**Greenwood & Osborne, 1991 ; Putrevu & Svendsen, 1993**).

### 1.5.3.2 Courants longitudinaux « longshore currents »

C'est un courant qui a lieu quand les houles arrivent avec un certain angle d'obliquité à la côte, il est nommé également courant de dérive. Il joue un rôle important dans la redistribution des sédiments le long du littoral, il peut transporter de grandes quantités de charges solides sur plusieurs dizaines voire plusieurs centaines de kilomètres. Son intensité est maximale derrière le point de déferlement (**Castelle, 2004**).

Ce courant peut être généré également à cause d'un changement latéral dans les hauteurs des houles incidentes (**Benavente, 2000**). Le vent, quand il souffle parallèle à la côte, peut générer, intensifié ou contrecarrer ce courant (**figure 12**).

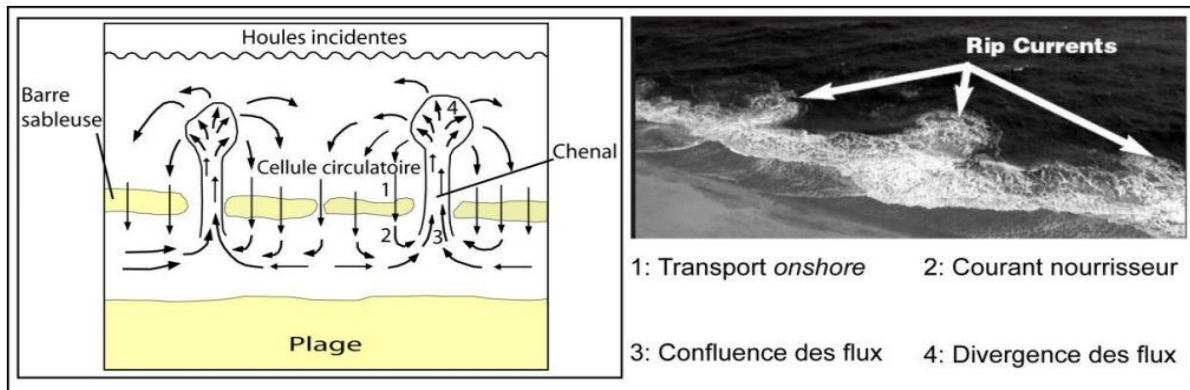


**Figure 12:** Le courant de dérive ou "longshore current" (Leyva, 2005).

### 1.5.3.3 Courants sagittaux « rip currents »

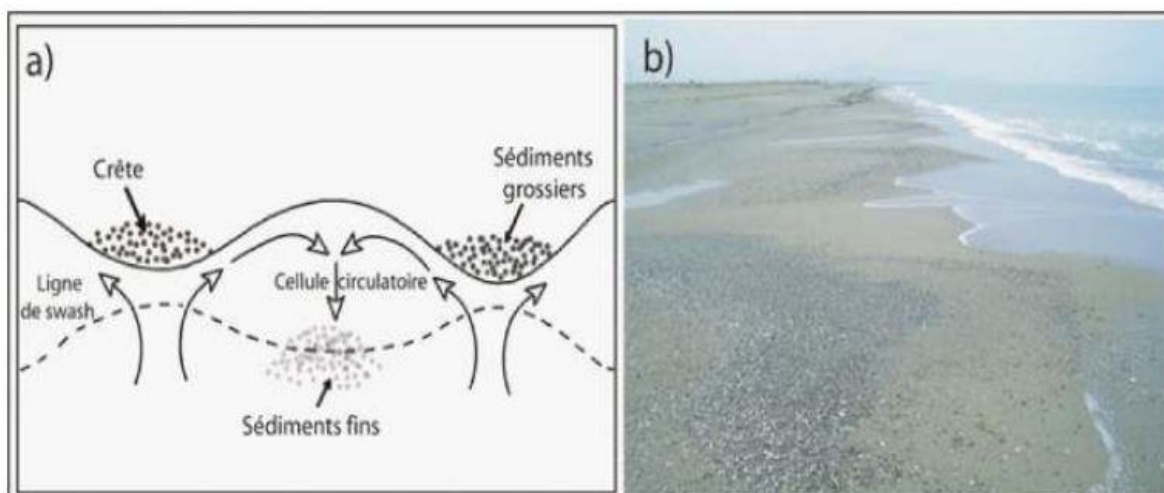
Les « rip currents » sont probablement les courants les plus observables au niveau du nearshore, ils sont souvent confondus avec l'« undertow ». Ces courants sont très intenses et prennent la forme d'un ensemble de cellules circulatoires d'eau et de sédiments, ils peuvent atteindre des vitesses moyennes de 1 m/s et des vitesses instantanées de 2 m/s (**Wright & Short, 1984 ; Short & Hogan, 1994 ; Aagaard et al., 1997 ; MacMahan et al., 2006**).

Quand les houles déferlent au niveau d'une plage qui présente des structures sédimentaires tridimensionnelles ou bien des structures anthropiques comme les jetées, il se crée une interaction complexe entre les vagues déferlantes, la compensation par un courant de retour aura lieu de préférence au niveau des chenaux ou bien des zones basses sous forme de deux courants symétriques parallèles à la côte qui forment des cellules circulatoires dirigées vers le large. (Figure 13).



**Figure 13:** Schématisation des rip-currents au-dessus d'un système de barres sableuses (à gauche) et photo aérienne de courants sagittaux au-dessus d'une plage sableuse.

Ces courants s'expriment morphologiquement par la formation des croissants de plage « beach cusps », ce sont des corps sédimentaires tridimensionnels de forme conique, rythmiques et espacés régulièrement avec des successions des crêtes et des chenaux, formés généralement par des sédiments plus grossiers que les sédiments dominants de la plage où on les rencontre. (Figure 14).



**Figure 14:** a) Schématisation des croissants de plage, b) croissants de plage au niveau de la plage de Sidi Fredj.

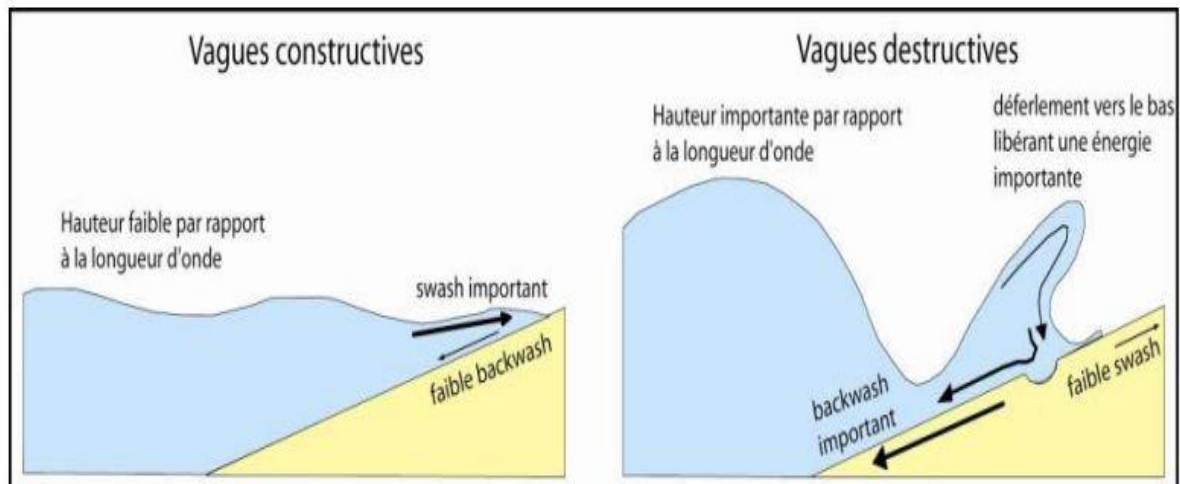
La morphologie de ces corps dépend fondamentalement de la taille des grains, de la pente et du marnage (**Komar, 1983**), les croissants de plage se développent davantage dans des plages graveleuses ou à sables grossiers, avec un faible marnage, ce qui contribue à l'augmentation de leur pente (**Benavente, 2000**).

#### **1.5.3.4 Jet de rive et nappe de retrait « uprush-backwash »**

Au niveau de la zone de « swash » (zone de transition entre la zone de déferlement et la plage), il y a deux courants opposés sous forme d'oscillations périodiques d'une mince couche d'eau, le premier est en direction de la plage appelé jet de rive « uprush ou swash », et le second, orienté vers le large appelé nappe de retrait « backwash ».

L'intensité de ces courants est régie par : la période des houles incidentes, la pente de la plage et la texture des sédiments. Sur les plages pentues (réflectives), la dissipation de l'énergie est peu importante et la zone de swash est dominée par la houle incidente, alors que sur les plages dissipatives, l'énergie incidente est dissipée et seules les ondes infra gravitaires arrivent le plus loin sur la plage, ces ondes longues ont donc un effet notable sur l'hydrodynamisme de cette zone (**Ruessink et al., 1998a ; Butt & Russell, 2000**). La texture des sédiments de la plage peut, soit intensifier ces courants par exfiltration, ou bien l'atténuer par infiltration (**Butt et al. 2001; Degryse-Kulkarni et al, 2004 ; Austin & Masselink, 2005**).

Ces courants ont une grande capacité de mobilisation des sédiments, ils peuvent être soit destructifs avec un fort pouvoir érosif, dans ce cas le backwash est plus important que le swash, ou bien constructif (le swash l'emporte cette fois ci sur le backwash) favorisant ainsi la formation les barres de swash. (**Figure 15**).



**Figure 15:** Représentation schématique des vagues constructives et destructives. (Caron, 2017).

Pour les vagues constructives : le déferlement apporte les matériaux vers la plage et les dépose pendant le swash. Le courant de backwash perd son énergie en s'infiltrant dans le sédiment.

Pour les vagues destructives : ils sont souvent hautes et fréquentes, le swash n'a pas suffisamment de temps pour se dissiper.

Parmi leurs effets, les courants ont la capacité de réfracter les vagues. Ainsi, les variations de courant modifient la vitesse de phase des vagues et induisent une réfraction. La direction de propagation est alors modifiée et n'est plus perpendiculaire aux crêtes mais s'oriente parallèlement au courant. La forme des vagues est aussi modifiée. Les courants peuvent aussi bloquer les vagues lorsque leur direction de propagation est opposée à la direction des courants, et quand l'intensité du courant est supérieure à leur vitesse de groupe. Les vagues sont alors stoppées (Nadir, 2016).

#### 1.5.4 Les marées

La marée est un mouvement oscillatoire du niveau de la mer engendré par l'attraction de la lune et du soleil sur les particules fluides des océans (Bougis, 2003).

Ce mouvement pourrait être comparé à la houle car, dans les deux cas, les molécules d'eau décrivent des trajectoires fermées dans un plan vertical. Mais, à la différence de la houle, la longueur d'onde de la marée est toujours bien supérieure à la profondeur des océans. Il en résulte que le mouvement dû à ce phénomène intéresse toute la hauteur d'eau (Brière, 2005).

Dans les côtes algériennes, l'amplitude de la marée n'est pas importante, le marnage est de l'ordre de 20 à 30 cm en pleine lune et de 5 à 15 cm en nouvelle (Amarouche, 2015).

## 1.6 Transport sédimentaire

La plupart des sédiments (plus de 90%) sont transportés en suspension, le reste est transporté près du fond par charriage. En raison des caractéristiques directionnelles, le transport des sédiments côtiers peut être divisé en transport transversal des sédiments (perpendiculaire à la côte) et dérive littorale des sédiments (parallèle à la côte). Le transport transversal des sédiments induit des changements morphologiques à court terme, par exemple en cas de tempête. La dérive littorale des sédiments provoque des changements morphologiques à long terme. Elle se produit dans les zones étroites des côtes. La direction et l'amplitude du transport des sables sont principalement déterminées par la hauteur, la direction et la période de la houle. En principe, sous l'effet de la houle incidente, les sédiments se voient transportés du large vers la côte et sous celui de la houle réfléchie, les sédiments sont déplacés dans la direction opposée. (Van Rijn, 1993).

### 1.6.1 Les différents modes de transport

Le taux de transport solide total est calculé de la manière suivante (Mezaour, 2009) :

$$Q_t = Q_c + Q_s$$

- $Q_t$  = Le taux de transport total (en  $m^3/s/m$ )
- $Q_c$  = Le transport par charriage (en  $m^3/s/m$ )
- $Q_s$  = Le transport en suspension (en  $m^3/s/m$ )

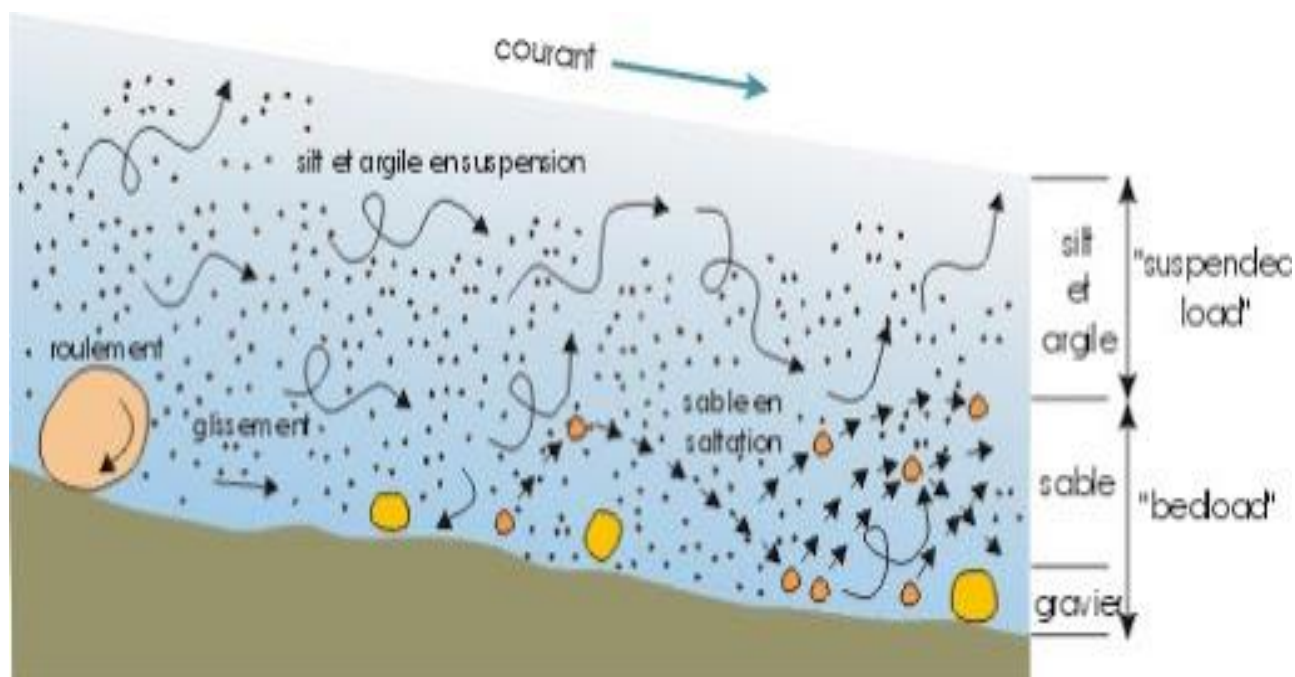
Le taux de transport représente le volume de matériaux transportés par unité de temps et par unité de longueur. Il s'exprime en  $m^3/s$  et peut être interprété comme le flux des concentrations et intégré sur la hauteur d'eau.

#### 1.6.1.1 Transport par charriage

Les grains de sable peuvent être transportés par le courant en glissant sur le fond, en roulant ou encore en faisant des petits « sauts ». Dans ce mode de transport, les sédiments sont en contact avec le fond (sauf pour de très courtes durées pendant le « saut »). Sur les plages sableuses, ce mode est généralement favorisé par la présence de conditions peu énergétiques et/ou de sédiments grossiers.

### 1.6.1.2 Transport par suspension

Les sédiments peuvent être arrachés du fond (par turbulence ou par la présence d'un courant suffisamment intense), les grains de sable sont advectés par l'écoulement et sont transportés dans la colonne d'eau. Lors d'un tel transport, le sédiment ne touche plus le fond pendant de longues périodes. Ce mode est favorisé par la présence de conditions énergétiques et de sédiments fins (**figure 16**).



**Figure 16:** Transport sédimentaire (Boulvain, 2020).

Le transport en suspension est possible lorsque la vitesse d'initiation du mouvement des sédiments est dépassée et surtout quand les forces verticales dirigées vers la surface engendrée par la turbulence et les vortex, sont supérieures à la vitesse de chute des particules. C'est pourquoi la fraction fine est facilement mobilisable mais nécessite un milieu quasiment immobile pour pouvoir se déposer.

#### 1.6.1.2.1 Le rôle des courants moyens dans le transport sédimentaire

Les différents courants décrits précédemment contrôlent une grande partie du transport sédimentaire. Lorsque l'incidence de la houle est oblique, les vagues induisent un courant de dérive. Ce courant contribue donc au transit sédimentaire en déplaçant des volumes importants de sédiments d'un endroit à un autre le long de la cote, que l'on appelle « dérive littorale ». Cette dérive littorale contrôle ainsi les apports sédimentaires le long de la cote.

Le courant de retour peut également induire un intense transport sédimentaire vers le large en particulier pendant les épisodes de tempête. Il peut ainsi exposer la plage à l'érosion et provoquer des mouvements importants des barres sédimentaires perpendiculairement à la cote (**Abdellaoui Aimen, Benbetka Youcef, 2017**).

Les courants sagittaux peuvent transporter une grande quantité de sédiments loin au large. La zone où ce courant agit étant étroite. Le courant sagittal contribue à couper les barres sédimentaires et donc aux instabilités des bancs de sable le long de la cote. De plus, les courants sagittaux sont généralement associés à des cellules de circulation des courants moyens. Un tel système de courants va alors contribuer à des échanges sédimentaires importants entre la zone de déferlement et la plage sous-marine (**Than, 2015**).

#### **1.6.1.2.2 Le rôle de l'asymétrie des vagues dans le transport sédimentaire**

Les vitesses orbitales associées aux vagues peuvent aussi intervenir dans le transport sédimentaire, par les deux mécanismes suivants, tout d'abord, la vitesse orbitale des vagues favorise la mise en suspension des sédiments dans la colonne d'eau. Ces sédiments sont ensuite transportés par les courants moyens. Les contraintes de cisaillement au fond sont bien plus importantes en présence d'un courant moyen et de mouvements orbitaux qu'en présence d'un courant moyen seul. La principale conséquence de la présence de ces vitesses orbitales est la formation d'un transport sédimentaire net vers le rivage. En effet, en arrivant en eau peu profonde la houle devient asymétrique. Ainsi hors de la zone de déferlement, il se forme une vitesse nette au fond dans la direction de la cote qui peut induire un transport sédimentaire important vers la plage. C'est ce mode de transport qui est responsable de l'état d'accrétion des plages pendant les épisodes des vagues peu énergétiques. Par contre, dans la zone de déferlement, le courant de retour induit souvent un transport sédimentaire vers le large plus intense que celui induit par l'asymétrie des vagues. (**Than, 2015**).

# **CHAPITRE II : Présentation du site d'étude**

### Introduction

Dans ce chapitre, on a parlé sur des généralités de la zone d'étude ou on a effectué notre stage au sein de MEDITARAM

Cette entreprise Publique Economique Méditerranéenne des Travaux Maritimes **EPE MEDITRAM** est issue de la Société Mère SONATRAM (Société Nationale des Travaux Maritimes) créée en 1970.

La Nouvelle Société Mère **MEDITRAM** a été créée en Décembre 1997, à la suite de la cession par le Holding Public Réalisation des Grands Travaux des actions des Entreprises Publiques Economiques EPE SOTRAMO (Société des Travaux Maritimes de l'Ouest), et EPE SOTRAMEST (Société des Travaux Maritimes de l'Est) au profit de SONATRAM.

Avec la création de la filiale EPE ALDIPH (Algérienne de Dragage des Infrastructures Portuaires et Hydrauliques) en 1998, Le nouveau groupe GITRAMA est alors composé de plusieurs entreprises entre autre l'entreprise **EPE MEDITRAM** basée à Réghaia (Alger).

### 1. Situation géographique

#### 1.1. Baie d'Alger

La baie d'Alger se situe dans la partie centrale de la côte algérienne, elle s'inscrit en creux dans la plaine de la Mitidja. Elle est délimitée par Rais Hamidou (Pointe Pescade) à l'Ouest, le Cap Matifou (Tamenfoust) à l'Est, au Sud la ville d'Alger et le bassin de la Mitidja, et au Nord par la mer Méditerranée.

#### 1.2. Site d'étude

Le site des « Sablettes » est situé sur la rive occidentale de la baie d'Alger. Ils s'étendent de l'embouchure de Oued El Harrach jusqu'à la station de dessalement d'eau de mer d'El Hamma, sur 5 km et au Sud par l'autoroute de l'Est (**figure 17**). La côte, orientée sensiblement O-N-O à E-S-E, fait face principalement aux agitations venant du Nord et du secteur Nord- Est.

La ligne de rivage se présente sous forme d'une ligne figée par une protection frontale en enrochements. Des bancs sableux sont localement visibles au pied de la protection en basse mer et au gré des saisons.

La présence de l'embouchure de l'oued El Harrach immédiatement à l'Est représente avec l'Oued El Hamiz plus à l'Est, les principales sources pour l'alimentation de la baie d'Alger en matériaux meubles.



**Figure 17:** Situation géographique de la zone d'étude (Google earth pro 2020).

## 2. Le projet d'aménagement de la baie d'Alger

Afin d'accompagner et favoriser la croissance, dans une vision de développement durable, les pouvoirs publics engagent un plan d'aménagement et de développement sans précédent, et envisagent de grands travaux d'infrastructures, d'équipements et d'embellissement de la ville d'Alger » (Arte Charpentier Architectes, 2013).

### 2.1. Le contenu du projet

Selon le PDAU d'Alger, la mise en œuvre des différents projets va s'étendre jusqu'en 2029 en distinguant trois phases :

- Courte terme :2009-2014,
- Moyen terme : 2014-2024 ,
- Long terme : 2024-2029.

La première phase de mise en œuvre des projets est stratégique à plus d'un titre. Tout d'abord, elle permet d'amorcer le renouveau d'Alger par des opérations emblématiques qui vont contribuer à renforcer son rayonnement à l'échelle régionale, nationale et internationale. Ensuite, le choix des projets et leur bonne mise en œuvre vont déterminer la mise en place ultérieure des projets stratégiques à moyen, moyen-long et long terme. (LEM 2014).

### 2.2. Description du projet des « Sablettes »

Les Sablettes est un endroit qui constitue le prolongement des travaux d'aménagement de Oued El Harrach dont l'embouchure et les extensions des deux rives forment au final une promenade qui s'étend sur 5- kilomètres.

La totalité du projet auquel 19 milliards de dinars.

Le projet concerne également l'extension vers la mer sur une largeur de 80 à 100 m, comme il comporte aussi des jetées et des épis pour sécuriser le littoral.

Le projet représente de nombreux avantages économiques et sociaux pour la capitale, car la jetée sera aménagée afin de permettre l'accostable dans les transports maritimes. La deuxième jetée est en cours de réalisation et s'étend sur 750 mètres linéaires. Les petites et moyennes embarcations pourront y accoster.

Une digue de 210 m a également été réalisée. Elle permettra la création d'une plage de 2 km sur le côté ouest. Les critères de protection de l'environnement sont intégrés dans le projet.

Une piste cyclable, une autre piétonne, plusieurs transversales et une esplanade ainsi qu'une promenade en pavés de 3,5 km, une jetée de 420 m et un parking ont aussi été réalisés (<https://www.elwatan.com>, 2018).

### 3. Cadre Géomorphologique

La baie d'Alger composée essentiellement de plages de poche, de promontoires rocheux et de falaises subit une érosion significative (Maouche. 1987). De nombreuses structures de protection ont été construites pour limiter le recul du rivage (mur de soutènement, brise-lames...) sans que ces équipements montrent une réelle efficacité à moyen terme. Une variabilité météorologique élevée est caractéristique des zones étudiées, avec une alternance de périodes de sécheresse et de pluies exceptionnelles, qui ont provoqué par le passé plusieurs désastres (Djellouli et Saci, 2003). Plusieurs oueds débouchent dans la baie, dont les plus importants sont l'oued El Harrach, l'oued El Hamiz et l'oued Koriche, caractérisés fréquemment par des inondations comme ce fut dramatiquement le cas en 2001 pour ce dernier. La plaine est aussi bordée par la présence des reliefs prononcés (zone est, mont de Bouzareah)

qui sont sujets à des glissements de terrain, des risques de coulée de boue... (EGIS EAU et al. 2013).

Le plateau continental de la baie d'Alger est large d'environ 9 km. Cependant, aux deux points extrêmes de la baie, on constate qu'il se réduit à une largeur maximale de 1 km. Le fond de la baie est en pente douce uniforme de l'isobathe 0 m à celle des 100 m (PAC, 2004).

### 4. Cadre géologique

La géologie de la région algéroise connue sous le nom de massif d'Alger est constituée d'un socle métamorphique primaire, bordé de part et d'autre de dépôts sédimentaires du Sahel et de la Mitidja (figure 18).

- **Le Primaire** : Les terrasses primaires forment les massifs d'Ain Benian, de Bouzareah (massif d'Alger) et ces prolongements vers Sidi Fredj à l'ouest et Bordj El Bahri à l'est. Ces massifs sont constitués de roches cristallophylliennes de nature pélitique et carbonatées (gneiss, schiste, calcaire) recoupées par des épisodes éruptifs d'âge tertiaire (Glangeaud, 1932).
- **Le Secondaire** : Plus connu dans la région blidéenne (atlas blidéen). Il ne touche pas la région d'Alger.
- **Le Tertiaire** : Marqué par le Miocène et le Pliocène qui recouvrent en discordance les faciès métamorphiques par des grès grossiers sableux et des marnes à lentilles de calcaires (Benallal et Ourabia, 1989).
- **Le Quaternaire** : Il comporte plusieurs faciès lithologiques d'origine marine et continentale (Glangeaud et al, 1952).

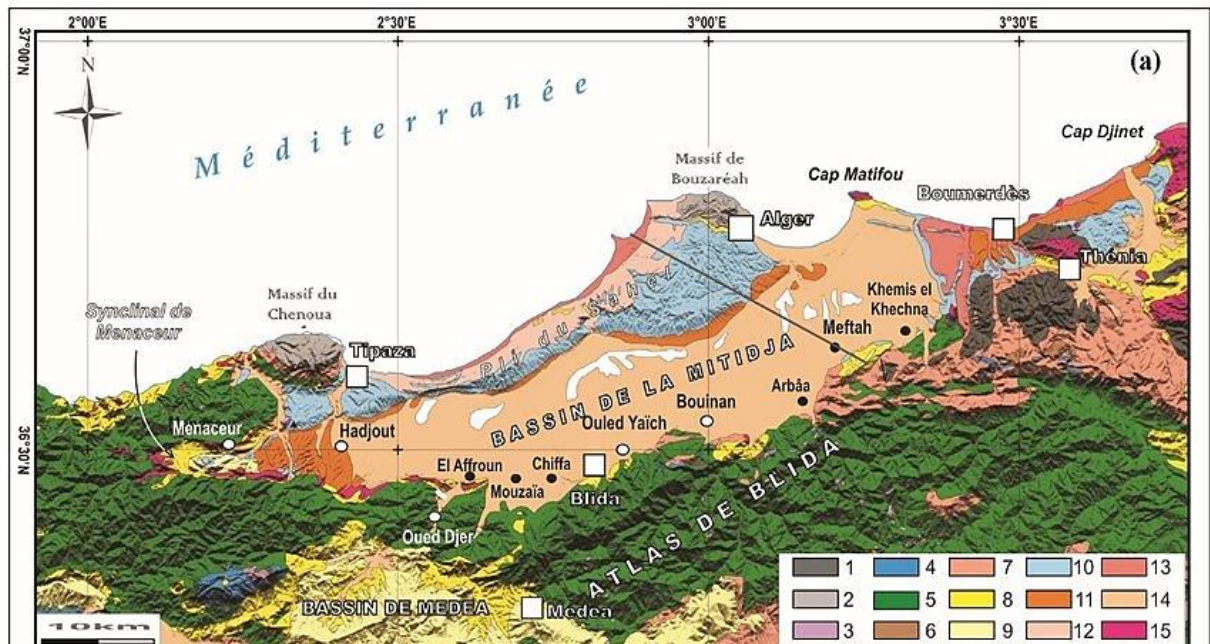


Figure 18: Carte morpho-géologique du bassin de la Mitidja et ses environs (Domzig, 2006)

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

#### 4. Cadre sédimentologique

Les zones entre le port et cap Matifou où se situe notre zone d'étude sont caractérisées par leur nature sableuse qui leur donne une particularité fragile aux agressions marines (LEM, 1996). Le littoral de la zone d'étude est caractérisé par des dépôts sédimentaires récents du quaternaire qui amènent à la formation des plages. (Figure 19).

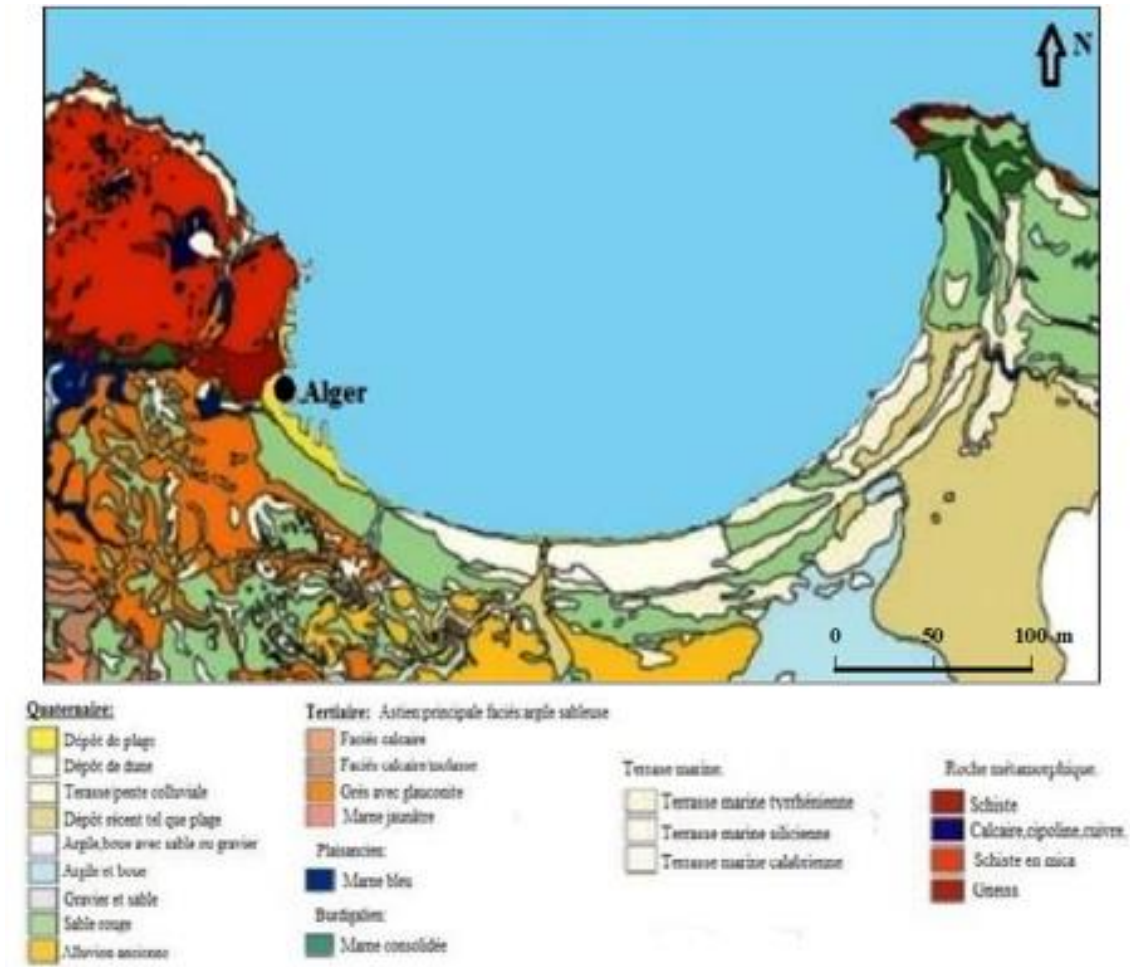


Figure 19: Carte sédimentologique de la Baie d'Alger (LEM, 1996).

## 5. Cadre météorologiques

La connaissance des conditions météorologiques et hydrologiques est très importante pour une bonne compréhension des régimes hydrodynamiques régnant dans notre zone d'études. (Abderrahmanl et Khedimi, 2008).

Les données climatiques utilisées pour notre diagnostic sont extraites du site rp5.ru sur une période de 11 ans allant de 2008 jusqu'à 2019.

### 5.1. Température

La baie d'Alger se caractérise par un climat méditerranéen tempéré. Elle est connue par ses longs étés chauds et secs. Les hivers sont doux et humides, il fait généralement chaud surtout de la mi-Juillet au mi-Aout.

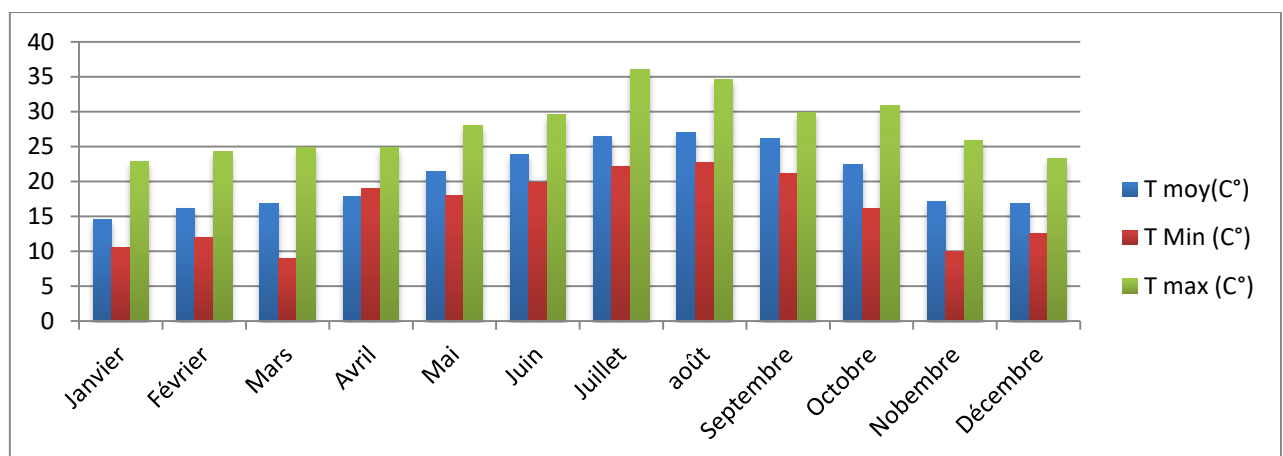
D'après le (tableau 1) et la (Figure 20), l'analyse des températures moyennes mensuelles du littoral présente une période estivale caractérisée par des températures qui sont relativement

élevées avec 27 °C en Août, 26,5°C pour juillet et 23.8°C au mois de juin, Quant au mois le plus froid est celui de Janvier avec 14,7°C.

La valeur maximale de la température est enregistrée durant le mois de juillet avec une valeur de 36°C, tandis que la température minimale est enregistrée durant le mois de Mars qui ne dépasse pas 8,9°C.

**Tableau 1:** Tableau représentatif des valeurs des températures minimales, moyennes et culminantes (rpr.ru).

<i>Mois</i>	<b>T moy (C°)</b>	<b>T Min (C°)</b>	<b>T max (C°)</b>
<b>Janvier</b>	14,7	10,6	22,9
<b>Février</b>	16,2	12	24,3
<b>Mars</b>	16,8	8,9	24,8
<b>Avril</b>	17,9	19	24,8
<b>Mai</b>	21,4	18	28
<b>Juin</b>	23,8	19,8	29,6
<b>Juillet</b>	26,5	22,1	36
<b>Aout</b>	27	22,7	34,6
<b>Septembre</b>	26,1	21,2	29,8
<b>Octobre</b>	22,4	16,2	30,9
<b>Novembre</b>	17,2	9,9	25,9
<b>Décembre</b>	16,8	12,6	23,3



**Figure 20:** Diagramme de température. (rp5.ru, Années).

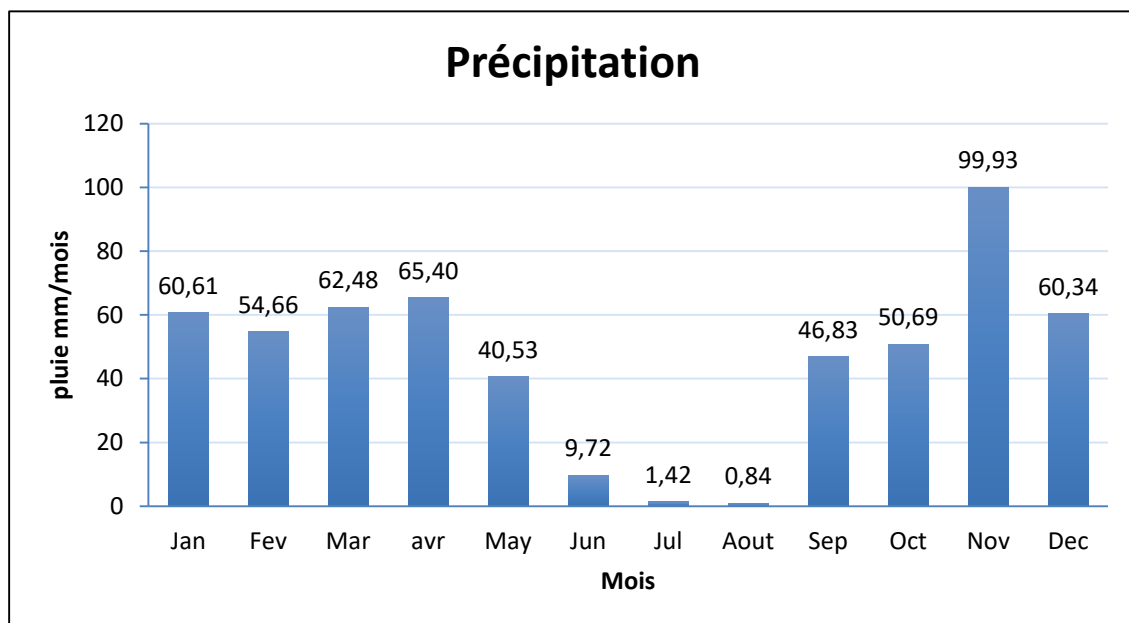
## 5.2. Précipitations

D'après la (figure 21) et le (tableau 2), On observe un taux considérable de précipitation durant l'hiver et l'automne (période humide), qui diminue pour atteindre un minimum en été au mois d'août (période sèche).

Les précipitations se concentrent de mois de (Novembre jusqu'en Février), avec un maximum hivernal de 99.93mm en novembre ; celles-ci diminuent progressivement du mois de Mai pour devenir faibles de (Juin jusqu'en Août) avec un minimum de 0.84 mm en août.

**Tableau 2 :** Tableau représentatif des valeurs de précipitations moyennes.

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juillet	août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
<b>P (mm)</b>	60.61	54.66	62.48	65.40	40.53	9.72	1.42	0.84	46.83	50.69	99.93	60.34



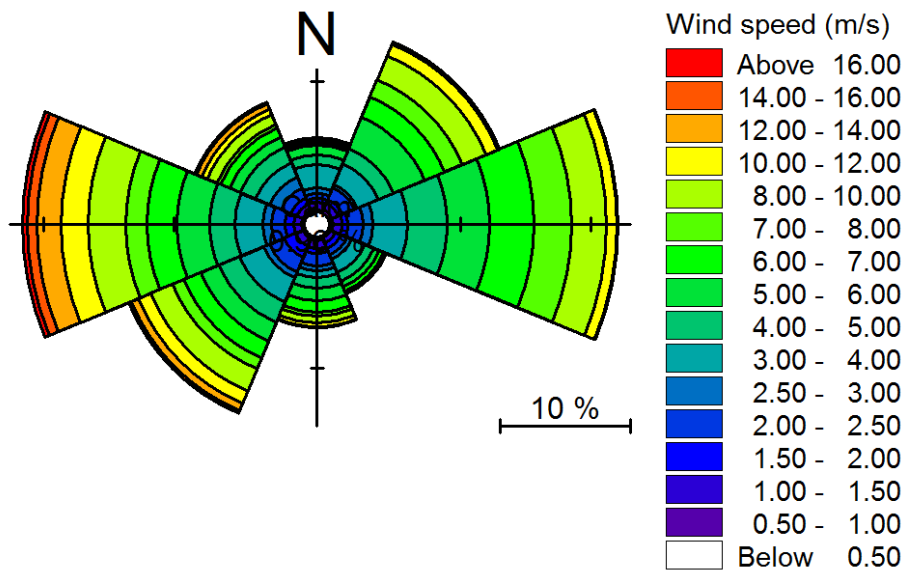
**Figure 21 :** Histogramme des taux de précipitation par mois au niveau de la baie d'Alger (rp5.ru, 2008/2019).

## 5.3. Vents

Dans ce présent travail on a utilisé la base des données du site des observations météorologiques «<https://era5s>» couvrant une période de 1 an au niveau de la station de Dar El Beida. Les données sont présentées sur la figure 23 suivants :

Ces résultats nous a permis de déterminer la fréquence d'apparition du vent par direction et par classe de vitesse à l'échelle annuelle et de tracer les roses annuelle des vents. (**Figure 22**).

- Fréquence annuelle : nous constatons que les directions de vent les plus dominantes sur notre site d'étude proviennent d'Est, Ouest et de Nord-Est avec des fréquences d'apparition respectivement estimées par 21.51%, 18.46% et 14.75% ou les vitesses des vents peuvent atteindre un maximum de 16 m/s pour la direction Ouest).



**Figure 22:** Rose du vent annuelle (« era5 »)

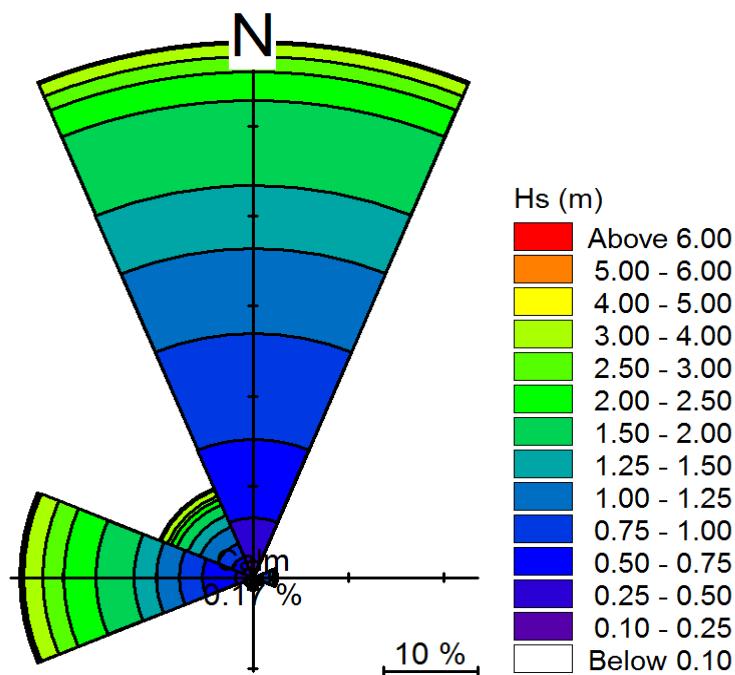
## 6. Cadre hydrodynamique

### 6.1. Les houles

Les données de ce traitement sont extraites à partir du site web ERA.5 couvrant une période de 1an (2019).

La rose des houles annuelles montre au large d'Alger deux secteurs principaux de houle (**figure 23**) :

- Les houles significatives les plus fortes (5.00 \_ 6.00m) proviennent de l'ouest (270°) et représentent 0.1% des observations alors que les houles de 4.00 \_ 5.00 m représentent 0.4% des observations du secteur ouest (255° \_ 285°).
- Les houles significatives les plus élevées du secteur nord représentent 0.2% des observations et se situent entre 3.00 et 3.50m. le secteur ouest (255°\_ 285°) qui représente 27.41% des observations, - le secteur nord-est (45° \_ 60°) qui représente 34.42% des observations.



**Figure 23:** Rose des houles annuelles au large d'Alger (Mike 21).

### 6.2. Les courants

Le courant atlantique (pénétration des eaux par le détroit de Gibraltar) longe d'Ouest en Est les côtes d'Afrique du Nord, sa vitesse est de l'ordre de 3 à 4 km/h. Ce courant s'étale sur plusieurs milles nautiques. Encore très sensible au large de l'Algérois (vitesse = 0,7 nœud), son action va en diminuant vers l'Est du bassin occidental de la Méditerranée (LEM, 2009).

### 6.3. Les marées

Le long des côtes algériennes, l'amplitude moyenne des marées astronomique et de l'ordre de 6cm. Les variations du plan d'eau sont soumises plus à l'effet des vents (phénomène de seiche)

qu'à l'attraction luni-solaire. Les variations journalières observées sur les côtes algériennes sont inférieures à dix (10) cm. La différence entre valeur maximale et valeur minimale de la marée ne dépasse pas 50 cm. (LEM, 1996).

### **Conclusion**

La zone d'étude est caractérisée par un paysage morphologique très diversifié, qui est constitué essentiellement des plages sableuses et des côtes rocheuses, cette morphologie est due principalement par l'alternance des agents hydrodynamiques et la nature du terrain. Ce paysage est parfois traversé par des Oueds (El Harach, El Hamiz....) dont la position varie en fonction de son débit liquide. La zone d'étude est fortement touchée par des houles qui proviennent essentiellement de secteur Nord et Ouest avec des fréquences d'apparitions entre 20 et 50% respectivement, les vents de direction Est, Ouest et Nord-Est sont les plus fréquente dans notre zone d'étude.

La baie d'Alger se caractérise par un climat méditerranéen tempéré. Elle est connue par ses longs étés chauds et secs. Les hivers sont doux et humides, il fait généralement chaud surtout de la mi-Juillet au mi-Aout avec un maximum de température de 36°.

# **CHAPITRE III : Etude granulo-sédimentaire**

### **Introduction**

L'analyse granulométrique d'un sol consiste à déterminer la proportion des diverses classes de grosseur des particules. Il n'existe pas de méthode parfaite pour déterminer la granulométrie ; l'exactitude de la méthode dépend de la nature du sol et, plus précisément, de la forme géométrique des particules et du pourcentage des matières organiques qu'elles renferment. **(Demouche, 2017)**

Ce chapitre nous permet de présenter la méthodologie suivie lors de ce travail et le matériel utilisé, que ce soit des prélèvements, des analyses faites au laboratoire où des traitements des résultats en utilisant le logiciel de cartographie Arc GIS, Matlab et excel.

### **1. Matériel et Méthode**

#### **1.1. Prélèvement et échantillonnage**

##### **1.1.1. Site d'étude**

Le site étudié correspond à la zone littorale située dans la baie d'Alger entre la station de dessalement d'eau de mer d'El Hamma et l'embouchure de l'oued El Harrach. Il s'étend sur environ 5km **(LEM, 2014)**. **(Figure 24)**.

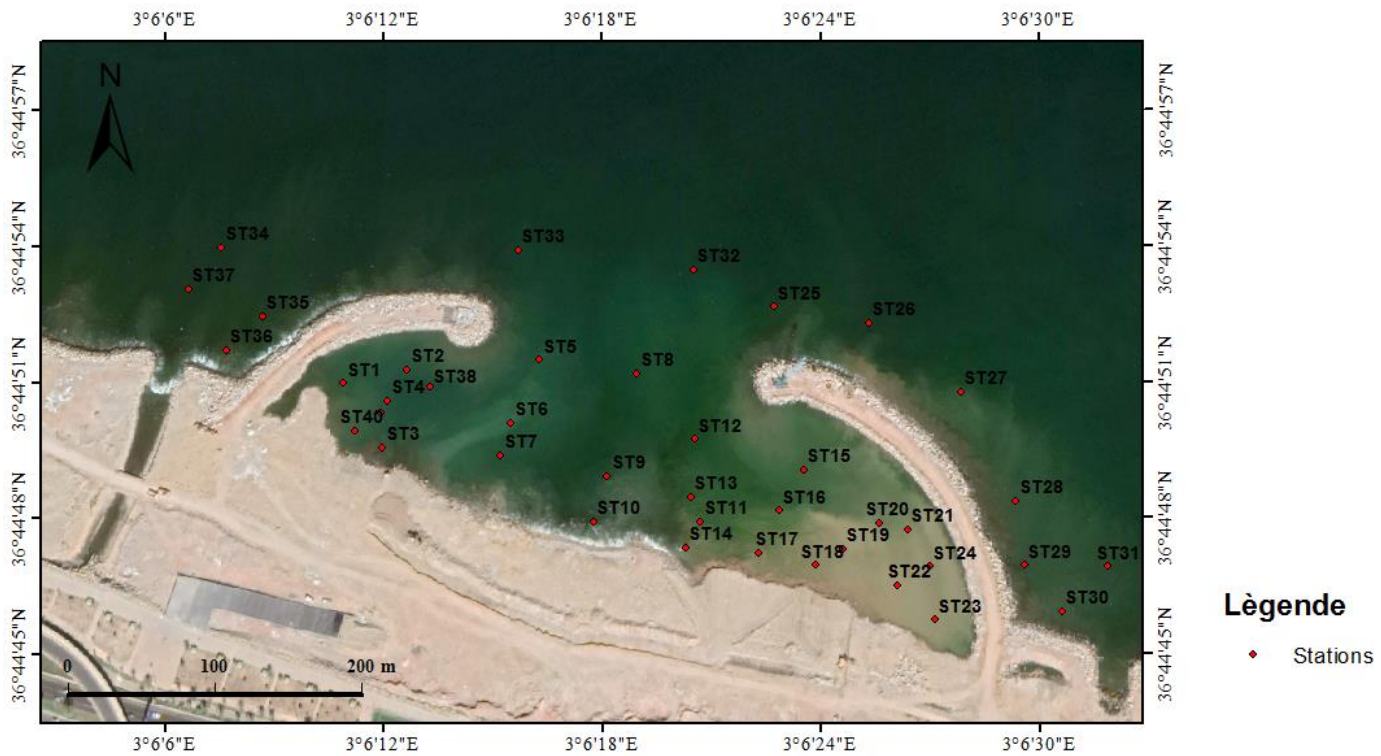
Ce secteur de côte est localisé entre les méridiens  $3^{\circ} 04' 23''$ -  $3^{\circ}07'55''$  et les parallèles  $36^{\circ}45'13''$ -  $36^{\circ}44'34''$



**Figure 24:** la grande plage « Sablettes ».

### **1.1.2. Echantillonnage**

Dans le cadre de cette étude, une sortie terrain a été effectuée le 17/12/2020 au niveau de la grande plage. Les coordonnées des stations de prélèvement ont été prises à l'aide d'un GPS et le prélèvement a été fait avec la benne sur 27 échantillons. Les échantillons ont été ensuite mis dans des sacs en plastique et étiqueté. **(Figure 25).**



**Figure 25:** Les Positionnement des points de prélèvement au niveau de la grande plage.

## 1.2. Etude au laboratoire

L'analyse granulométrique consiste à étudier la répartition des différents grains d'un échantillon, en fonction de leurs caractéristiques (poids, taille, ...).

- ✓ Tamisât : partie de l'échantillon passé à travers les mailles du tamis.
- ✓ Refus : partie de l'échantillon qui n'est pas passée à travers les mailles du tamis.
- ✓ Refus cumulé : c'est la somme de tous les refus, celui du tamis lui-même plus tous les refus des tamis de maille plus grande. Il peut être exprimé en gramme ou en % de refus cumulés.

Les pourcentages des refus cumulés, où ceux des tamisâts cumulés, sont représentés sous la forme d'une courbe granulométrie en portant les ouvertures des tamis en abscisse, sur une échelle logarithmique, et les pourcentages en ordonnée, sur une échelle arithmétique. La courbe est tracée de manière continue et ne peut pas passer rigoureusement par tous les points.

Cette étude a été effectuée au niveau du laboratoire de l'École Nationale Supérieure Des Sciences De La Mer Et De L'aménagement Du Littoral (ENSSMAL).

### 1.2.1. Protocole d'analyse

La technique de mesure la plus couramment utilisée est le tamisage à sec. Nous examinerons successivement ses différentes opérations en suivant les normes AFNOR.

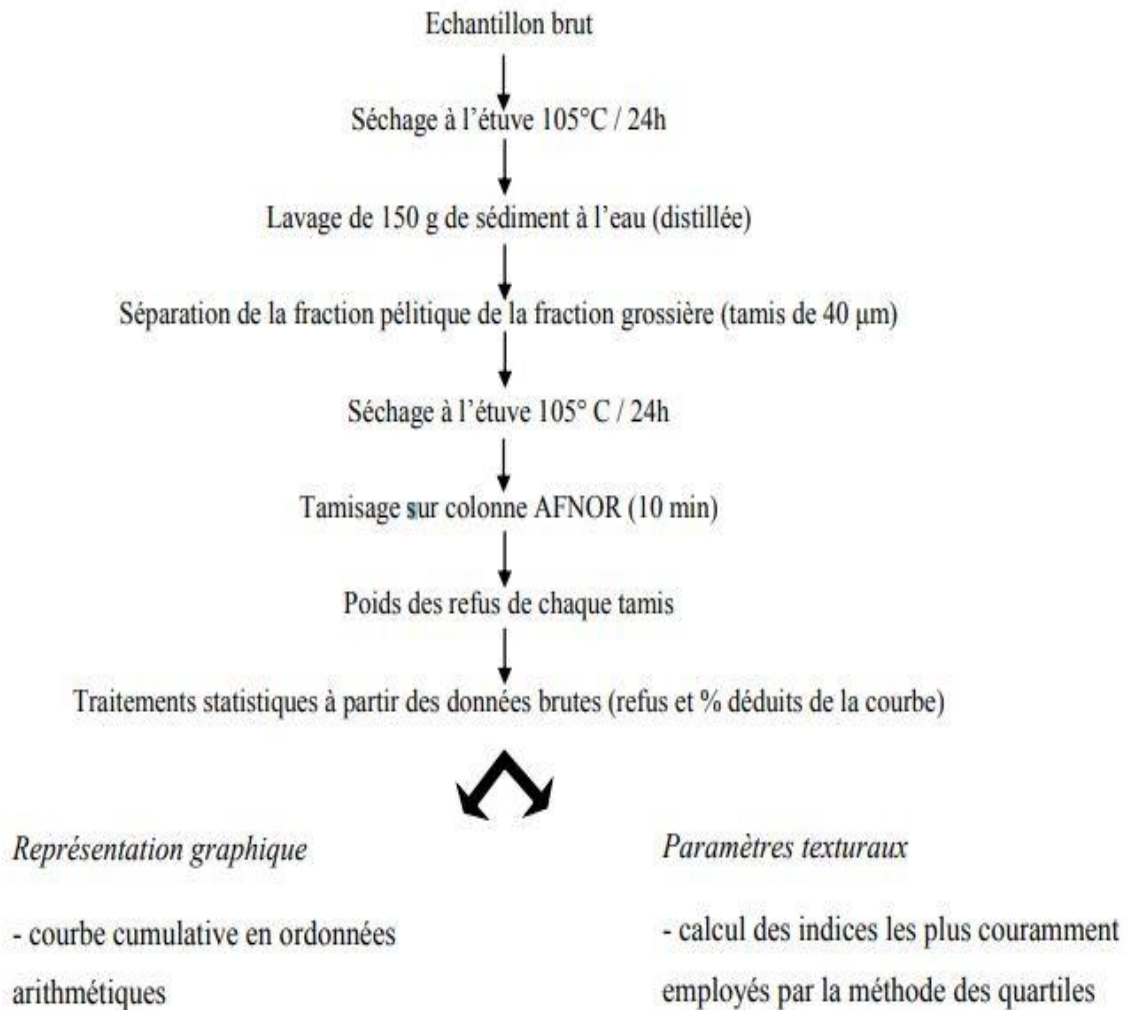
### 1.3. Méthode d'analyse

L'ensemble des prélèvements sédimentaires a été analysé au laboratoire selon les techniques classiques de tamisage. (**Figure 26**). La granulométrie consiste à évaluer le pourcentage de la masse totale correspondant à la dimension des particules selon la méthode classique.



**Figure 26:** Les étapes de l'analyse granulométrique (ENSSMAL).

- Mise de l'échantillon dans l'étuve, séchage à 105° pendant 24h ;
- Passage de l'échantillon séché dans un tamis de 50 $\mu$ m ;
- Pesée d'une quantité d'échantillon de 200g pour chaque station ;
- Rinçage de l'échantillon dans un tamis de 40 $\mu$ m pour soustraire les fractions fines ;
- Séchage de la fraction grossière à l'étuve à 105° pendant 24h ;
- Tamisage de cette quantité (200 g) par une tamiseuse de type AFNOR dont le diamètre des mailles en microns des tamis est dans l'ordre décroissant : 10000-8000-6300-5000-4000-3150-2500-2000-1600-1250-1000-800-630-500-400-315-250-200-160-125-100-80-63-50-40 «en  $\mu$ m » ;
- Pour chaque échantillon le tamisage dure 10 minutes, le refus pesé et le pourcentage pondéral est calculé. (**figure 27**).



**Figure 27:** Méthodologie suivie pour l'analyse granulométrique.

## 1.4. Calcul des paramètres granulométriques

Cette phase se traduit par une représentation sous forme de courbes cumulatives représentant le pourcentage des refus cumulés en fonction du logarithme des mailles des tamis utilisés. C'est à partir de ces courbes que les paramètres granulométriques sont déduits.

### 1.4.1. Les paramètres de position

Les paramètres de position sont déduits à partir de la courbe cumulative en faisant une projection sur l'axe des pourcentages et déterminer le diamètre de tamis qui lui correspond. Ces paramètres vont servir à calculer les différents indices granulométriques

**1.4.1.1. Les quartiles**

- D25 : diamètre du grain à l'ordonnée 25%, c'est le premier quartile.
- D50 : diamètre du grain à l'ordonnée 50%, c'est la médiane.
- D75 : diamètre du grain à l'ordonnée 75%, c'est le second quartile.

**1.4.1.2. Les quantiles**

- D10 : diamètre du grain à l'ordonnée 10%, premier décile.
- D90 : diamètre du grain à l'ordonnée 90%, second décile.

**1.4.1.3. Les indices granulométriques**

Les indices granulométriques sont exprimés en unité ( $\phi$ ). L'échelle  $\phi$  est une unité de mesure définie par la relation suivante.

$$\phi = -\log_2(D) \dots \dots \dots (3)$$

D : diamètre des grains en mm.

**1.4.2. Indice de classement « indice de dispersion » (Folk et Ward)**

Il donne une idée de l'étalement de la courbe au tour de son grain moyen.  
 Cet indice nous renseigne sur l'importance du tri lors de transport et de la sédimentation  
 $S_i = [(\Phi_{84} - \Phi_{16}) / 4] + [(\Phi_{95} - \Phi_5) / 6,6]$ . **(tableau 3)**.

**Tableau 3:** Les limites de l'indice de classement de « Si ».

Valeur	Triage
$S_i < 0.35$	sédiment très bien trié
$0.4 < S_i < 0.5$	sédiment bien trié
$0.5 < S_i < 0.7$	sédiment modérément bien trié
$0.7 < S_i < 1$	sédiment modérément trié
$1 < S_i < 2$	sédiment mal trié
$2 < S_i < 4$	Sédiment très mal trié
$S_i > 4$	sédiment extrêmement mal trié

**1.4.3. Indice central**

D’après Folk et Ward l’indice central est un positionnement global de l’échantillon sur l’échelle des dimensions des sédiments. Il traduit la puissance moyenne des paléo écoulements (Losson et Corbonnois, 2006). (tableau 4).

$$Mz = (\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84})/3 \dots \dots (2)$$

**Tableau 4:** Les valeurs adoptées de Mz. (Folk et Ward)

Limite de MZ	Taille moyenne	Limite de MZ2	Taille moyenne2
Mz < -6	Galet	0 < Mz < 1	Sable moyen
-6 < Mz < -2	Granule	1 < Mz < 2	Sable fin
-2 < Mz < -1	Sable très grossier	2 < Mz < 3	Sable très fin
-1 < Mz < 0	Sable grossier	3 < Mz < 3.98	Vase

**1.4.4. Le coefficient d’asymétrie (SKi ; Folk et Ward)**

Il indique un étalement de la courbe granulométrique plus ou moins important vers les sédiments fins ou les sédiments grossiers. (Tableau 5). Il est défini par la relation suivante :

$$Ski = ((\phi_{16} + \phi_{84} - 2\phi_{50}) / 2 (\phi_{84} + \phi_{16})) + ((\phi_{5} + \phi_{95} - 2\phi_{50}) / 2 (\phi_{95} + \phi_{5})) \dots (4)$$

**Tableau 5:** Les limites de l’indice d’asymétrie « SKi ». (Folk et Ward)

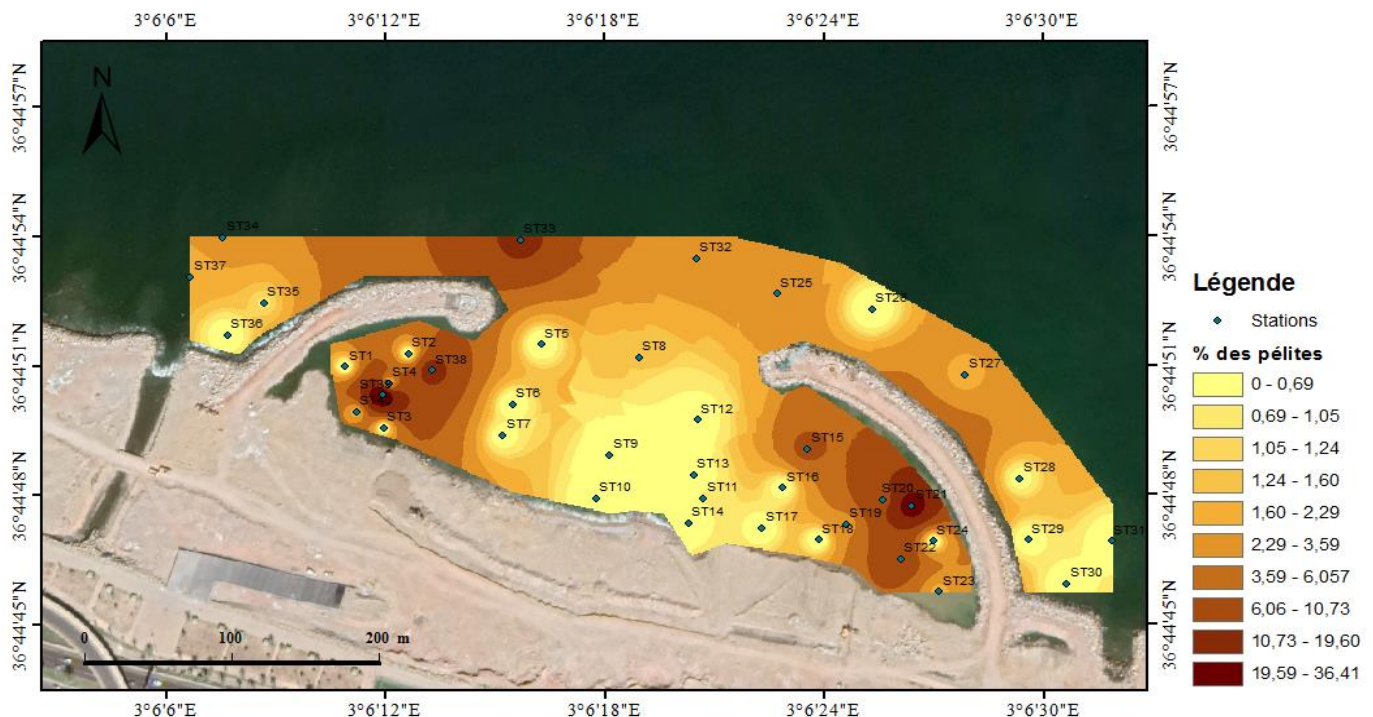
Valeur de SK	Asymétrie
-1 < SKi < -0.3	Asymétrie très négative
-0.3 < SKi < -0.1	Asymétrie négative
-0.1 < SKi < 0.1	Asymétrie
0.1 < SKi < 0.3	Asymétrie positive
0.3 < SKi < 1	Asymétrie très positive

## 2. Résultats et Discussion

Le programme MATLAB nous a permis d'effectuer le calcul des paramètres granulométriques. Ce programme utilise les trois formules de Folk & Ward citées précédemment pour effectuer le calcul et avoir les résultats présentés par la suite. (Voir l'ENSSMAL pour avoir la licence de ce logiciel)

### 2.1. Analyse de la fraction fine

Les teneurs en fraction fine ( $< 40 \mu\text{m}$ ), calculées pour l'ensemble des stations, nous ont permis d'établir la carte de répartition des pélites. Cependant, la fraction pélitique est représentée dans l'ensemble des échantillons avec des taux variables d'une station à une autre. (**Figure 28**).



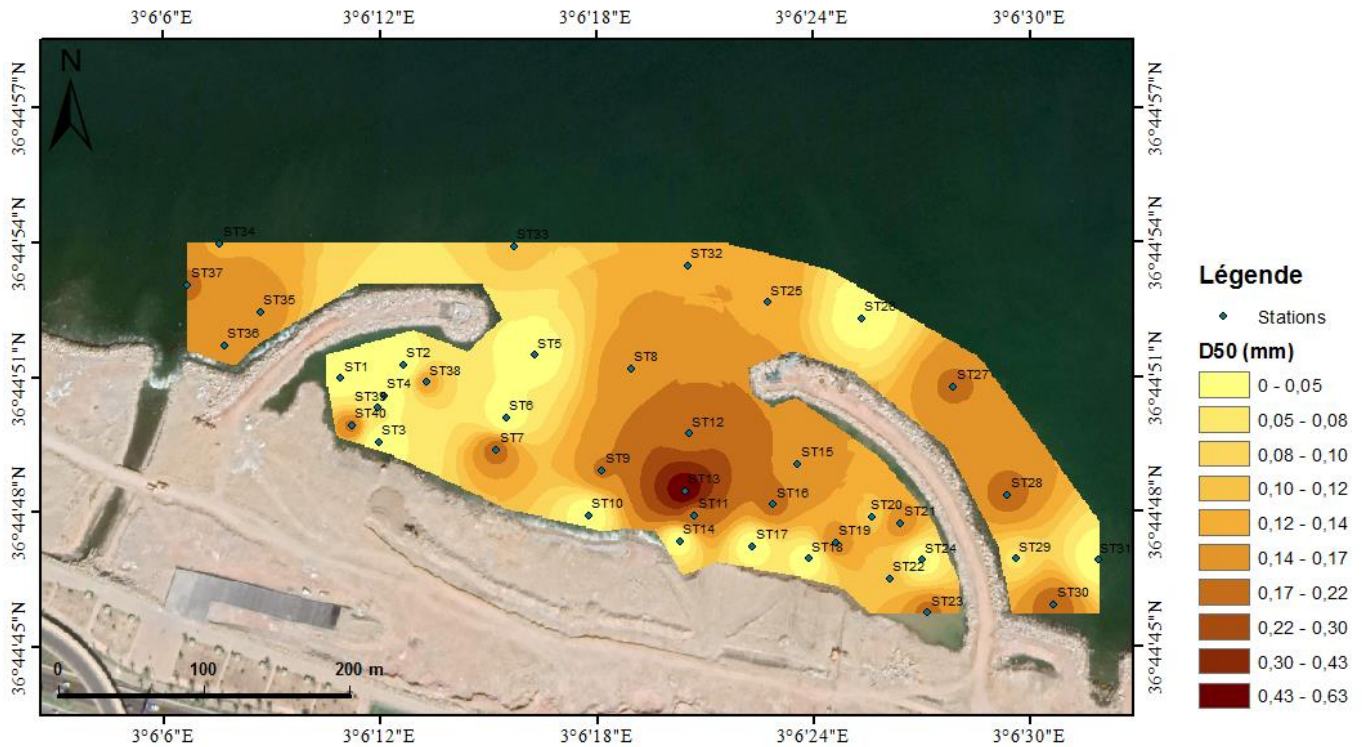
**Figure 28:** Carte de la répartition des pélites (%) dans la partie marine au niveau de la grande plage « Sablette».

La Figure représente les résultats de la répartition des pélites obtenus à partir du pourcentage de chaque échantillon marin en pélites dont les pourcentages varient de 0 à 36,41%.

La distribution spatiale du pourcentage de pélites dans la partie marine au niveau de grande plage « Sablette» montre un taux faible dans la partie centrale de la plage varie entre 0 et 1,60%, cependant à l'abri des deux arcs le pourcentage est très fort allant de 6 jusqu'à 36,14% principalement au niveau des stations 21, 38,39 et 40.

Ces grandes valeurs en particules fines près des arcs peuvent s'expliquer par les travaux car ce projet est en cours de réalisation.

## 2.2. Le Diamètre moyen des sédiments



**Figure 29:** Carte de répartition de diamètre moyen (D50) dans la grande plage «Sablettes».

D'après la (figure 29) de répartition de diamètre moyen des sédiments, on peut dire que le bassin de la grande plage est caractérisé par une dominance de la fraction fine d'où la quasi-totalité des stations d'échantillonnage présentent une prédominance de sédiment fin avec des diamètres variant entre 0 et 0.22 mm. Tandis que la partie centre du bassin montre une concentration des sédiments grossiers qui varie entre 0.22 et 0.63 mm.

2.3. D90 : diamètre du grain à l'ordonnée 90%

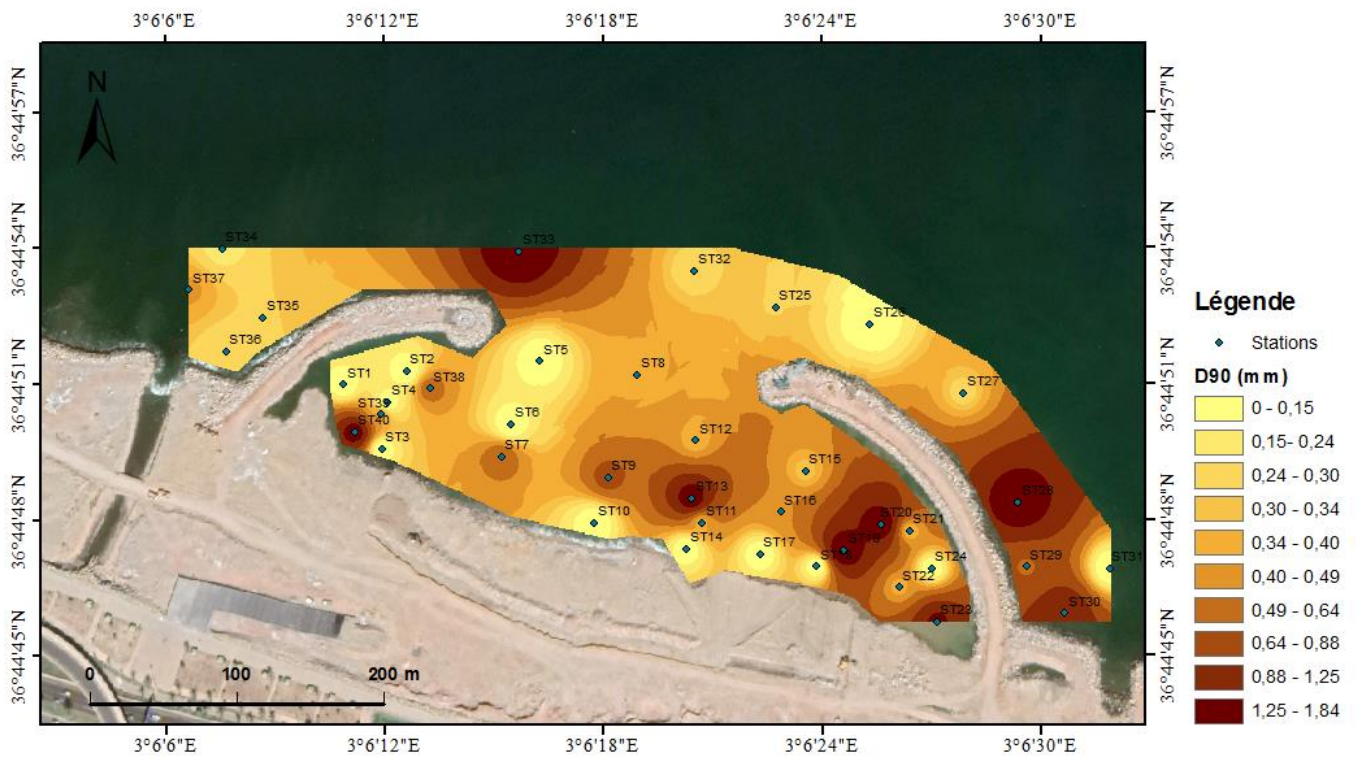
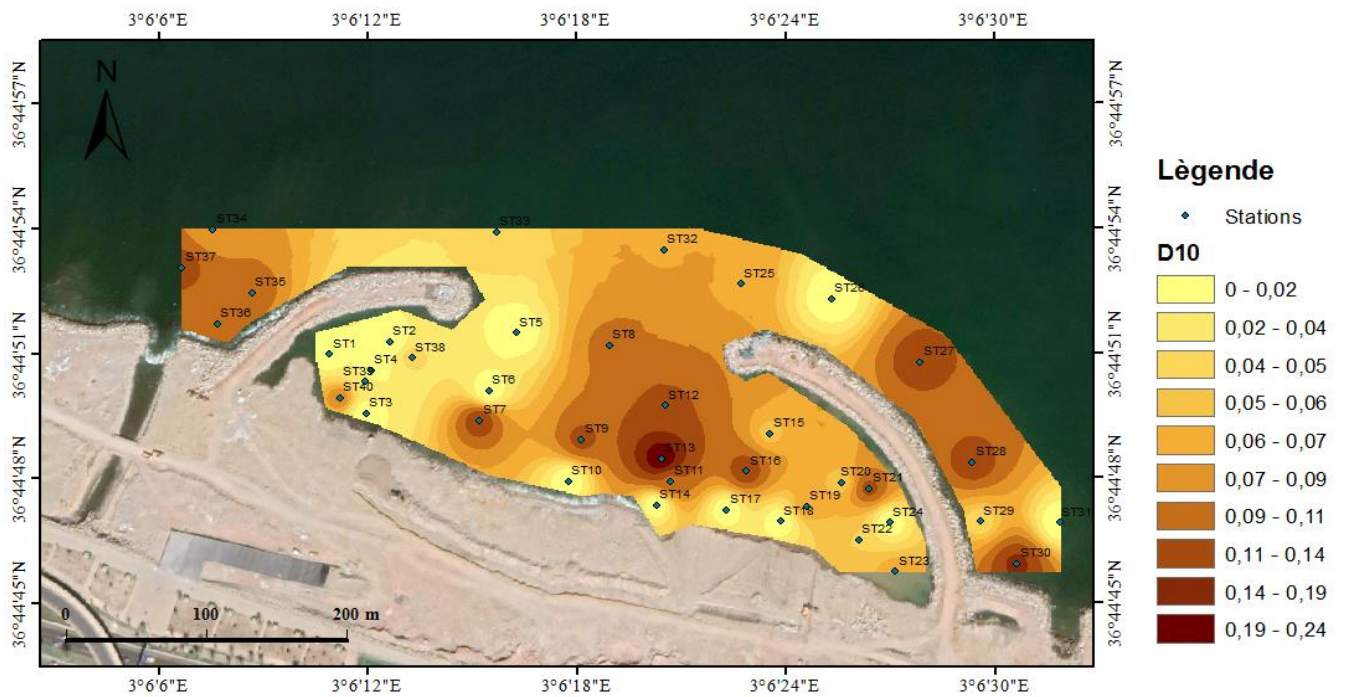


Figure 30: Carte de répartition de diamètre moyen (D90) dans la grande plage.

La (figure 30) des diamètres 90 des sédiments montre que la partie Est est caractérisée par une dominance de la fraction grossière dont le diamètre varie entre 0.64 et 1.84 mm. Cependant les diamètres les plus faibles sont concentrés au niveau de la partie Ouest tel que les diamètres varient entre 0 et 0.22 mm à l'exception des stations 33 et 40.

## 2.4. D10 : diamètre du grain à l'ordonnée 10%



**Figure 31:** Carte de répartition de diamètre moyen (D10) dans la grande plage.

La (**figure 31**) des diamètres 10 des sédiments montre une concentration des sédiments grossiers dans la partie centrale et un peu dans l'Est et l'Ouest qui varie entre 0.11 et 0.24 mm. Cependant les diamètres les plus faibles sont concentrés à l'abri de l'arc à l'ouest qui varie entre 0 et 0.11 mm.

## 2.5. Les indices granulométriques

Les résultats de calcul des indices granulométriques des échantillons prélevés de la partie marine sont récapitulés dans le (**tableau 6**) suivant avec une interprétation des résultats.

**Tableau 6:** Calcule des indices granulométriques et interprétation des résultats de la partie marine

N	Mz ( $\phi$ )	Si	Ski	Grain moyen	Triage	Asymétrie
1	2,430936978	-0,543685614	-1,840896431	Sable très fin	sédiment très bien trié	Asymétrie très négative
2	2,481993829	-0,656955622	-2,812251674	Sable très fin	sédiment très bien trié	Asymétrie très négative
3	0,750015962	-0,905537956	0,454100922	Sable moyen	sédiment très bien trié	Asymétrie très positive
4	2,558248189	-0,449958478	-0,415887585	Sable très fin	sédiment très bien trié	Asymétrie très négative
5	2,220256747	-0,638035485	-2,661362584	Sable très fin	sédiment très bien trié	Asymétrie très négative
6	2,516070789	-1,758020464	-10,4894151	Sable très fin	sédiment très bien trié	Asymétrie très négative
7	2,991282796	-0,613277786	1,111018484	Sable très fin	sédiment très bien trié	Asymétrie très positive
8	2,694301107	-0,558975033	0,471072905	Sable très fin	sédiment très bien trié	Asymétrie très positive
9	2,560480094	-0,539741965	0,184286041	Sable très fin	sédiment très bien trié	Asymétrie positive
10	2,368538141	-1,091006092	-3,145890233	Sable très fin	sédiment très bien trié	Asymétrie très négative
11	2,357840493	-1,284912674	-2,46771242	Sable très fin	sédiment très bien trié	Asymétrie très négative
12	2,469838974	-1,208943161	-3,56082114	Sable très fin	sédiment très bien trié	Asymétrie très négative
13	3,231839969	-1,271819598	-3,480273481	Vase	sédiment très bien trié	Asymétrie très négative
14	2,875799102	-0,84022329	5,520490691	Sable très fin	sédiment très bien trié	Asymétrie très positive
15	2,965831928	-0,528459661	2,338065913	Sable très fin	sédiment très bien trié	Asymétrie très positive
16	2,971929127	-0,676885725	0,226507111	Sable très fin	sédiment très bien trié	Asymétrie positive
17	2,118601618	-0,768127987	-3,76237418	Sable très fin	sédiment très bien trié	Asymétrie très négative
18	2,683221426	-1,39922076	-1,971484981	Sable très fin	sédiment très bien trié	Asymétrie très négative
19	2,273948384	-0,844722547	-3,437634478	Sable très fin	sédiment très bien trié	Asymétrie très négative
20	2,300394007	-0,528030563	-2,027464344	Sable très fin	sédiment très bien trié	Asymétrie très négative
21	2,626105754	-0,486961045	0,918751999	Sable très fin	sédiment très bien trié	Asymétrie très positive
22	3,623990799	-1,058310372	-8,774876952	Vase	sédiment très bien trié	Asymétrie très négative
23	3,161365648	-0,918603546	-0,519508877	Vase	sédiment très bien trié	Asymétrie très négative
24	2,591957453	-0,396591022	-0,746638826	Sable très fin	sédiment très bien trié	Asymétrie très négative
25	2,490081456	-0,315382251	-0,211056406	Sable très fin	sédiment très bien trié	Asymétrie négative
26	2,765668927	-0,461430211	0,71285319	Sable très fin	sédiment très bien trié	Asymétrie très positive
27	3,390075494	-1,223217371	-8,534907447	Vase	sédiment très bien trié	Asymétrie très négative

### Conclusion

L'étude de la fraction sableuse conduit à définir sa répartition et son différent caractéristique sédimentologique :

- La répartition de la médiane granulométrique indique la dominance de " Sable très fin" cela a été jugé par le calcul de la moyenne de la médiane (0.078 mm) selon la classification de « Wentworth ».

Les sédiments sont moyennement très bien classés (presque homogène) selon l'indice de classement de Trask « Si » (-0.03), indique aussi la présence des courants réguliers dans la zone d'étude.

Et en ce qui concerne l'indice d'asymétrie « Ski » avec une moyenne d'environ (-0.073) cela indique que les sédiments de notre zone d'étude présentent une symétrie traduite par un décalage et classement maximum vers les particules fines. Avec l'existence des courants faibles.

# **CHAPITRE IV : Etude de l'évolution bathymétrique**

## Introduction

Les fonds marins constituent généralement le prolongement naturel des structures terrestres, il y a souvent donc une relation étroite entre la géomorphologie du littoral et la topographie générale des fonds. La morphologie des fonds marins est soumise à l'action des facteurs hydrodynamiques, qui entraîne des modifications dans l'ensemble du système littoral sableux (**Nechenache, 2015**).

Les données bathymétriques représentent une information primordiale pour la compréhension de phénomènes hydro sédimentaire près du rivage. (**Nouri et Yahia Meddah, 2017**).

## 1. Approche méthodologique

Cette étude est basée sur l'exploitation des données bathymétriques pour la génération de Modèle Numérique du Terrain (MNT) à l'aide du logiciel de cartographie « Arc Gis ». Cela permet de reconstruire la morphologie des fonds marins des deux levés bathymétriques réalisés en 2014 et 2020. Une comparaison entre les deux levés bathymétriques a été menée en superposant les MNT des deux levés, dont l'objectif est d'évaluer l'état d'évolution du fond et de déterminer le différentiel d'évolution volumétrique et surfacique.

### 1.1. Acquisition des données bathymétriques

Les données de la bathymétrie utilisées (2014 et 2020) dans ce travail sont obtenues à partir :

- D'une digitalisation des cartes bathymétriques de la base de données de Navionics à l'aide du logiciel Arc Gis en plus des levés bathymétriques ont été réalisés au niveau de la grande plage du site Sablette. Cette dernière offre une précision assez bonne, l'erreur altimétrique est de l'ordre centimétrique et de 10m dans le positionnement (source : Site Navionics) in (**Boukhediche, 2017**).

### 1.2. Choix de la zone d'intérêt

L'évolution des fonds est le résultat des échanges transversaux et longitudinaux entre les différentes unités morphologiques de la côte (**Nechenache, 2015**). La détermination de l'unité morphologique incluant la zone d'étude est indispensable pour avoir une vue d'ensemble de l'état d'évolution actuel des fonds ainsi que de comprendre leurs tendances d'évolution futures. L'unité morphologique appelée aussi la cellule sédimentaire est une portion du littoral

Ayant un fonctionnement sédimentaire relativement autonome par rapport aux secteurs voisins. Les limites des cellules sont, soit des ouvrages maritimes, soit des obstacles naturels importants (embouchures, caps,...) qui bloquent ou modifient le déplacement du sable sous l'action des houles (transit littoral) (**Dreal, 2008**). La cellule sédimentaire choisie pour ce travail est délimitée à l'Est par l'embouchure de l'Oued El Harrach et à l'Ouest par les ouvrages de protection des sablettes. Elle s'étale des traits de côte de 2014 et 2020 jusqu'à une profondeur de moins de 40m au large.

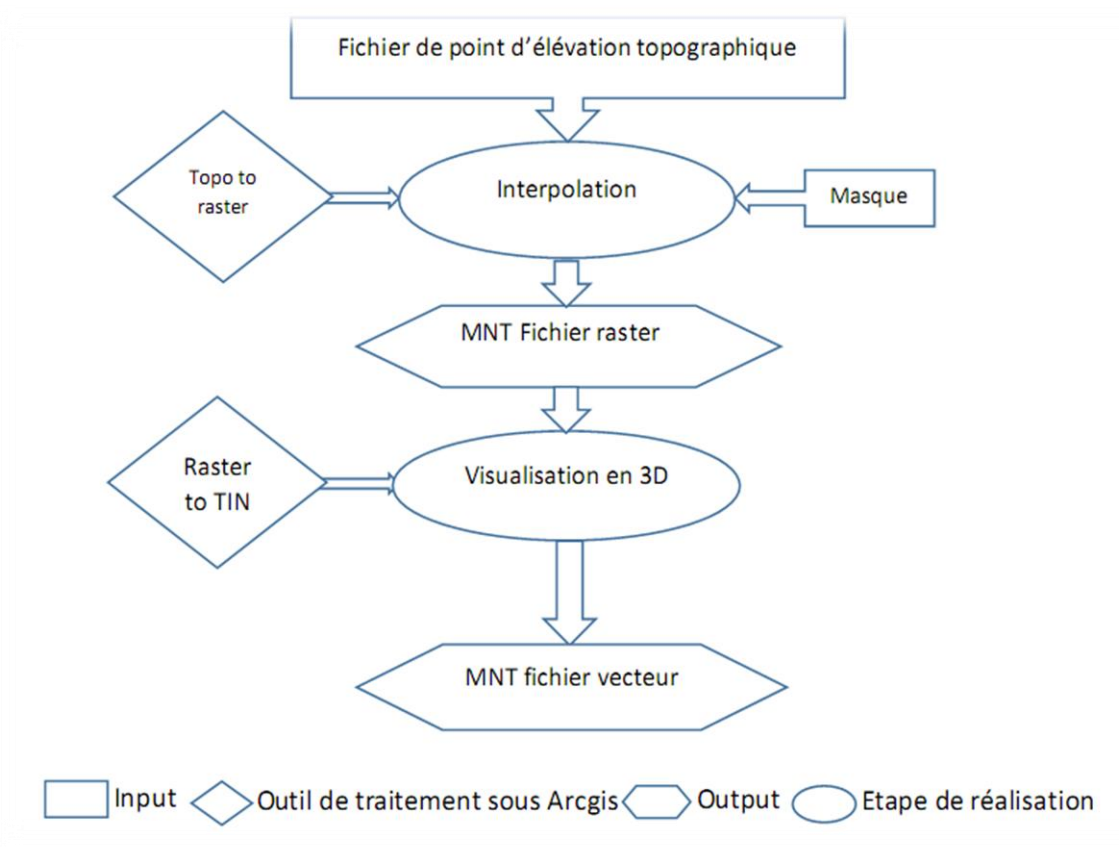
### **1.3. Réalisation d'un modèle numérique de terrain**

Le Modèle Numérique de Terrain (MNT) appelé aussi Digital Terrain Model (DTM) est une représentation numérique et mathématique de la profondeur d'un point quelconque de la surface terrestre d'une zone géographique dans un système référentiel bien défini (**Moussa Oudraogo et al., 2014**).

Un MNT a plusieurs façons d'être représenté, soit sous format raster soit sous format vecteur. Le format raster est une représentation matricielle des données en 2D alors que le format vecteur représente les données sous forme de lignes, de polygones ou de triangles en 2D ou en 3D (**Chanel, 2012**).

La qualité d'un MNT dépend directement de la source de données à partir de laquelle il est généré, de l'intervalle et le type du maillage utilisé (maillage régulier carré (raster), maillage triangulaire régulier, maillage triangulaire quelconque (TIN), ainsi que du mécanisme d'interpolation (**Cherel, 2010**).

Les étapes de la réalisation des MNT sont résumées dans l'organigramme ci-dessous (**figure 32**).



**Figure 32:** Schéma explicatif des étapes de réalisation d'un MNT.

Un MNT Résiduel représentant la différence entre les deux MNT a été généré afin de définir les secteurs en érosion et en accrétion entre ces deux levés topographiques (Yahyaoui et al., 2014).

La réalisation d'un MNT résiduel est effectuée sur Arcgis à l'aide de l'outil « remblais déblais », outil d'analyse 3D des données. Cet outil permet de calculer la différence de volume entre les deux MNT (fichier raster) de 2014 et 2020 et de la représenter sous forme d'une carte thématique.

Les traitements ont été réalisés sous le système de coordonnées projeté « WGS84 UTM Zone 31 ».

### 1.3.1. L'interpolation

Les données acquises sont disposées de manière irrégulière et ne permettent pas d'avoir une connaissance en tout point de la profondeur du terrain. Pour ce faire il faut définir une méthode d'interpolation qui permettra de décrire ce paramètre de manière continue. Ces méthodes d'interpolation sont très variées, avec leurs avantages et leurs inconvénients (Chanel, 2012).

La génération d'un MNT s'effectue directement sous SIG à l'aide des outils d'analyse 3D (interpolation raster) de l'extension Arctoolbox du logiciel Arcgis. Cette opération se fait en interpolant le fichier de points de référence qui contient des données bathymétriques pour avoir un fichier raster (en 2D). Ce dernier représente une surface continue disposant de l'information sur le triplet de coordonnées XYZ sur l'ensemble de la zone d'étude à un intervalle régulier.

Il existe différentes méthodes d'interpolation : l'inverse de la distance pondérée (IDW), le kriging, la méthode ANUDEM (topo vers raster), le voisin naturel, et la méthode Spline. La méthode d'interpolation la plus adaptée est choisie selon la nature des nuages de points à traiter et les outils disponible (**Bounoua et Kaci, 2017**).

La méthode d'interpolation choisie pour la suite du travail est celle d'IDW qui donne une meilleure représentation de la réalité. Cette méthode utilise une technique d'interpolation spécialement conçue pour créer une surface qui représente au mieux une surface de drainage naturel et préserve à la fois les lignes de crête ainsi que les réseaux de cours d'eau (**Manuelle d'Arcgis**).

### 1.3.2. Visualisation de MNT en 3D

La visualisation 3D des MNT nécessite la conversion du jeu de données raster issu de l'interpolation en un fichier TIN (Triangular irregular networks) à l'aide de l'outil de géo-traitement « Raster vers TIN », l'un des outils d'analyse 3D de l'extension Arctoolbox du logiciel Arcgis. Le module ArcScene est utilisé par la suite pour la visualisation 3D des TIN.

Le maillage triangulaire quelconque (TIN) est le meilleur mode pour la présentation de la morphologie d'une surface. Le TIN utilise une grille dont les mailles ont une taille variable et une forme triangulaire, les sommets de triangle sont les coordonnées tridimensionnelles de 3 points (**Hentati et al. 2008**) et (Créer une surface TIN—ArcGIS Pro Documentation).

## 2. Résultats et discussion

D'après les résultats de différents traitements effectués qui sont représentés sous forme de MNT en 2D et des cartes résiduelles de la différence entre les bathymétries 2014 et 2020, (**figure 33**).

On constate que :

## Etude de l'évolution bathymétrique

---

Ce changement sur le plan bathymétrique entre 2014 et 2020 est le résultat d'une intervention anthropique par l'installation des deux arcs de la grande plage. Cela a engendré une évolution importante et un changement de la morphologie sous-marine de la zone d'étude.

En 2014 la carte bathymétrique montre que les isobathes sont un peu espacées ce qui traduit une pente douce en allant de 0 jusqu'à 10 m de profondeur. Cette situation est nettement changée en 2020, à cause de l'implantation des deux arcs, ces derniers participent efficacement dans la perturbation du fond marin en augmentant la bathymétrie à l'intérieur du bassin de la grande plage, cet endroit est considéré comme un bassin de dissipation qui favorise le dépôt de sédiment donc une alimentation de la plage (élargir la plage aérienne).

En termes de volume, la zone d'étude affiche un bilan positif entre 2014 et 2020 grâce aux ouvrages installés, ces ouvrages favorisent l'accumulation des sédiments tels que le volume gagné est important par rapport au volume perdu. **(Figure 34)**.

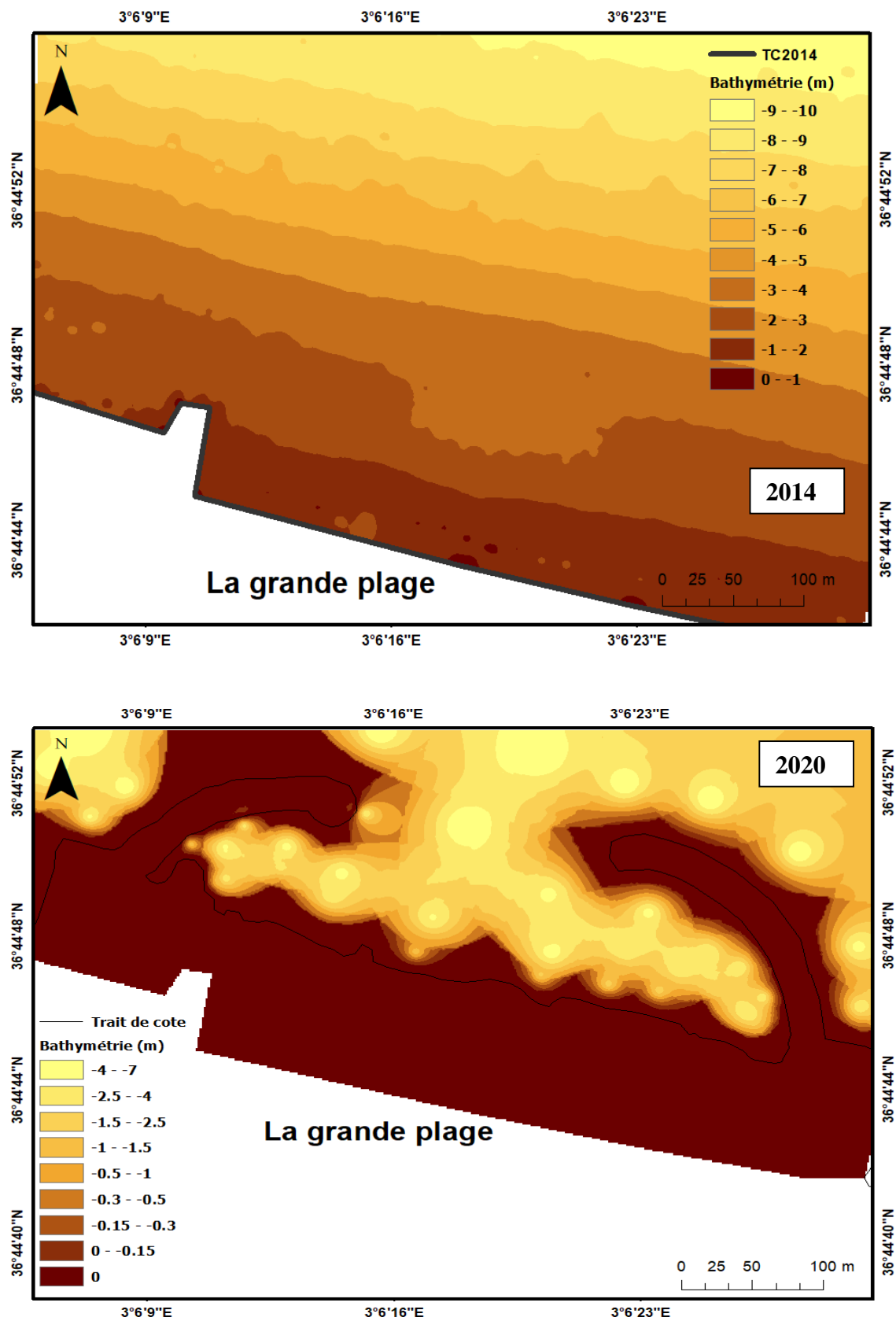
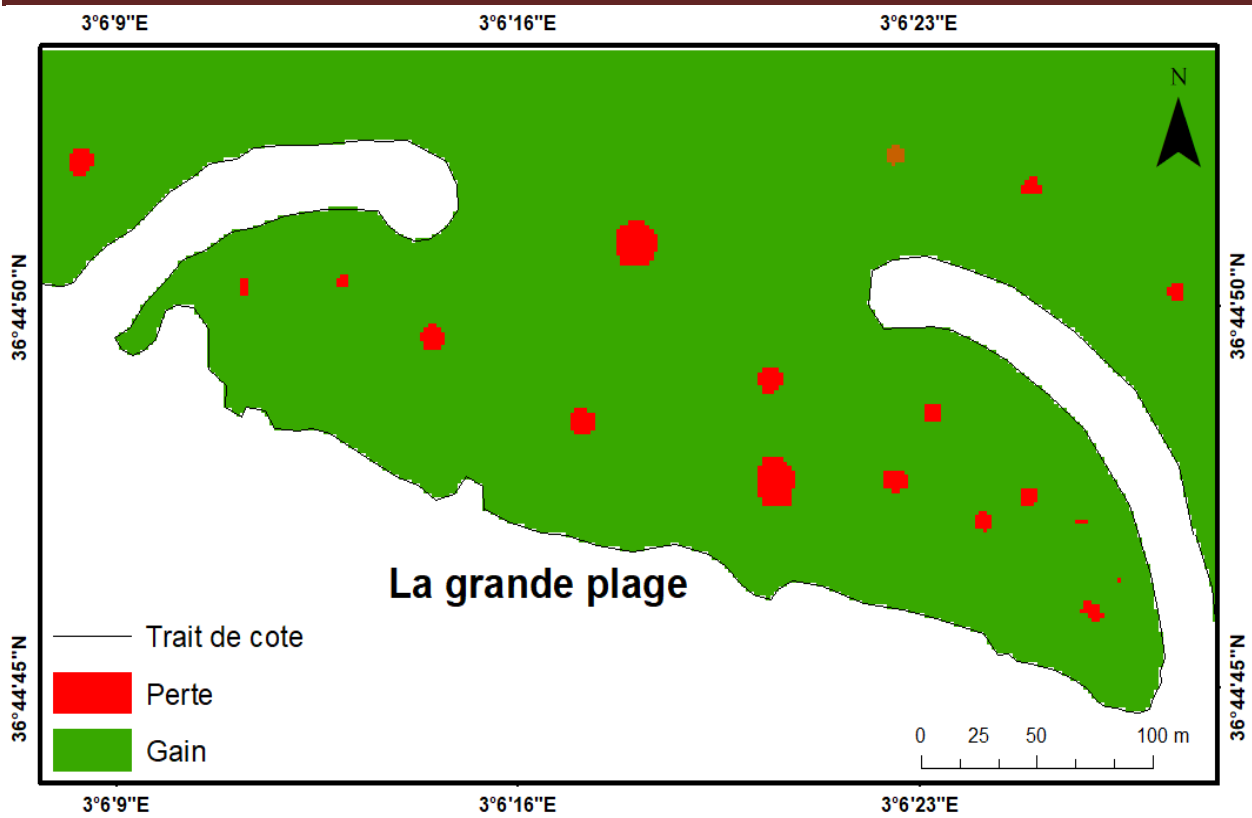


Figure 33: Cartes bathymétriques de la zone d'étude de 2014 et 2020



**Figure 34:** Carte de différentiel bathymétrique entre 2014 et 2020

## Conclusion

L'étude comparative sur le plan bathymétrique de la grande plage entre 2014 et 2020 nous a permis de trouver des éléments de réponse pour la problématique de ce travail. En considérant la situation comparative 2014/2020, le fond marin de la grande plage a subi une tendance de l'accrétion. Cette tendance évolutive est aussi gouvernée par les conditions hydro-sédimentaires de la zone d'étude qui constitue soit une source de sédiments (zone de dépôt) soit un puits de sédiments (zone d'arrachement).

**CHAPITRE V: Modélisation  
de la dynamique  
hydrosédimentaire de la zone  
d'étude**

## Introduction

La zone de déferlement est le siège d'une intense activité sédimentologique. Dans certaines conditions de mer à faible marnage, où le déferlement se produit toujours dans la même zone, on constate une forte accumulation de matériaux sous forme de barre qui provoque et facilite le déferlement. Le déferlement des vagues engendre des courants (de dérive, de retour, d'arrachement) qui vont à leur tour agir sur le processus de déferlement et ainsi de suite. L'utilisation d'un modèle numérique nous permet de modéliser la réfraction des houles, le champ du courant engendré. Le modèle morpho-dynamique repose sur un couplage des modèles de propagation de la houle et du modèle de circulation et du modèle de transport sédimentaire dans MIKE21 (Than, 2015).

Dans ce chapitre l'objectif principal est l'analyse et la modélisation de ces phénomènes physiques à partir des enregistrements sur le terrain afin d'aboutir un modèle numérique calibré sur la base de ces enregistrements.

## 1. Les données nécessaires pour la modélisation numérique de fonctionnement hydrodynamique

Le modèle numérique utilisé dans notre étude est le **Mike 21-DHI** de l'institut hydraulique Danois (**DHI**) qui est un puissant système de modélisation numérique des phénomènes physiques (houle, courant et transport sédimentaire), Il permet la simulation de l'hydraulique et des phénomènes associés dans les rivières, les lacs, les baies, les zones côtières et les océans.

Il s'agit de recueillir l'ensemble des données disponibles nécessaires à la Simulation, ces données sont :

- Des données bathymétriques ;
- Des données relatives aux conditions météorologiques ;
- Des données de niveau d'eau.

### 1.1. Les données bathymétriques

La morphologie des fonds marins est soumise à l'action hydrodynamique qui entraîne des modifications dans l'ensemble du système littoral sableux (Iffour, 2016). Comme le contraire est très souvent le cas, une bathymétrie précise est donc un élément clé pour arriver à une bonne connaissance de l'hydrodynamisme côtier. On peut ainsi comprendre l'évolution géomorphologiques en résultant au court du temps.

# Modélisation de la dynamique hydrosédimentaire de la zone d'étude

La carte bathymétrique est une donnée de base pour la modélisation de l'hydrodynamisme dans les zones côtières.

Les données bathymétriques de notre zone d'étude ont été obtenues par :

- Levé bathymétrique réalisé le 17/12/2020, à l'aide d'un éco teste et un GPS (Global Positioning System) qui permet d'avoir une précision importante près de la côte ainsi qu'une vision détaillée de l'évolution des petits fonds à l'intérieur de la grande plage.
- L'acquisition des données bathymétriques de la zone d'étude fournies à partir du site « NAVIONICS », le traitement (géoréférencement et digitalisation) de ces données se fait en utilisant le logiciel de cartographie Arc Gis 10.7.1 sous le system de projection WGS84 UTM zone 31N.

## 1.2. Les données relatives aux conditions météorologiques

Les données relatives au climat des houles au large sont extraites du site web [www.waveclimate.com](http://www.waveclimate.com). Après le traitement statistique de ces données nous avons pu retirer les résultats suivants des houles extrêmes associées à une période de 50 ans. (**Tableau 7**).

**Tableau 7:** Les caractéristiques des houles cinquantennales au large de la baie de d'Alger

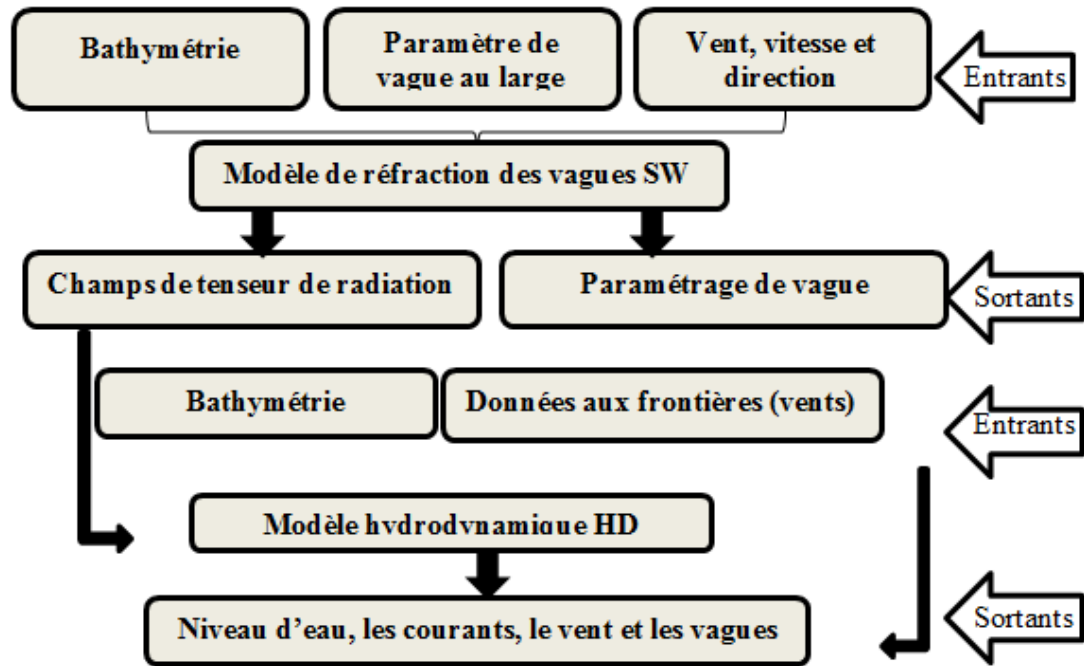
Directions	Ouest	Nord-est
Hauteur significative (m)	7.2	7.6
La période de pique (s)	25.9	20.2

## 1.3. Les données relatives au niveau de la mer et au marnage

Le niveau des marées est presque insignifiant, vu que la zone d'étude est caractérisée par une côte microtidale. Les valeurs de la sur côte entretenues, sont prises comme une constante qui est égale à 0.34m.

## 2. La démarche adoptée

Dans un premier temps, il s'agit de déterminer à l'aide du modèle SW le climat de houles dans la région d'intérêt (sur une grande échelle). Les sortants de ce module ainsi que les niveaux d'eau aux frontières ouvertes de la grille de calculs hydrodynamiques et les vents en surface permettront de calculer les courants causés par l'effet combiné des vents et des houles au moyen du module HD. (**Figure 35**).

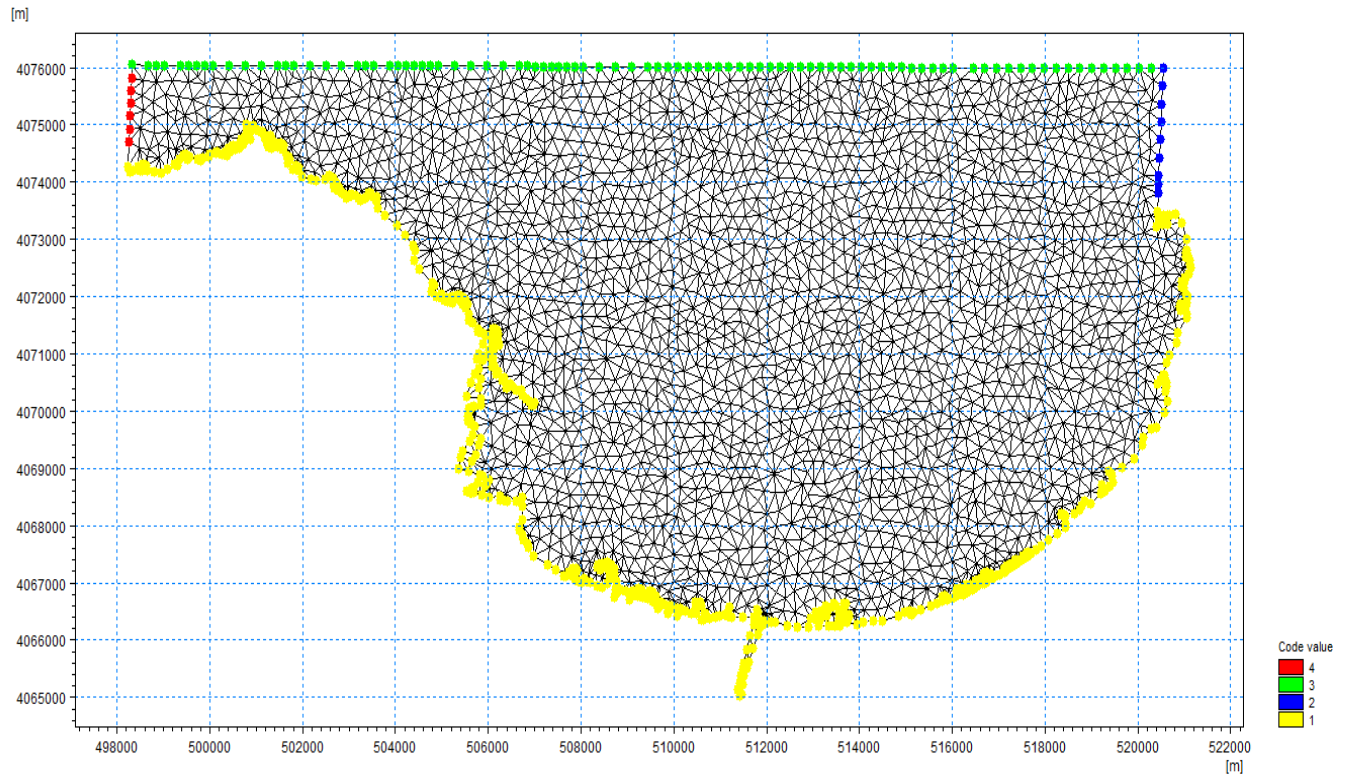


**Figure 35:** Approche méthodologique adoptée pour la modélisation intégrée du transport sédimentaire non cohésif.

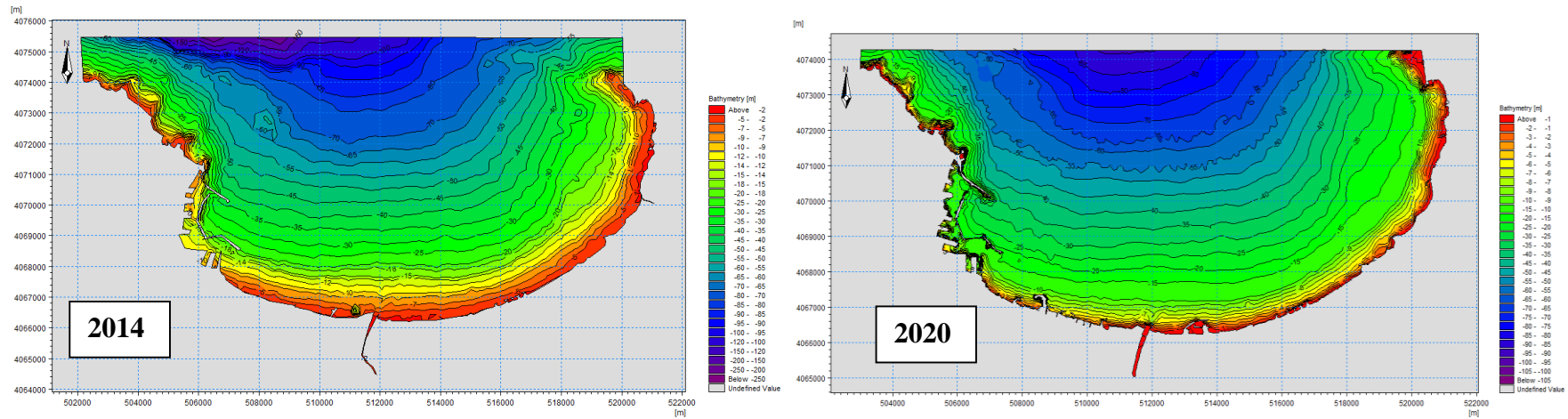
## 2.1. Construction du modèle et la création de la bathymétrie sous maillage :

Le module “*MeshGenerator*” nous offre un environnement pour la création, l'édition et la présentation de bathymétries numériques 2D détaillées. “*MeshGenerator*” génère un format souple de maillage (\*.MESH). Le programme nous fournit les utilitaires pour importer des données du trait de côte, notamment les bathymétries. Pour faciliter le processus d'élaboration manuelle des données et leur présentation, des cartes graphiques des images de fond peuvent être importées et superposées aux données bathymétriques. Diverses options d'interpolation sont disponibles pour fournir la meilleure méthode possible pour notre type de données. Lorsque la bathymétrie a été préparée, nous pouvons utiliser les utilitaires d'exportation de données bathymétriques de sortie dans différents formats. La création d'une bathymétrie est généralement divisée en les phases suivantes : le choix du système de projection, le traitement des données bathymétriques XYZ, la génération du maillage et l'interpolation des valeurs bathymétriques sur le maillage. L'emprise et le maillage du modèle sont illustrés dans la Figure Le maillage est composé d'éléments triangulaires dont la taille a été ajustée suivant les évolutions bathymétriques et la précision souhaitée. La carte bathymétrique du modèle est obtenue par interpolation des sondes bathymétriques et des levés topographiques sur le maillage ainsi définis.

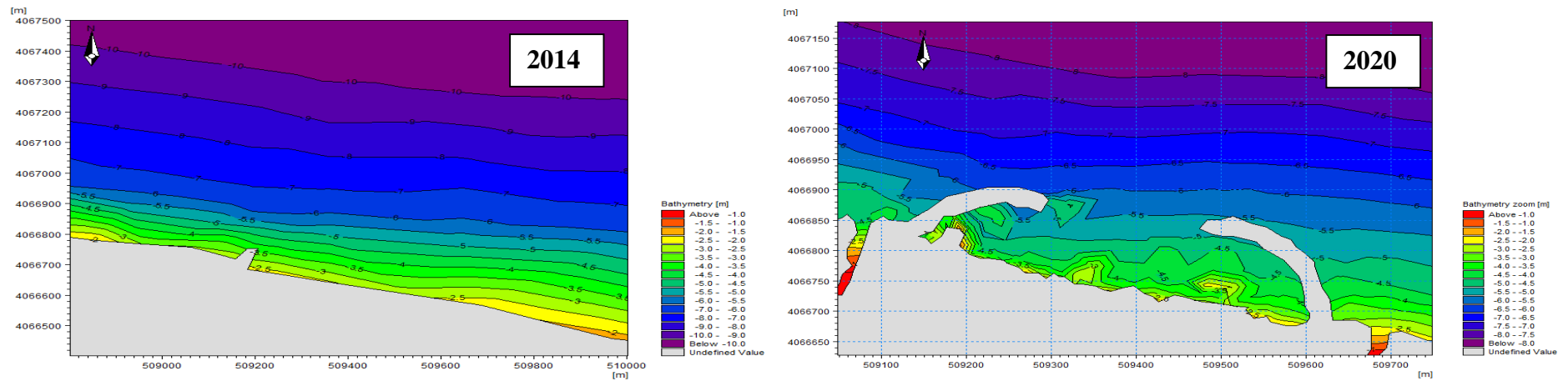
La bathymétrie obtenue (**Figure 36**) présente des valeurs comprises entre  $-150\text{m}$  et  $0\text{m}$  par rapport au zéro hydrographique.



**Figure 36:** Emprise du modèle



**Figure 37:** Carte bathymétrique de la baie d'Alger 2014 et 2020



**Figure 38:** Carte bathymétrique de la grande plage 2014 et 2020

## 2.2. Interprétation de la bathymétrie de la grande plage

Les profils définissent la carte bathymétrique de la grande plage des deux années (2014/2020) et ça nous permet d'avoir une idée sur la géomorphologie sous-marine de notre zone. (**Figure 37**), (**figure 38**).

### En 2014 :

Entre -0.5 et -6m :

L'écartement entre les isobathes est plus au moins constant, les isobathes sont serrées entre eux et parallèles à la cote ce qui traduit une pente forte.

A partir de -6m :

L'écartement entre les isobathes augmente, ces derniers deviennent espacés entre eux et parallèles à la cote ce qui traduit une pente douce au large.

### En 2020 :

Entre -2.5 et -6m :

L'écartement entre les isobathes est irrégulier et les isobathes ne sont pas parallèles entre eux mais ils sont très serrées ce qui traduit une pente plus forte.

A partir de -6m :

En quittant la grande plage à l'extérieur des arcs les isobathes augmentent ces derniers deviennent espacés entre eux et parallèles à la cote ce qui traduit une pente douce au large.

## 2.3. Simulation de la propagation de la houle par le module SW (Spectral waves model)

### 2.3.1. Définition

**MIKE 21 SW** est le module de propagation de la houle spectrale. C'est un modèle basé sur la conservation de la densité de l'action d'onde qui permet de simuler la propagation des états de mer (mers de vent et houles océaniques) dans les domaines offshore Côtier. **MIKE 21 SW** prend en compte la génération de la houle par action du vent, la dissipation de la houle par moutonnement et déferlement bathymétrique ainsi que la dissipation de la houle par frottement sur le fond, la réfraction et la levée de la houle.

### 2.3.2. Configuration du module SW

Pour étudier la propagation de la houle au large, l'équation choisie dans le domaine spectral est la formule directionnelle et dans le domaine temporel est la formule quasi-stationnaire, avec la méthode d'itération de Newton & Raphson.

Les niveaux d'eaux ont été considérés nuls en négligeant le forçage par les vents.

La limite nord a été choisie comme étant ouverte avec des paramètres constants dans le temps et tout au long de ces limites.

Le modèle a concerné 2 directions dominantes :

- les directions **N45°** et **N270°**.
- la hauteur significative **H<sub>s</sub>=7.6** et **7.2 m** respectivement.
- la période pique **T<sub>p</sub>=20.2s** et **25.9 s** respectivement.
- l'indice d'étalement directionnel **n=4**.

### 2.3.3. Interprétation de la propagation des houles du secteur NE45°

Au large, les houles ne subissent aucune modification et gardent leurs caractéristiques initiales ( $H_{s0}=7.6$  m,  $T_p=20.2$  s), mais au fur et à mesure qu'elles se propagent vers la côte l'effet du fond commence à être ressenti, la hauteur de la houle diminue en se rapprochant de la cote pour atteindre des valeurs inférieures qui varient en fonction de la profondeur et de la présence d'obstacles.

## Modélisation de la dynamique hydrosédimentaire de la zone d'étude

Pour les deux périodes 2014 (**figure 39**), (**figure 40**). Et 2020, (**figure 41**), (**figure 42**). Les valeurs de  $H_s$  à la cote sont entre 1 m et 3.5 m, Le coefficient de shoaling des houles est compris entre 0.13 et 0.46 ( $H_s$  locale par rapport à  $H_s$  au large) ce qui signifie que les plans de vagues provenant de ce secteur sont peu réfractés et ces houles peuvent provoquer une dégradation importante du rivage de la baie d'Alger.

La zone d'étude (grande plage) est gravement affecté par les houles de provenance NE avec une hauteur de 4 m.

### **2.3.4. Interprétation de la propagation des houles du secteur Ouest 270°**

Les houles de cette direction ne subissent aucune modification au large, elles gardent leurs énergie initiale ( $H_{s0}=7.2$  m,  $T_p=13.6$  s), mais au fur et à mesure qu'elles propagent vers la cote, les valeurs des hauteurs significatives vont diminuer considérablement entre 0.4 m et 3.6 m. les faibles valeurs de  $H_s$  sont enregistrées au niveau des zones abritées (port d'Alger), tandis que les extrémités Est et Ouest sont fortement sollicité par ces houles tel que les valeurs de  $H_s$  sont de l'ordre de 3 à 3.6 m. A l'arrivée de la cote, les orthogonales de plan de vague est peu réfracté.

La zone d'étude est touchée par ces houles mais avec des valeurs de  $H_s$  moins importantes que la direction Nord-Est comprises entre 1 et 1.4 m pour les deux périodes 2014, (**figure 39**), (**figure 40**). Et 2020. (**Figure 41**), (**figure 42**).

# Modélisation de la dynamique hydrosédimentaire de la zone d'étude

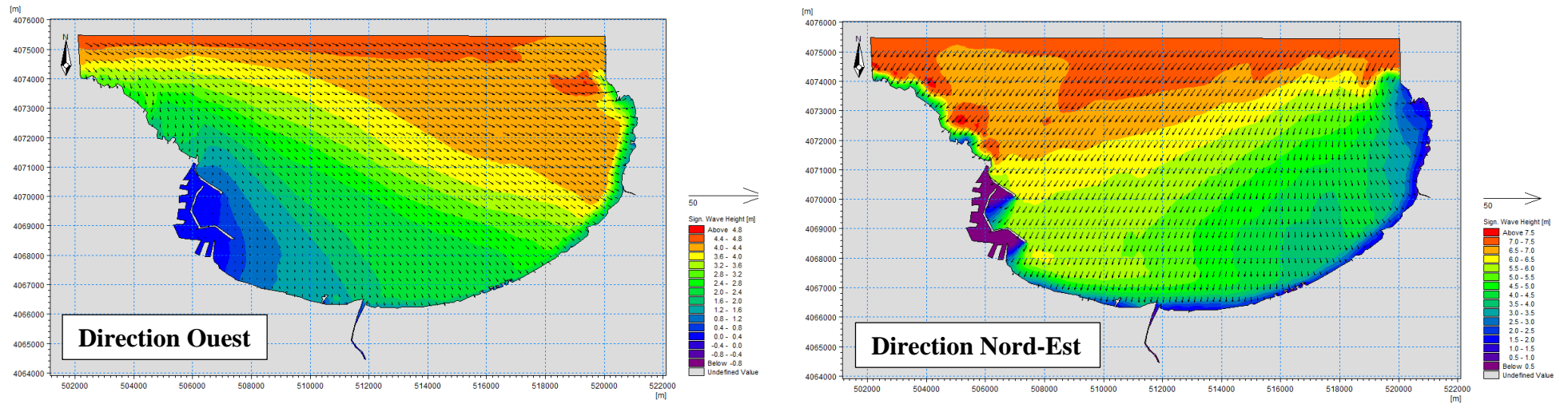


Figure 39 : La propagation de la houle de l'année 2014 "la baie d'Alger"

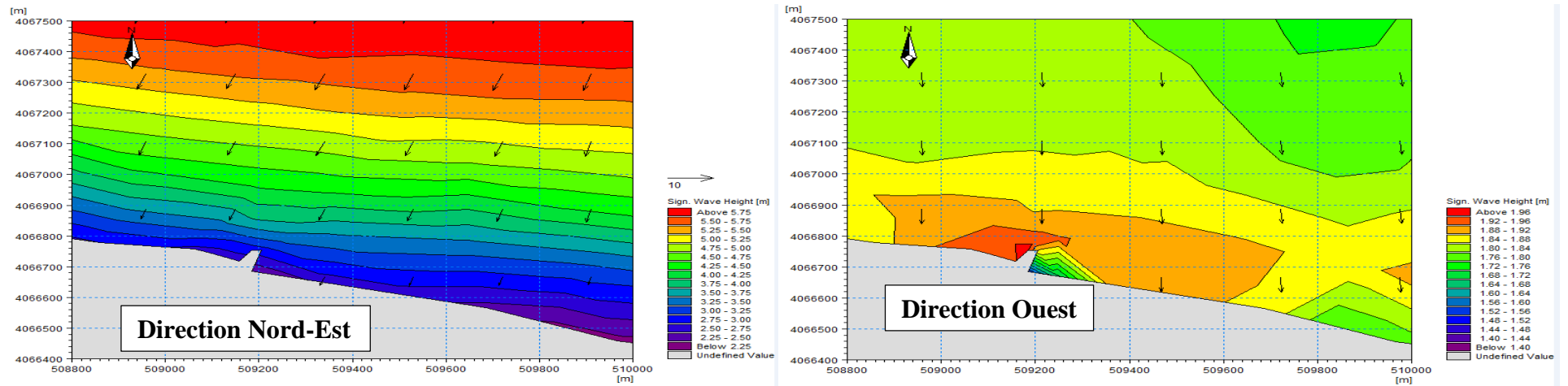


Figure 40 : La propagation de la houle de l'année 2014 "la grande plage"

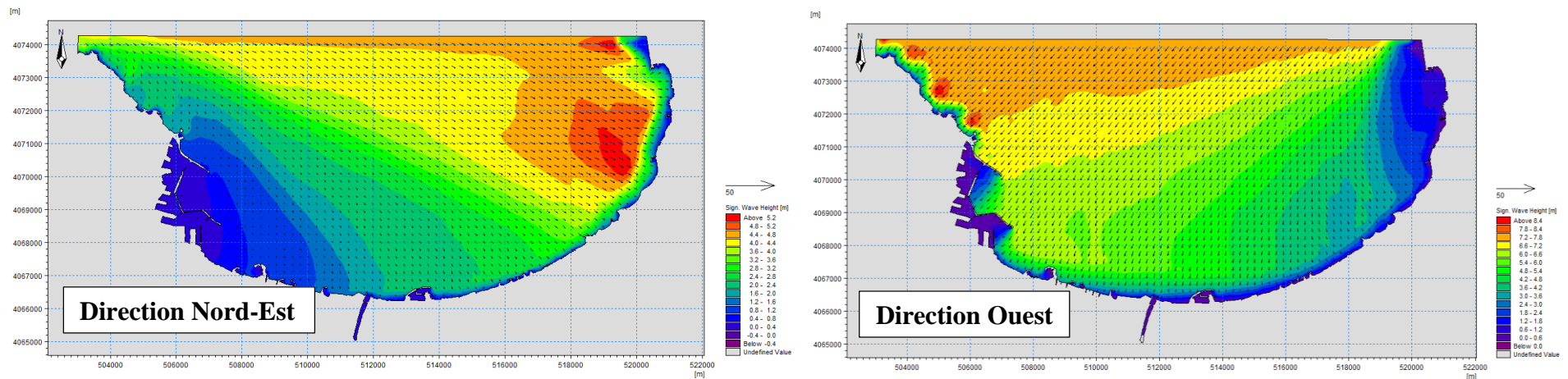


Figure 41 : La propagation de la houle de l'année 2020 "la baie d'Alger"

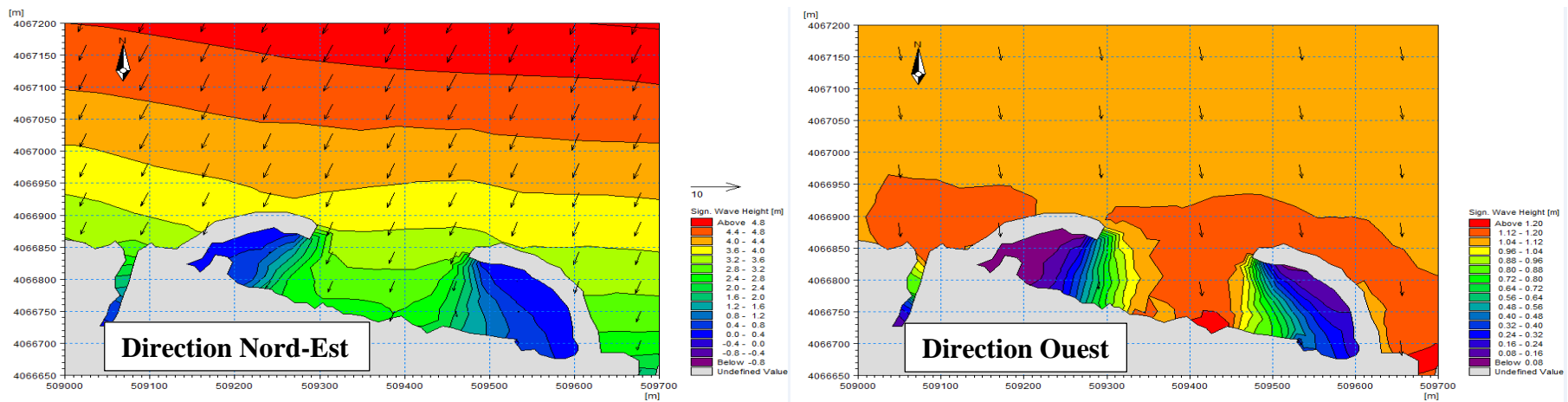


Figure 42 : La propagation de la houle de l'année 2020 "la grande plage"

## 2.4. Simulation des champs de courants (HD)

### 2.4.1. Définition

**MIKE 21 HD** constitue le cœur de la suite logicielle MIKE21 en fournissant les paramètres hydrodynamiques nécessaires aux autres modules. C'est un modèle bidimensionnel pour les calculs hydrodynamiques à surface libre qui permet de simuler les variations du niveau d'eau et des écoulements, moyennés sur la colonne d'eau, en fonction des paramètres de forçage des zones côtières et du large. Le modèle hydrodynamique de MIKE21 est utilisé pour simuler de nombreux phénomènes hydrauliques dont la marée, les courants induits par le vent et la houle ainsi que les surcôtes.

### 2.4.2. Configuration du module HD

- Le niveau de la mer est considéré non variable.
- Les flux tout au long des limites ouverts sont considérés perpendiculaires par rapport aux limites. Par conséquent la surface initiale est considérée nulle aussi.
- La viscosité et la résistance sont considérées comme valeurs par défaut (**0.28 et 32 m<sup>1/3</sup>/s** respectivement).
- Les vents ne sont pas pris en considération.
- La valeur de la surcôte est prise comme une constante égale à **0.34m**.

### 2.4.3. Résultats de champ du courant pour la direction NE45°

D'après (**figure 43**), (**figure 44**). On observe que les champs des courants montrent un courant littoral de direction majoritaire Est-Ouest, avec un gradient de vitesse atteint un maximum au niveau du Cap Matifou d'environ 2.6 m/s, et diminue progressivement passant par des vitesses moyennes de l'ordre de 1 m/s à 0.6 m/s.

Ce courant se continue à évoluer sur la même gamme de vitesse jusqu'à au-dessus des ouvrages, ou on observe des grands circulations tourbillonnaires entre ces derniers avec des vitesses qui varient entre 0.32 m/s et 0.4 m/s (zones abritées), ce qui est en accord avec la réalité.

Au niveau de la grande plage des Sablettes, on constate une circulation (tourbillons) remarquable, avec un gradient de vitesse 0.6 m/s pour l'année 2020. (**Figure 45**), (**figure 46**). Ces courants sont capables de transporter du sable et favorise le dépôt et l'érosion des plages.

### 2.4.4. Résultats de champ du courant pour la direction Ouest 270°

Le champ de courant engendré par les houles de cette direction est dirigé vers l'Est ou les vitesses varient entre 0.08 m/s et 1.45 m/s avec un maximum enregistré au niveau des extrémités de la baie de l'ordre de 1.7 m/s. **(figure 43), (figure 44).**

A l'intérieur de la grande plage un faible courant se manifeste avec une vitesse de 0.16 m/s. **(figure 45), (figure 46).**

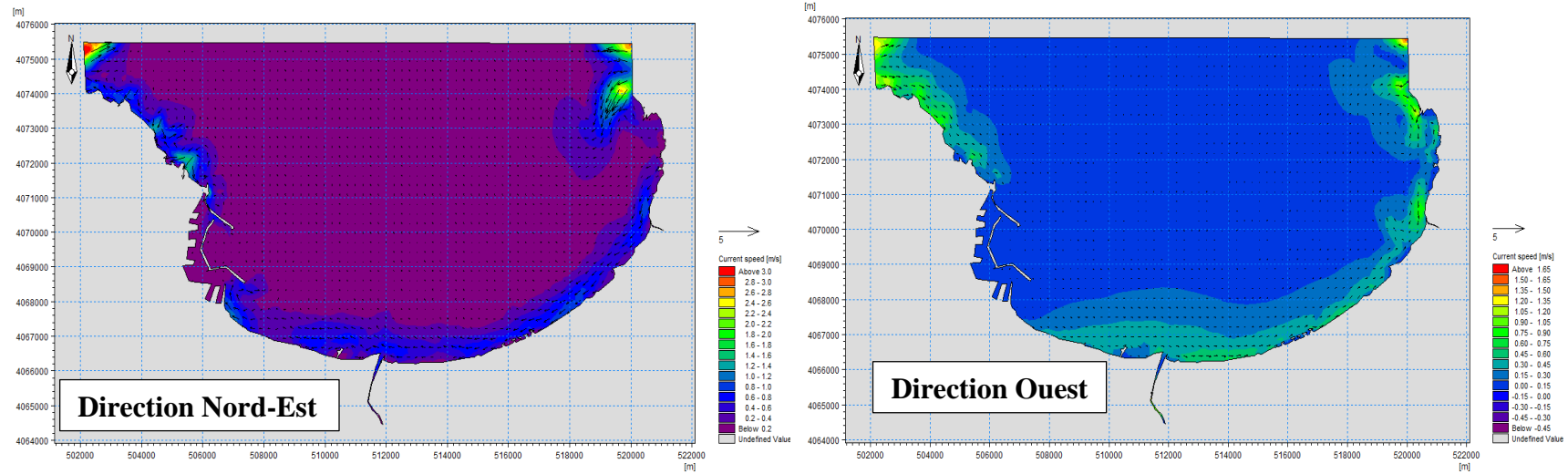


Figure 43 : Le champ de courant pour l'année 2014 " la baie d'Alger"

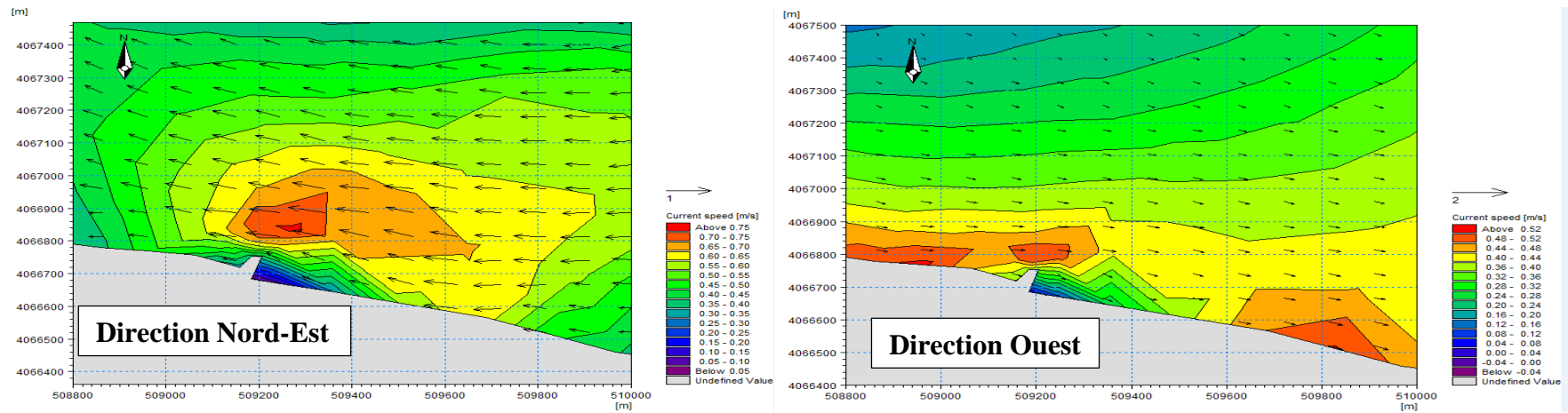


Figure 44 : Le champ de courant pour l'année 2014 "la grande plage"

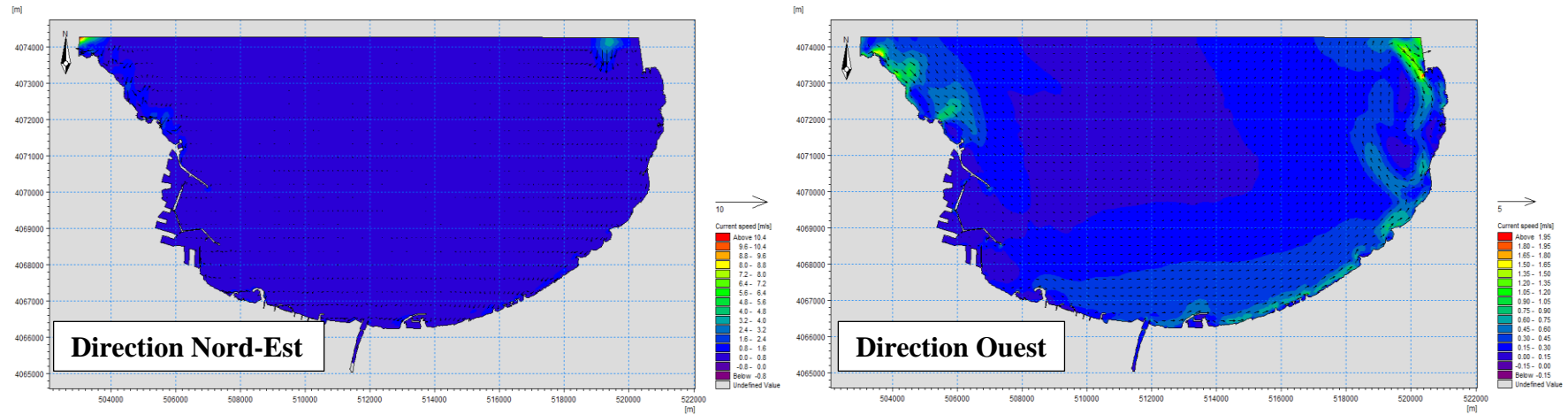


Figure 45 : Le champ de courant pour l'année 2020 "la baie d'Alger"

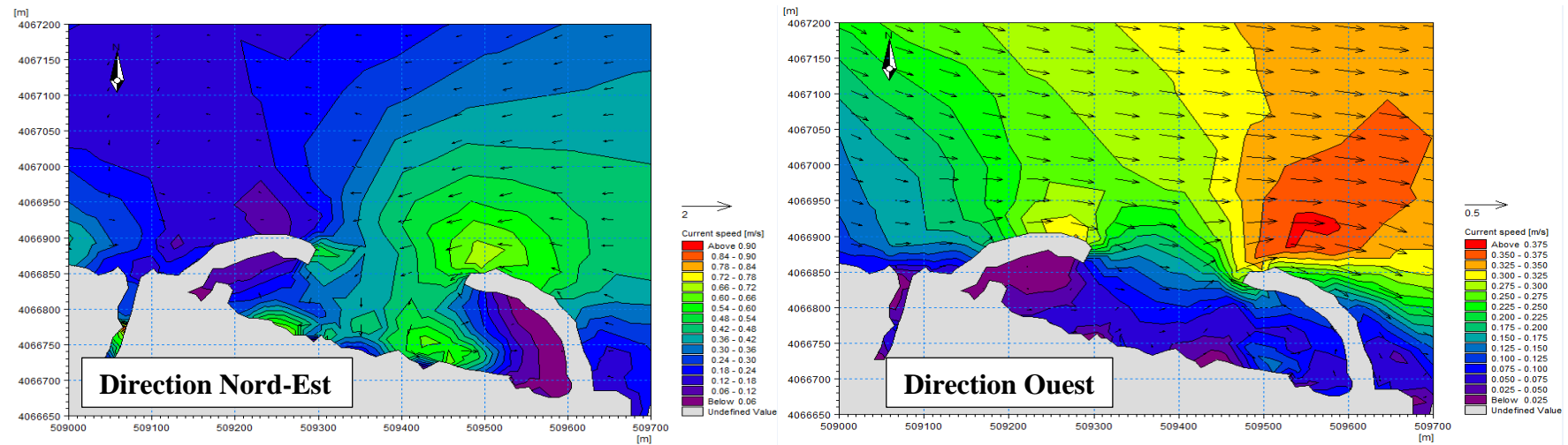


Figure 46 : Le champ de courant pour l'année 2020 "la grande plage"

## Conclusion

La modélisation des champs de courants par les modules de calcul du Mike 21 nous a permis d'élucider le fonctionnement sédimentaire qui règne la zone d'étude.

L'aspect hydrodynamique doit être étudié d'une manière plus approfondie afin d'être sûr de la théorie de transformation de la houle pouvant engendrer une dérive littorale et cela par des méthodes de calibrage des modèles numériques et des mesure du courant in-situ.

La comparaison entre les profils des deux années montre que les ouvrages de protection faits au niveau de la grande plage ont influencé sur la géomorphologie sous-marine de la zone d'étude il était bien régulier avec une pente forte en devenant irrégulier ce qui signifie une pente plus forte dans l'année 2020 que dans l'année 2014. Cette irrégularité est expliquée par le piégeage de sédiments à l'intérieur de la plage grâce aux deux arcs.

Le site d'étude est exposé à des houles dans les directions NE et O, ces houles atteignent la cote avec des valeurs comprise entre 0,5 à 4m, elles engendrent des courants de dérive suivant des directions parallèles à la cote avec des vitesses qui varient entre 0.24 à 0.6 m/s. Les fonds marins qui va Affecter la propagation des houles donc la bathymétrie a influencé la propagation de la houle.

Cependant, l'étude de propagation des houles du large vers la côte de provenance multiples (NE45° et O270°) nous a permis de mettre en évidence les paramètres responsables de la génération de courants littoraux qui transportent des taux importants de sables dans le sens est-ouest et Ouest-Est. En effet la simulation du transport sédimentaire nous a permis d'avoir une estimation des débits sédimentaires, de la direction du transite, ainsi que pour la détermination des zones à potentiel d'érosion ou d'accrétion.

Ces résultats concordent avec les constatations précédemment promu, ce qui leurs donne de la crédibilité, ces résultats peuvent nous aider à faire sortir une interprétation finale qui reflète le mieux les phénomènes présents et même de choisir une stratégie d'intervention adéquate pour remédier ce déséquilibre naturel.

**CHAPITRE VI:**  
**Dimensionnement des**  
**ouvrages de protection**

## Introduction

Ce chapitre focalise principalement sur la conception et le dimensionnement des ouvrages de protections de la grande plage « Sablettes » à la base des données et des essais au sein de laboratoire des études maritimes (LEM) et la réalisation par le MEDITRAM (méditerranéen des travaux maritimes).

Cette partie de notre travail nous donne des informations importantes en termes de dimensions des ouvrages implantés, les caractéristiques et même stabilité la faisabilité et de ce projet face aux conditions des houles extrêmes.

## 1. Aperçus général sur les ouvrages de protection (Epis en arc)

Notre zone d'étude (la grande plage) est constitué de deux ouvrages de protection (Epis est et Epis ouest).

### 1.1. Epis

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

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

Ainsi, ces ouvrages en forme d'arc peuvent constituer une solution adéquate pour notre site d'étude, de plus le fait qu'il existe un saillant à l'Est de la plage qui constitue une sorte d'obstacle naturel, ainsi il fonctionnera comme un épi et aidera ainsi à préserver le sable mis en place. (**Figure 47**).

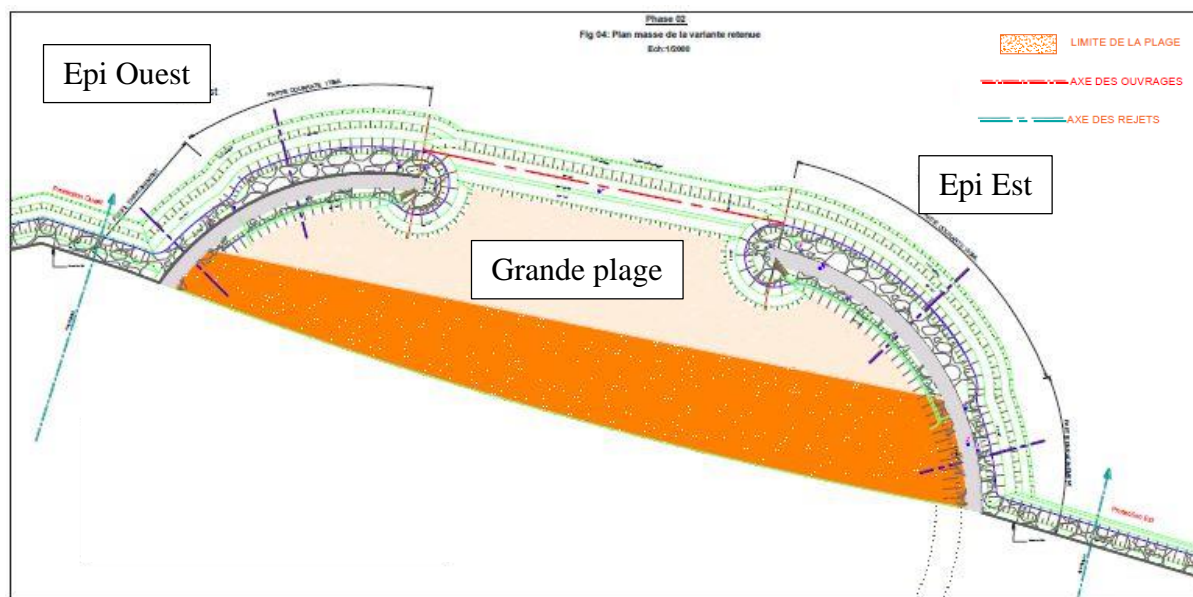


Figure 47 : Schéma représentatif des Epis est et ouest

## 1.2. Les éléments constituant l'ouvrage

- D'une carapace, qui fait l'objet principal des études de dimensionnement, est de protéger l'ouvrage de l'action de la houle et donc la dissipation de l'énergie de la houle. Les matériaux utilisés en carapace peuvent être constitués : d'enrochements naturels ; de blocs Artificiels massifs en béton
- D'une sous couche, le filtre, que l'on désigne aussi comme sous-couche, doit réaliser un certain nombre de fonctions à l'intérieur de la digue comme : filtre granulométrique entre le noyau et la carapace, fondation pour la carapace externe, filtre hydraulique et dissipation de l'énergie de la houle après son passage à travers la carapace et protection du noyau pendant la construction de l'ouvrage ;
- D'un noyau (généralement construit en matériau de dragage ou d'abattage, de granulométrie étalée comme le tout-venant) protégé par des sous-couches. Son rôle est de minimiser la transmission de l'énergie des vagues à l'intérieur du bassin ;
- D'un soubassement et éventuellement d'un tapis de pied à la partie inférieure de la digue;
- Une butée de pied et une protection anti-affouillement du talus côté mer de la digue sont nécessaires pour maintenir la stabilité du talus en cas d'érosion du fond de la mer.
- De cavaliers de pied qui renforcent, si besoin, l'ouvrage en partie basse ;
- Enfin d'un couronnement en partie haute qui représente la voie de circulation de la digue. Selon (Caminade, 1995) et (Cetmef, 2009)

## 2. Dimensionnement et conception

**Tableau 8:** Les équations utilisé pour le calcul des paramètres des digues

Formules	Variables
Formule d'HUDSON : $W = \frac{1}{K_D} \frac{\gamma_s}{\left(\frac{\gamma_s}{\gamma_0} - 1\right)^3} \frac{Hb^3}{\text{Cotg}\alpha}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>W</math> : le poids des blocs de carapace,</li> <li>• <math>\gamma_s</math> : Poids volumique des blocs utilisés</li> <li>• <math>\gamma_0</math>: Poids volumique de l'eau de mer,</li> <li>• <math>\text{Cotg}\alpha</math> : angle du talus,</li> <li>• <math>K</math>: Coefficient de stabilité adimensionnel de HUDSON, <math>K_D = 2</math> (musoire), <math>K_D = 4</math> (partie courante)</li> <li>• <math>H</math>: Houle de projet,</li> <li>• <math>W</math> : Poids d'un seul bloc,</li> <li>• <math>V</math> : Volume d'un seul bloc,</li> <li>• <math>D</math>: Diamètre nominale,</li> <li>• <math>n</math> : Nombres de couches,</li> <li>• <math>e</math> : Epaisseur de la carapace,</li> <li>• <math>N_s</math> : Nombre de blocs par unité de surface.</li> <li>• <math>K_\Delta</math> : coefficient de couche,</li> <li>• <math>P</math>: Porosité moyenne.</li> </ul>
Volume : $V = \frac{W}{\gamma_s}$	
Diamètre nominale : $D_n = \sqrt[3]{V},$	
Epaisseur de la carapace : $e = nD_n \quad ; \quad e = nK_\Delta \left(\frac{W}{\gamma_s}\right)^{1/3}$	
Nombre de blocs par unité de surface : $N_s = \frac{n}{D_n^2} \quad ; \quad N_s = nK_\Delta (1 - p) \left(\frac{\gamma_s}{W}\right)^{2/3}$	

Au vu du phasage préconisé lors de l'aménagement de cette protection, il a été décidé de procéder en deux phases :

- **Phase 01 :**

Procéder à la réalisation d'une protection frontale de la cote.

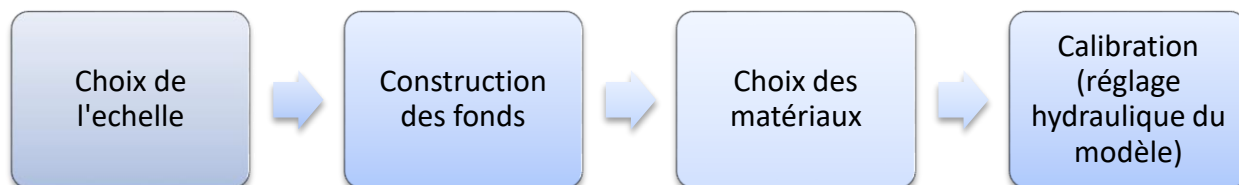
- **Phase 02 :**

Procéder à la réalisation des deux épis Est et ouest tout en intégrant le rechargement de la plage par la suite

Pour cette étude plusieurs essais ont été faits afin de choisir la variante adéquate pour le cas de la grande plage, donc une variante qui répond plus aux conditions météorologiques, climatiques et esthétiques.

### 3. Construction d'un modèle réduit physique pour la variante retenue

Les essais se sont déroulés dans le bassin à houle du centre d'essais sur modèle du Laboratoire d'Études Maritimes, les étapes sont figurées dans la **(figure 48)** qui suit



**Figure 48** : les étapes de construction d'un mode réduit physique

Les résultats des essais sont figurés dans le **(tableau 9)** suivant :

**Tableau 9**: les résultats des essais pour le choix des variantes

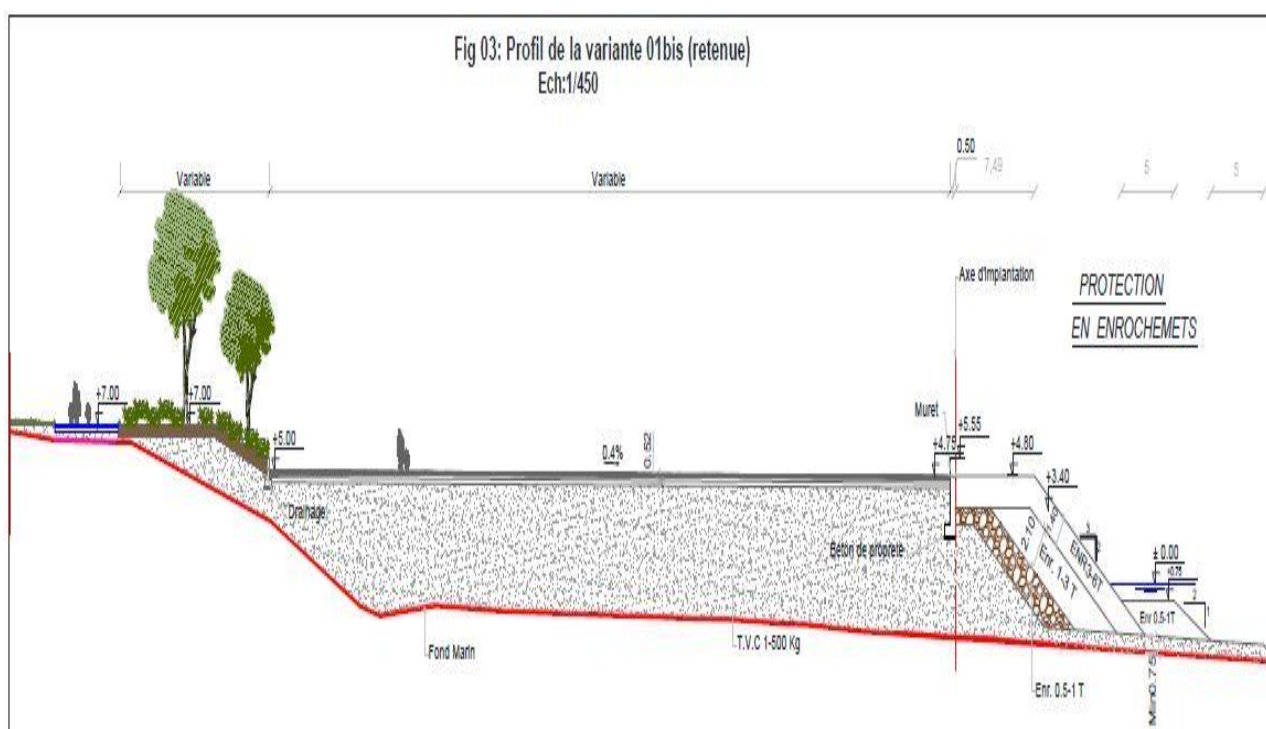
Variante choisie	Résultats	Conclusion
<b>Phase I</b>		
Variante 01bis est caractérisée par : Des enrochements 3t.	<p><b>Direction N360°</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les enrochements 3t sont stables et pas de projection.</li> </ul> <p><b>Direction N340° et N20°</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les enrochements 3t sont stables et pas de projection.</li> </ul>	Variante stable
<b>Phase II</b>		
Variante 2 est caractérisé par : <b>Épi Ouest :</b> <p style="text-align: center;"><b>Partie courante</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mis en place d'une couche filtre 0.5-1t sous les enrochements 3-6t de la berme du talus intérieur, arasée à -0.20m.</li> <li>• Des enrochements de 1-3t.</li> </ul> <p><b>Épi Est</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Partie courante</b></p>		

## Dimensionnement des ouvrages de protection

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Des enrochements de 1-3t</li> <li>• Mis en place d'une couche filtre 0.5-1t sous les enrochements 3-6t de la berme du talus intérieur, arasée à -0.20m</li> </ul>	Rien à signalé pour les trois directions.	La variante est stable
--	---	------------------------

- **Les dimensions de la variante retenue**

La variante retenue pour ce projet est « la variante 01 bis » qui présente des résultats de stabilité satisfaisant. **(figure 49), (figure 50), (figure 51).**



**Figure 49** : Profil de la variante 01 bis (retenue).

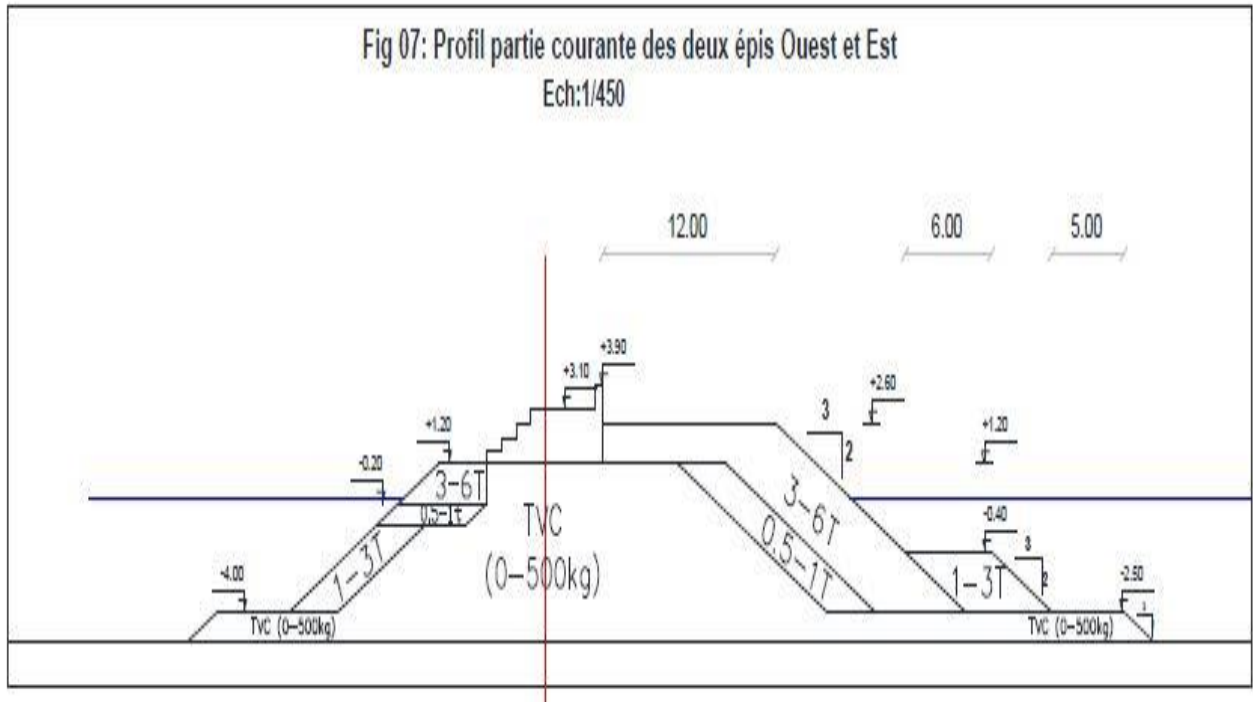


Figure 50 : Profil partie courante des deux épis Ouest et Est

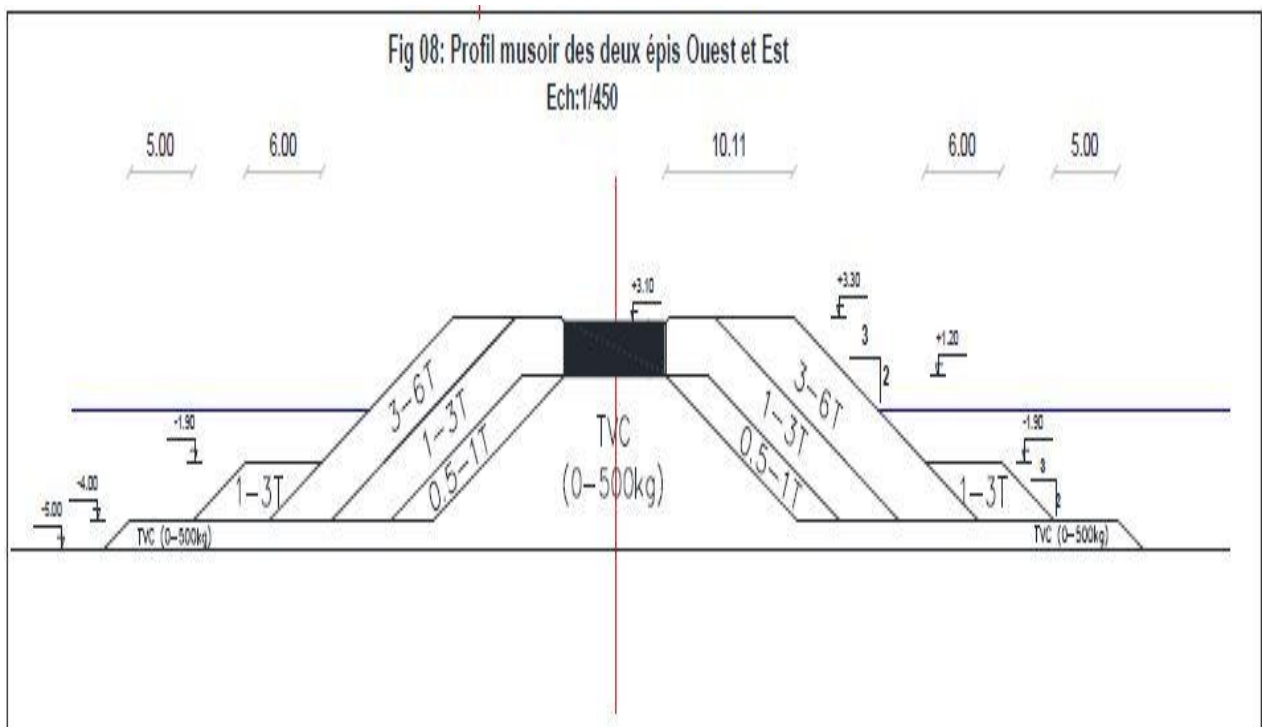


Figure 51 : Profil musoir des deux épis Ouest et Est.

- **Rechargement de grande plage**

### **La plage**

Elle est Constituée de :

- 1ère couche : Un noyau en TVC (1 - 500) kg arasé à -1.50m avec une berme de 12m et au-delà une pente de 5% qui se prolonge jusqu'à la butée ;
- 2ère couche : Constituée de granulats (3-8mm) de 2.50m d'épaisseur, elle commence par une berme de 12m et au-delà une pente de 5% qui se prolonge jusqu'à la butée ;
- 3ère couche : Constituée de sable (0.3-1mm) de 1.00m d'épaisseur, elle commence par une berme de 12m et au-delà une pente de 5% qui se prolonge jusqu'à la butée.

### **La Butée**

- Une butée en enrochement 3-6t à l'extrémité de la plage avec 10.00m de berme et 3/2 de pente arasée à -1.65m ;
- Une couche en enrochement 1-50kg de 1.00m d'épaisseur derrière la butée avec 2.25m de berme arasée à -1.65m, elle repose sur un tapis en TVC 0-500kg avec 5.00.
- Deux couches en enrochements 1-3t située derrière la couche en enrochement 1-50kg arasée à -1.65m, avec 6.50m de berme et 3/2 de pente.

## **Conclusion**

Dans le domaine de génie côtier le dimensionnement des ouvrages maritimes est une phase très rugueuse qui nécessite une telle précision et expertise, donc cette étude nous a permis de choisir la variante la plus adéquate en terme de stabilité aux attaques extrêmes des houles en prenant en compte quelques critères de sécurité.

# **Conclusion générale**

### Conclusion générale

L'objectif de cette étude en considérant la situation comparative globale 2014/2020, la grande plage est en voie de s'élargir parce qu'elle va capter des sédiments grâce aux deux arcs construits au niveau de la zone d'étude qui sont même des ouvrages de protection contre l'érosion côtière donc ça va être plus durable ce qui est montré par l'évolution sur le plan bathymétriques.

La conjugaison entre les facteurs naturels et anthropiques rend le milieu littoral très fragile face aux risques naturels notamment l'érosion côtière et la submersion marine.

On a entamé ce travail par une méthodologie qui est basée sur l'utilisation des logiciels Mike 21 et ArcGis. Cette combinaison vise à réaliser une analyse comparative. Ça nous a permis d'observer le changement exercé sur la baie d'Alger par les ouvrages installés tout au long de la grande plage.

Cette étude nous a permis d'obtenir ces résultats :

Les études d'aménagement des ouvrages de protection est l'une des études les plus complexes vu l'instabilité du milieu qui nécessite une multitude de connaissances scientifiques, techniques et plusieurs approches préliminaires dont elles servent à savoir utiliser ces milieux sans en abuser.

La modélisation numérique de la propagation des houles démontre que la houle du secteur Nord est la plus menaçante pour le site.

L'étude comparative de la bathymétrie des deux années (2014/2020) nous a permis de conclure que la géomorphologie sous-marine de la zone d'étude a été modifiée après l'emplacement des ouvrages (les deux épis) est devenue une plage avec une pente plus forte.

L'étude hydrosédimentaire entre les deux périodes, nous a permis de déterminer la propagation des houles de large vers la côte des différentes directions, aussi elle permet de déduire le champ de courant de dérive engendrés qui contrôlent la géomorphologie des plages.

L'étude granulométrique a montré la présence des sédiments très fins et homogènes au niveau de notre plage d'étude « la grande plage » en biais des résultats de la médiane (D50). Les valeurs de l'indice de classement et du coefficient d'asymétrie indiquent la présence des sédiments très bien triés avec un décalage maximum vers les particules fines, cela explique que les courants existants sont réguliers et faibles.

L'étude sédimentaire indique que les teneurs de la fraction fine ( $<40\mu\text{m}$ ) sont faibles, et ne dépassent guère les 34 % et reflètent ainsi l'importance de l'hydrodynamisme dans la zone des «Sablettes » avec l'abondance des courants réguliers et modérés.

### **Perspective :**

Ce travail est réalisé dans le cadre du projet de fin d'études, il nous a permis de créer une base de données récente et d'approfondir nos connaissances avec les techniques de modélisation, d'analyse et de se familiariser avec le terrain afin de mieux comprendre la dynamique côtière.

Cette étude ne demeure pas moins perfectible mais nécessite des améliorations en termes de résolution et d'actualité dans le but d'aboutir des résultats satisfaisants et de hautes qualités qui reflètent exactement à la réalité nécessite :

- La disponibilité des données climatiques plus récentes et précises de l'ONM.
- Des données bathymétriques récentes et plus précises.
- La disponibilité des instruments assez récents pour l'acquisition des données bathymétriques à l'intérieur de la grande plage en utilisant un échosondeur multi-fuseau
- Levée topographique avec le DGPS pour les traits de côtes de la zone d'étude.
- Encouragement du partage de l'information dans le cadre de la recherche scientifique.
- Des vérités terrains.

# **Références Bibliographique**

## Références bibliographique

- **AAGAARD, T., GREENWOOD, B., NIELSE, J., (1997).** Mean currents and sediment transport in a rip channel, 25 p-45 p.
- **ABDELLAOUI, A., BENBETKA, Y. (2017).** Modélisation des processus hydro-sédimentaires de la plage de Sidi Fredj. Ecole Nationale Polytechnique, 191p.
- **ABDERRAHMAN, K., KHEDIMI, F.(2008).** Baie d'Alger : Etude de quelques paramètres de gestion du littoral et apport de la télédétection. Mémoire fin d'étude. Dely Brahim. Alger: Mémoire d'ingénieur en Aménagement du littoral : ENSSMAL. 14 p-16 p.
- **ALLOSURF.** L'ORIGINE DE LA HOULE, SA FORMATION, LE VENT. [en ligne]. [Consulté le 03/5/2020]. Disponible sur le web : <https://www.allosurf.net/communaute/dossier-surfologie-l-origine-de-la-houle-sa-formation-le-vent-news-3385.html>
- **AMAROUCHE. (2015).** Contribution à la recherche des zones à fort potentiel d'énergie houlomotrice à base d'un modèle hydrodynamique. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 111 p.
- **AUSTIN, M, J., MASSELINK, G. (2005).** Observations of morphological change and sediment transport on a steep gravel beach. Loughborough University. Volume, 229, 59 p-77 p.
- **AYADI, K. (2016).** Les Variations historiques de la ligne du rivage, érosion côtière dans la baie de Bejaia. Modélisation des transports sédimentaires en mer et impacts des ouvrages de protection sur la côte. Thèse doctorat en science de la terre, géographie et aménagement du territoire. Alger : USTHB, 320 p.
- **BEAUCHAMP, J. (2005).** Cours de Sédimentologie. [En ligne]. [consulté le 21 octobre 2020] disponible sur le web : <https://www.u-picardie.fr/beauchamp/cours-sed/sed-7.htm>.
- **BENALLAL, O, k. (1989).** Etude hydrogéologique et géotechnique de la zone côtière de Staoueli- Sidi Fredj (Ouest Algérois), Alger: sn.
- **BENAVENTE, J. (2000).** Empirical model of morpho-dynamique beachface behaviour for low-energy mesotidal environment, 375 p-390 p.
- **BERNATCHEZ, P., DUDOIS, M. (2004).** Bilan des connaissances de la dynamique de l'érosion des côtes du Québec maritime laurentien. Québec. Géographie physique et Quaternaire, 58 : 45 p-71 p.
- **BONNEFILLE, R. (1992).** Cours d'hydraulique maritime. France : Masson, 208 p.

- **BOUGIS, J. (2003).** Les Etats de Mer Naturels. Institut des Sciences de l'Ingénieur de Toulon et du Var. Université de Toulon Et du Var, 12 p.
- **BOUKHEDICHE, W. (2017).** Etude de faisabilité de rechargement artificiel des plages de la côte Ouest-algéroise. Mémoire d'Ingénieur en science de la mer, spécialité Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 92 p.
- **BOULVAIN, F. (2020).** Une brève histoire de la Terre. Académie royale de Belgique, l'Académie en Poche, 88 p.
- **BOUNNOUA, K. (2017).** Etude des écosystèmes dunaires algérois : étude comparative entre les deux ensembles dunaires du Mazafran et d'El Kadous. Mémoire d'Ingénieur en science de la mer, spécialité Aménagement de littoral. Alger : ENSSMAL, 136 p.
- **BRIERE, C. (2005).** Etude de l'hydrodynamique d'une zone côtière anthropisée: l'embouchure de l'Adour et les plages adjacentes d'Anglet (PhD Thesis). [En ligne] [Consulté le 18/6/2020] disponible sur « theses.fr
- **BUTT, T., RUSSEL, T. (2000).** Hydrodynamics and Cross-Shore Sediment Transport in the Swash-Zone of Natural Beaches: A Review. Journal of Coastal Research, vol. 16, no. 2, 255–268 p.
- **BUTT, T., RUSSEL, T., TURNER, L. (2001).** the influence of swash infiltration–exfiltration on beach face sediment transport: onshore or offshore, 35 p-52 p. [En ligne] [ Consulté le 30/10/2020] disponible sur <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378383900000466>
- **CAMINADE, D. (1995).** Ouvrages de protection contre la houle. Techniques de l'ingénieur Infrastructures, environnement et transport par voie d'eau. TIB617, no ref. Article : c4631. Publisher : Editions T.I. [en ligne]. [Consulté le 18/03/2020]. Disponible sur le site Web : <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/ingenierie-des-transports-th14/infrastructures-environnement-et-transport-par-voie-d-eau-42617210/ouvrages-de-protection-contre-la-houle-c4631/>
- **CARON, (2017).** Cours de géomorphologie universités de picardie jules verne [en ligne]. [Consulté 25/09/2020]. Disponible sur le web : <https://www.studocu.com/fr/document/universite-de-picardie-jules-verne/geomorphologie/notes-de-cours/geomorphologie-littorale-complet/2087537/view>.
- **CASTELLE, B. (2004).** Modélisation de l'hydrodynamique sédimentaire au-dessus des barres sableuses, Bordeaux.
- **CETMEF, (2009).** Guide Enrochement : L'utilisation des enrochements dans les ouvrages hydrauliques. Version française du Rock manual (2e édition). Compiègne ; Pays-Bas ; Londres :

centre d'études techniques maritimes et fluviales (France). [en ligne]. [Consulté le 19/09/20].

Disponible sur le site Web <https://www.researchgate.net/publication/269145860>.

- **CHANEL, C. (2012).** Analyse de données LiDAR aéroportées et apport des méthodes topographiques pour les expérimentations géophysiques de tomographie dans le cadre du projet TOMUVOL sur le site expérimental du dôme volcanique du Puy de Dôme. Mémoire d'ingénieur. École Supérieure des Géomètres et Topographes. Boulevard Pythagore, 68 p.
- **CHEREL, J, P. (2010).** Création d'un Modèle Numérique de Terrain raster à partir de courbes de niveau (vecteur) Visualisation en 2D [en ligne]. [Consulté le 04/04/2020]. Disponible sur le web : [http://www.univmontp3.fr/ateliermercator/wpcontent/uploads/2010/03/MNT\\_PELEE\\_230310.pdf](http://www.univmontp3.fr/ateliermercator/wpcontent/uploads/2010/03/MNT_PELEE_230310.pdf)
- **COWELL, B., THOM, R. (1994).** Morphodynamics of coastal evolution. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. [en ligne]. [Consulté 15/09/2020] Disponible sur le web : <http://services.cambridge.org/us/academic/subjects/earth-and-environmental-s>.
- **DAHMANI, A. (2016).** Utilisation de la modélisation physique et numérique pour l'étude des paramètres hydrodynamiques dans la zone centre « Algéroise Le site des Sablettes », 156 p.
- **DEGRYSE-KULKARNI, C., LEVOY, F., MONFORT, O., MILES, J. (2004).** Morphological variations of a mixed sediment beachface (Teignmouth, UK). [En ligne]. [consulté le 10 novembre 2020] disponible sur : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0278434304000500>
- **DEIGAARD, R. (1992).** Mechanics of Coastal Sediment Transport, volume 3, technical university of Denmark. 392 p.
- **DEMOUCHE, R. (2017).** Processus mis en jeu dans l'évolution morphodynamique de la Baie de Zemmouri (Modélisation et observations hydrodynamiques et sédimentaires). Mémoire d'ingénieur en Aménagement du littoral. Dely Brahim. Alger: ENSSMAL, 32 p-119 p.
- **DJELLOULI, Y., SACI, A. (2003).** Catastrophe « naturelle » : les inondations dévastatrices du 9 et 10 novembre 2001 à Bab el Oued (Alger, Algérie), Université du Maine, avenue Olivier Messiaen, 242 p.
- **DOMZIG. (2006).** Déformation active et récente, et structuration tectono-sédimentaire de la marge sous-marine algérienne. Thèse de Doctorat, Université de Bretagne occidentale. Brest.
- **DREAL. (2008).** Les cellules sédimentaires. [en ligne]. [Consulté le 02/10/2020]. Disponible sur le web : <http://www.occitanie.developpement-durable.gouv.fr/les-cellules-sedimentaires-a537.html> <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0278434304000500>.

- **EGIS EAU., IAU-IDF, BRGM (2013).** Etude sur la vulnérabilité et l'adaptation de la wilaya d'Alger au changement climatique et aux risques naturels. Phase 1 –évaluation et représentation des sources de vulnérabilité. France, 12 p.
- **FAYE, I. (2010).** Dynamique du trait de côte sur les littoraux sableux de la Mauritanie à la Guinée-Bissau (Afrique de l'Ouest) : Approches régionale et locale par photo-interprétation, traitement d'images et analyse de cartes anciennes. [en ligne]. [consulté le 10 novembre 2020] Disponible sur le web : "<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00472200/PDF/DYNAMIQUE-DU-TRAIT-DE-CO>".
- **GLANGEAUD, A., AYME, A. (1952).** Histoire géologique de la province d'Alger. Monographies régionales. 1re série, Algérie, 141 p.
- **GLANGEAUD, L. (1932).** Étude géologique de la région littorale de la province d'Alger. 627 p [En ligne]. [consulté le 14/08/2020] disponible sur : <https://www.worldcat.org/title/etude-geologique-de-la-region-littorale-de-la-province-dalger/oclc/250192449?referer=di&ht=edition>
- **GRASSO, F (2009),** Modélisation physique de la dynamique hydro-sédimentaire des plages [en ligne]. [Consulté le 21/01/2020]. Disponible sur le web <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00432041/document>
- **GREENWOOD, B., OSBORNE, P, D. (1990).** Vertical and horizontal structure in cross-shore flows: An example of undertow and wave set-up on a barred beach, 543 p-580 p.
- **GREENWOOD, B., OSBORNE, P, D. (1991).** Equilibrium slopes and cross-shore velocity asymmetries in a storm-dominated, barred nearshore system. 211 p-235 p.
- **HENTATI, I., ZAIRI, M., BEN DHIA, H. (2008).** HydroTools : Outil pour la modélisation et l'extraction d'un réseau hydrologique.
- **HEQUETTE, A., HILL, R. (1993).** Storm-generated currents and offshore sediment transport on a sandy shoreface, Tibjak Beach, Canadian Beaufort Sea, 283 p-304 p. [en ligne]. [Consulté 28/09/2020]. Disponible sur le web <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0025322793900230>
- **KOMAR, P, D. (1983).** Chapter 9: Coastal Erosion in Response to the Construction of Jetties and Breakwaters». In Handbook of Coastal Processes and Erosion. Boca Raton: CRC Press, 191 p-204 p.
- **KRAUS, N., CARTER, R. (1988).** Coastal Environments: An Introduction to the Physical, Ecological and Cultural Systems of Coastlines. Cambridge: Academic Press, 616 p. [en ligne]. [Consulté le 15/09/2020]. Disponible sur le web : <https://books.google.dz/books>

- **KRAUS, N., PILKEY, O. (1988).** «The effects of seawalls on the beach». Journal of Coastal Research, vol. SI4. [en ligne]. [Consulté 15/09/2020]. Disponible sur le web: <https://www.jstor.org/stable/25735351>.
- **L'EID Méditerranée, SMNLR. (2005)** : Connaissance et gestion de l'érosion du littoral. Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse. France Mars 2005. 6 p-7 p.
- **LEM. (2014).** Expertise pour l'étude de protection de rivage du site est de la baie d'Alger Document non publié. Alger : Laboratoire des études maritimes.
- **LEYVA, S. (2005).** Coastal Processes Lesson. [En ligne]. [consulté le 13 septembre 2020] disponible sur le web : [http://geophile.net/Lessons/coasts/coasts\\_02.html](http://geophile.net/Lessons/coasts/coasts_02.html).
- **MacMAHAN, J, H., THORNTON, B., RENIERS, J, H, M. (2006).** Rip current review. [en ligne]. [consulté le 9 octobre 2020], 191-208 p. disponible sur le site web : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378383905001353>
- **Manuelle d'Arcgis.** Créer une surface TIN—ArcGIS Pro, Documentation [en ligne]. [Consulté le 15/10/2020]. Disponible sur le web : URL <https://pro.arcgis.com/fr/pro-app/help/data/tin/create-a-tinsurface.htm> (accessed10.15.20).
- **MAOUCHE. (1987).** Mécanismes hydro sédimentaires en baie d'Alger (Algérie) : approche sédimentologique, géochimique et traitement statistique. Thèse de doctorat. France : Université de Perpignan, 213 p.
- **MEZOUAR, K. (2009).** Etude comparative entre les méthodes de protection des deux littoraux algérien et roumain, Roumanie.342 p.
- **MIGNIOT, T. (1990).** Modélisation physique de la dynamique hydro-sédimentaire des plages. Océan, Atmosphère. Université Joseph-Fourier - Grenoble I, 114 p.
- **\_MOUSSA, O, M., DEGRE, A., DEBOUCHE, C. (2014).** Synthèse bibliographique : le modèle numérique de terrain de haute résolution, ses erreurs et leur propagation. BASE, 15 p.
- **NADIR, M. (2016)** Modélisation numérique de la morpho dynamique d'une côte sableuse soumise à l'effet des vagues et des houles cas : Plage Est de SIDI Fredj. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL.149 p.
- **NECHENACHE, F. (2015).** Etude géomorpho-sédimentaire de la zone côtière du parc national de TAZA (wilaya de Jijel). Mémoire d'Ingénieur en science de la mer, spécialité Aménagement de littoral. Alger : ENSSMAL, 138 p.
- **NOURI, M., YAHIA, M. (2017).** Combinaison des modèles numériques et des images satellites pour la détermination des courants côtiers. Mémoire d'Ingénieur en science de la mer, spécialité Aménagement du littoral. ENSSMAL, Alger : 108 p.

- **PAC. (2004).** Programme d'Aménagement Côtier : Zone côtière algéroise. Rapport final intégré. MATE.l'Algérie. 202 p.
- **PASKOFF, R. (1993).** Conséquences possibles sur les milieux littoraux de l'élévation du niveau de la mer prévue pour les prochaines décennies. *Annales de Géographie, JSTOR*, 233p–248 p.
- **PASKOFF, R. (1998).** La crise des plages: pénurie de sédiments, Mappemonde. Edition Mappemonde 52. 5p.
- **PASKOFF, R., CLUS, A. (2007).** L'érosion des plages : les causes, les remèdes. Paris : Institut océanographique.184 p.
- **PUTREVU, U., SVENDSEN, A. (1993).** Vertical structure of the undertow outside the surf zone [en ligne]. [Consulté le 24/08/2020]. Disponible sur le web : <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/93JC02399>
- **RIHOUEY, D. (2004).** Analyse statistique de l'évolution morphodynamique des plages sableuses : Application aux sites d'étude du Programme National d'Environnement Côtier et aux plages d'Anglet. Pau.
- **RUESSINK, B, G., KLEINHANS, M, G., VAN DEN BEUKEL, P, G, L. (1998).** Observations of swash under highly dissipative conditions. [En ligne]. [consulté le 16 septembre 2020] disponible sur : <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/97JC02791>
- **SHORT, A, D., HOGAN, C, L. (1994).** Rip Currents and Beach Hazards: Their Impact on Public Safety and Implications for Coastal Management, 13 p.
- **THAN, V. (2015).** Modélisation d'érosion côtière : application à la partie ouest du tombolo de Giens, MARSEILLE.
- **VAN RIJN, L. (1993).** Principles of sediment transport in rivers, estuaries and coastal seas. Aqua Publications, 34 p-44 p.
- **WRIGHT, L, D., SHORT, A, D. (1984).** Morph dynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. *Marine geology*. Vol. 56, n°1-4, 93 p-118 p.
- **YAHYAOU, Z., RBAI, N., SAADI, A. (2014).** Etude descriptive de l'évolution saisonnière des dunes bordières de la plage de Korba (façade orientale, Cap Bon) par la méthode des Modèles Numériques de Terrain Résiduel, *Bull. Institut National des Sciences Techniques. Mer de Salammbô, l'Algérie*. Vol 41 , 16 p.

# **Annexes**

## Annexes

**Tableau 1** : Les coordonnées géographiques des stations de prélèvement de la grande plage.

<b>Stations de prélèvement</b>	<b>X (métrique)</b>	<b>Y (métrique)</b>
1	509181	4066849
2	509219	4066864
3	509201	4066819
4	509205	4066843
5	509304	4066873
6	509287	4066825
7	509281	4066808
8	509373	4066864
9	509351	4066790
10	509339	4066762
11	509434	4066762
12	509433	4066808
13	509431	4066771
14	509427	4066744
15	509503	4066794
16	509486	4066766
17	509477	4066736
18	509510	4066730
19	509525	4066749
20	509546	4066760
21	509567	4066749
22	509570	4066714
23	509574	4066712
24	509583	4066725
25	509486	4066897
26	509546	4066884
27	509608	4066842

**Tableau 2 : % des pélites pour la partie marine**

<b>Stations de prélèvement</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>% des pélites</b>
<b>1</b>	509181	4066849	0.24
<b>2</b>	509219	4066864	1.25
<b>3</b>	509201	4066819	0.21
<b>4</b>	509205	4066843	0.71
<b>5</b>	509304	4066873	0.21
<b>6</b>	509287	4066825	0.01
<b>7</b>	509281	4066808	7.06
<b>8</b>	509373	4066864	0.14
<b>9</b>	509351	4066790	2.82
<b>10</b>	509339	4066762	9.42
<b>11</b>	509434	4066762	25.99
<b>12</b>	509433	4066808	9.28
<b>13</b>	509431	4066771	1.95
<b>14</b>	509427	4066744	3.56
<b>15</b>	509503	4066794	1.9
<b>16</b>	509486	4066766	0.35
<b>17</b>	509477	4066736	0.12
<b>18</b>	509510	4066730	0.03
<b>19</b>	509525	4066749	2.92
<b>20</b>	509546	4066760	12.16
<b>21</b>	509567	4066749	2.94
<b>22</b>	509570	4066714	0.98
<b>23</b>	509574	4066712	0.03
<b>24</b>	509583	4066725	1.6
<b>25</b>	509486	4066897	13.58
<b>26</b>	509546	4066884	36.51
<b>27</b>	509608	4066842	1.59

**Tableau 3 : D50 : Le Diamètre moyen des sédiments**

<b>Stations de prélèvement</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>D50</b>
1	509181	4066849	0.17767
2	509219	4066864	0.17417
3	509201	4066819	0.6309
4	509205	4066843	0.17284
5	509304	4066873	0.19619
6	509287	4066825	0.142
7	509281	4066808	0.13032
8	509373	4066864	0.16131
9	509351	4066790	0.1747
10	509339	4066762	0.18498
11	509434	4066762	0.18747
12	509433	4066808	0.17087
13	509431	4066771	0.11588
14	509427	4066744	0.16565
15	509503	4066794	0.13295
16	509486	4066766	0.1283
17	509477	4066736	0.20205
18	509510	4066730	0.14234
19	509525	4066749	0.19353
20	509546	4066760	0.19136
21	509567	4066749	0.16692
22	509570	4066714	0.06607
23	509574	4066712	0.12462
24	509583	4066725	0.16677
25	509486	4066897	0.17798
26	509546	4066884	0.14849
27	509608	4066842	0.07669

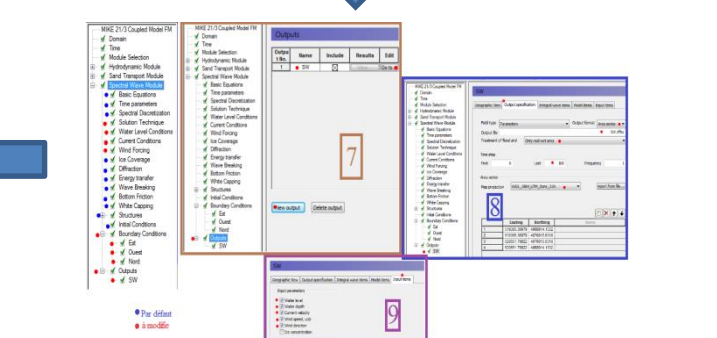
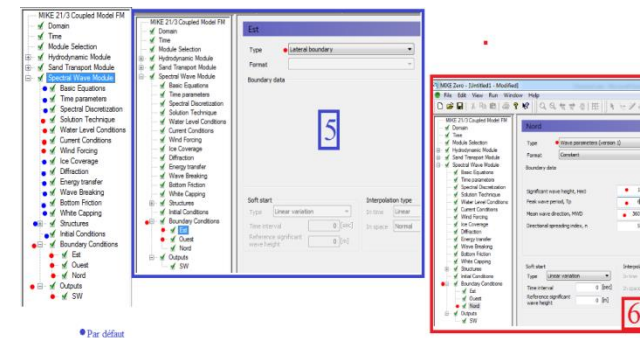
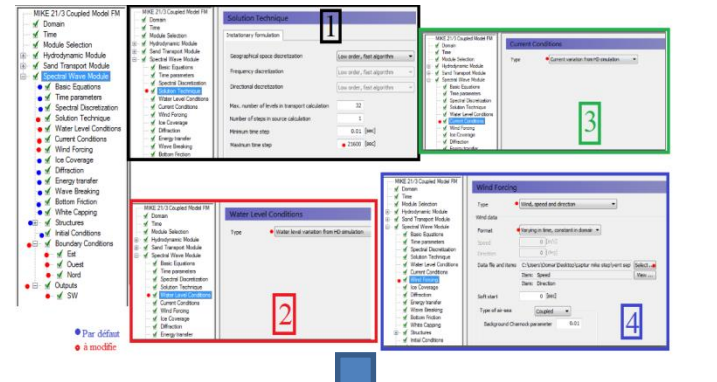
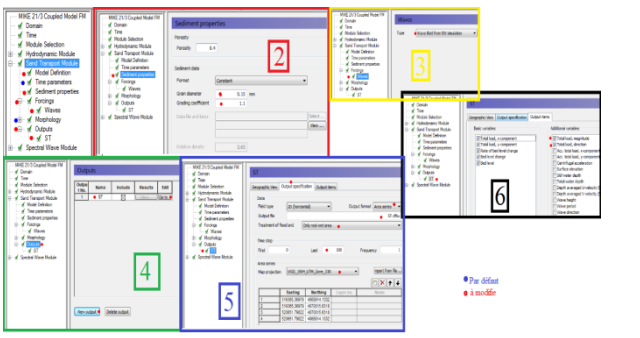
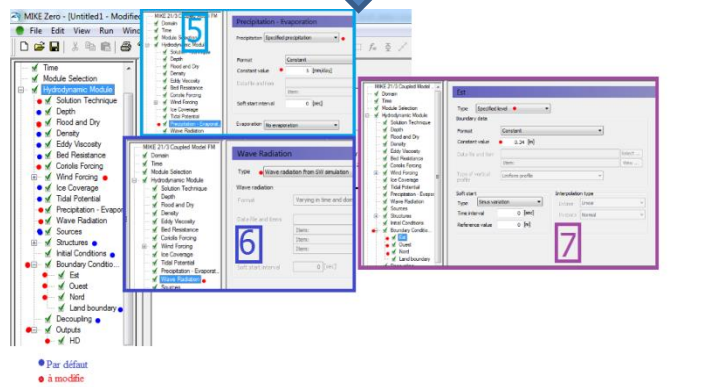
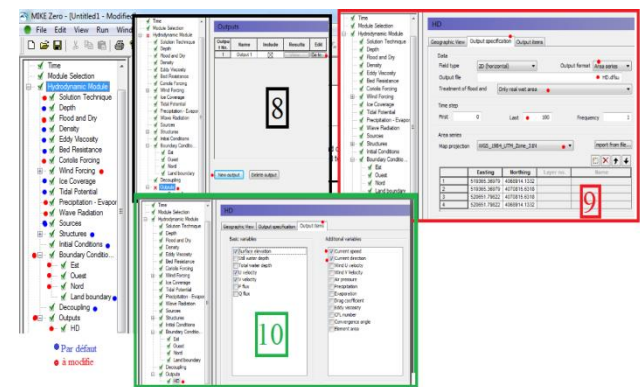
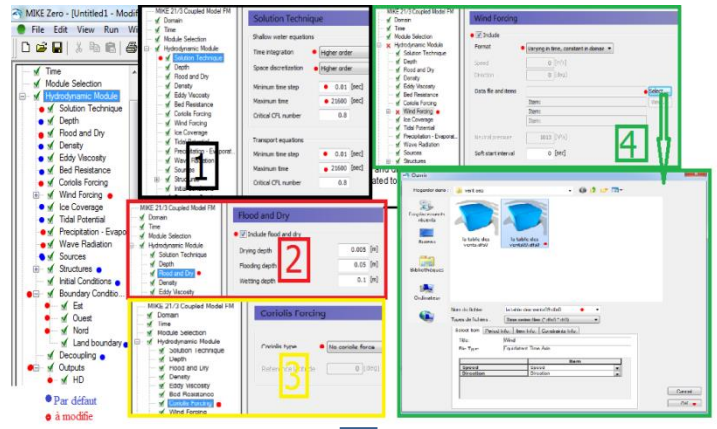
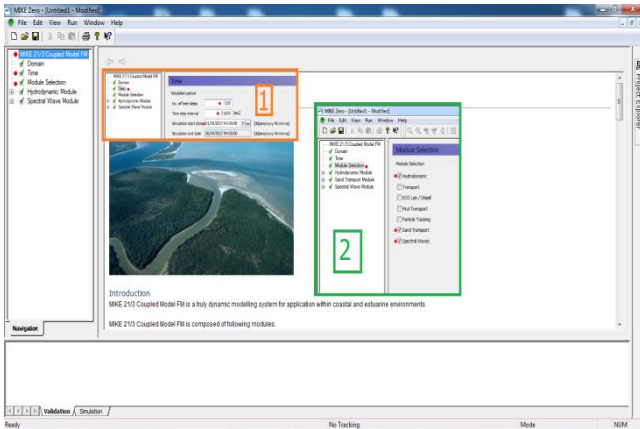
**Tableau 4 : D90 : diamètre du grain à l'ordonnée 90%**

<b>Stations de prélèvement</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>D90</b>
<b>1</b>	509181	4066849	0.42416
<b>2</b>	509219	4066864	0.73281
<b>3</b>	509201	4066819	1.6333
<b>4</b>	509205	4066843	0.34262
<b>5</b>	509304	4066873	0.63
<b>6</b>	509287	4066825	1.6892
<b>7</b>	509281	4066808	0.25802
<b>8</b>	509373	4066864	0.35488
<b>9</b>	509351	4066790	0.36282
<b>10</b>	509339	4066762	1.5725
<b>11</b>	509434	4066762	1.3484
<b>12</b>	509433	4066808	1.7941
<b>13</b>	509431	4066771	1.8441
<b>14</b>	509427	4066744	0.30011
<b>15</b>	509503	4066794	0.20642
<b>16</b>	509486	4066766	0.29911
<b>17</b>	509477	4066736	1.1989
<b>18</b>	509510	4066730	0.61177
<b>19</b>	509525	4066749	1.7778
<b>20</b>	509546	4066760	0.48067
<b>21</b>	509567	4066749	0.29745
<b>22</b>	509570	4066714	0.41196
<b>23</b>	509574	4066712	0.35463
<b>24</b>	509583	4066725	0.315
<b>25</b>	509486	4066897	0.2704
<b>26</b>	509546	4066884	0.25013
<b>27</b>	509608	4066842	0.61951

**Tableau 5 : D10 : diamètre du grain à l'ordonnée 10%**

<b>Stations de prélèvement</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>D10</b>
<b>1</b>	509181	4066849	0.12626
<b>2</b>	509219	4066864	0.12124
<b>3</b>	509201	4066819	0.24493
<b>4</b>	509205	4066843	0.11846
<b>5</b>	509304	4066873	0.13833
<b>6</b>	509287	4066825	0.05065
<b>7</b>	509281	4066808	0.07041
<b>8</b>	509373	4066864	0.09632
<b>9</b>	509351	4066790	0.10603
<b>10</b>	509339	4066762	0.09255
<b>11</b>	509434	4066762	0.06698
<b>12</b>	509433	4066808	0.07118
<b>13</b>	509431	4066771	0.04784
<b>14</b>	509427	4066744	0.05448
<b>15</b>	509503	4066794	0.07179
<b>16</b>	509486	4066766	0.06794
<b>17</b>	509477	4066736	0.15355
<b>18</b>	509510	4066730	0.04660
<b>19</b>	509525	4066749	0.13517
<b>20</b>	509546	4066760	0.13885
<b>21</b>	509567	4066749	0.10664
<b>22</b>	509570	4066714	0.04077
<b>23</b>	509574	4066712	0.05080
<b>24</b>	509583	4066725	0.12306
<b>25</b>	509486	4066897	0.13529
<b>26</b>	509546	4066884	0.09902
<b>27</b>	509608	4066842	0.04193

# Les étapes de la simulation (model couplé Mike 21/3 FM) :



## Résumé

La bande littorale est un espace commun et très fragile face aux risques naturels notamment l'érosion côtière et la submersion marine. La grande plage des Sablettes est fortement sollicitée par des forçages hydrodynamique par des houles de provenance Ouest et Nord Est en s'ajoutant toutes les interventions anthropiques.

La lutte contre ces phénomènes fait appel à l'installation des ouvrages de protection comme le cas de la grande plage d'où l'étude comparative de la bathymétrie des deux profils (2014/2020) nous a permis de conclure que la morphologie sous-marine de la zone d'étude a été modifiée après l'emplacement des ouvrages (les deux épis) est devenue une plage avec une tendance d'accrétion. L'étude hydro-sédimentaire entre les deux périodes, nous a permis de déterminer la propagation des houles de large vers la côte des différentes directions, aussi elle permet de donner une idée sur la circulation des courants de dérive littoral qui contrôlent la morphologie des plages.

Mots clés : Risques naturels, La grande plage, forçages hydrodynamique, ouvrages de protection, bathymétrie.

## Abstract

The coastal strip is a common space and very fragile in the face of natural risks, particularly coastal erosion and marine submersion. The large beach of Les Sablettes is strongly solicited by hydrodynamic forcing by swells from the west and north-east, in addition to all the anthropic interventions.

The comparative study of the bathymetry of the two profiles (2014/2020) allowed us to conclude that the submarine geomorphology of the study zone was modified after the location of the structures (the two groins) became a beach with a steeper slope. The sedimentary hydrodynamic study between the two periods, allowed us to determine the propagation of wide swells towards the coast from different directions, also it allows us to deduce the coastal drift currents that control the geomorphology of the beaches.

Keywords: Coastal strip, coastal erosion, marine submersion, swells, protection works, bathymetry, underwater geomorphology, sedimentary, currents, coastal drift.

## ملخص

يعد الشريط الساحلي مكانًا شائعًا وهشًا للغاية في مواجهة المخاطر الطبيعية، لا سيما تآكل السواحل وظاهرة الغمر البحري. يتعرض شاطئ Sablettes الكبير لضغط شديد بسبب التأثير الهيدروديناميكي من خلال الاضطرابات القادمة من الغرب والشمال الشرقي، بالإضافة إلى جميع التدخلات البشرية.

تستدعي مكافحة هذه الظواهر تركيب هياكل واقية مثل حالة الشاطئ الكبير حيث تسمح لنا الدراسة المقارنة لقياسات الأعماق في المقطعين الطولين (2020/2014) باستنتاج ان هناك تغير كبير في جيومورفولوجيا قاع البحر لمنطقة الدراسة و هذا بعد انشاء تلك الهياكل الدفاعية التي بدورها سمحت بإنشاء شاطئ. سمحت لنا الدراسة المائية الرسوبية بين الفترتين بتحديد انتشار الانتفاخات العريضة باتجاه الساحل من اتجاهات مختلفة، كما أنها تسمح بإعطاء فكرة عن دوران تيارات الانجراف الساحلية التي تتحكم في شكل الشواطئ.

## الكلمات المفتاحية

أخطار الطبيعة، الشاطئ الكبير، التأثير الهيدروديناميكي، هياكل الحماية، قياس الأعماق.