

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة الساحل
École Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME D'INGÉNIEUR D'ÉTAT ET
GRADE DU MASTER EN SCIENCES DE LA MER

OPTION : AMÉNAGEMENT DU LITTORAL

Morphodynamique et modélisation hydro-sédimentaire des plages du littoral centre Algérois « cas de la frange côtière Bordj El Kiffan »

Présenté par :

- BELABBAS Silia
- BOUKHARI Mohamed Akli

Soutenu le 01/07 /18 devant le jury suivant :

M. HAMDI B.	Professeur	(ENSSMAL)	Président
M ^{me} . HOUMA BACHARI F.	Professeur	(ENSSMAL)	Promotrice
M ^{me} . DJEHA L.	Ingénieur chef	(LEM)	Co-promotrice
M. OTMANI H.	Maître assistant A	(ENSSMAL)	Examineur
M. AOUDJ C.	Cadre	(MICALAT)	Examineur

Promotion : 2018

Remerciements

Au terme de ce travail, nous remercions DIEU tout puissant de nous avoir offert l'opportunité de franchir ce stade du savoir et de nous avoir donné le courage et la patience de réaliser ce travail.

Nous adressons nos remerciements en particulier à nos familles d'abord, ensuite à notre promotrice Mme HOUMA BACHARI Fouzia, professeur à l'ENSSMAL pour ses grandes qualités humaines, pour nous avoir guidés tout au long de l'élaboration de notre travail, pour toute l'aide qu'elle nous a apportée et pour sa disponibilité, sa patience et ses précieux conseils, ses orientations et surtout ses encouragements. Qu'elle trouve dans ce travail l'expression de notre reconnaissance et nos plus chaleureux remerciements.

Nous exprimons nos sincères remerciements à M. HAMDI Boualem, professeur à l'ENSSMAL qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury, et pour tous les renseignements qu'il nous a fourni lors de la réalisation de ce travail.

Nous remercions également le personnel du Laboratoire des Etudes Maritimes « LEM » plus particulièrement notre Co-promotrice Mme DJEHA Leila, ingénieur chef au LEM pour nous avoir guidés et orientés durant notre travail.

Nous tenons à remercier M. OTMANI Housseyn, maître assistant A à l'ENNSMAL et M. AOUDJ Cherif, cadre à MICALAT qui vont évaluer, mitiger et commenter notre étude afin qu'elle puisse être un produit complet.

Nous tenons aussi à remercier du fond du cœur tous les enseignants (es), le personnel de la bibliothèque et celui du laboratoire (LGA) de l'ENSSMAL.

Nous remercions également tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Une fois encore, merci à tous.



Dédicaces :

Je dédie ce modeste travail à :

Mes très chers parents sans eux rien n'aurait été possible.

Jamais on n'oubliera, leurs amours, leurs dévouements, tous leurs sacrifices. On espère pouvoir un jour les remercier à la hauteur de ce qu'ils nous ont apportés.

Mes grands-mères : Yamina et Khadidja.

Mes frères : Abbas et Abdelkader.

Leurs femmes : Safia et Amel.

Mes sœurs : Louiza et Lamia.

Ma chère tante Sadia et sa famille.

Mon Binôme Mohamed Akli.

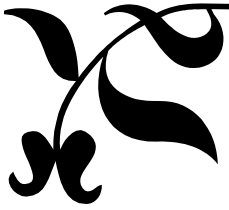
Et mes chers amies : Kenza, Khawla, Hadjer, Katia et Rima.

Sans oublier ma meilleure Amel.

Et à tous mes camarades de la promotion.

Silia.





Dédicaces :



Je dédie ce modeste travail à :

Mes très chers parents sans eux rien n'aurait été possible.

Jamais on n'oubliera, leurs amours, leurs dévouements, tous leurs sacrifices. On espère pouvoir un jour les remercier à la hauteur de ce qu'ils nous ont apportés.

Mme HOUMA BACHARI qui j'ai toujours considéré comme ma deuxième maman.

Mes grands-parents.

Mes frères : Chouaib, Yasser, Abd El Ali et Daradji

Ma chère sœur Ikram.

Ma chère Binôme Silia.

Mes chers amis (es) : Yacine, Moh, Cherif, Fahem, Kaouthar, Nadir, Yahia, Naouri et Amine.

Et à tous mes camarades de la promotion.

Mohamed Akli.



Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des photos

Liste des acronymes

Introduction Générale : 16

Chapitre I : Synthèse bibliographique

1. Système littoral : 19

2. Les plages sableuses : 21

 2.1 : Définition : 21

 2.2. Les différentes parties d'une plage sableuse : 22

 2.3. Les types des plages : 23

3. Evolution morpho-dynamique : 23

4. Processus hydro-sédimentaire : 25

5. Relations spatio-temporelles en morpho-dynamique côtière : 26

6. La modélisation numérique : 27

 6.1. Définition : 27

 6.2. Le principe de la modélisation : 28

 6.3. Les objectifs de la modélisation : 28

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

1. Situation géographique : 30

2. Cadre météorologique : 30

 2.1. Les vents : 30

 2.2. La température : 31

 2.3. Les précipitations : 32

3. Cadre océanographique : 32

 3.1. Les houles : 32

 3.1.1. Direction de la houle au large : 33

 3.2. Les courants : 34

 3.2.1. Le courant général : 34

 3.2.2. Les courants côtiers : 34

 3.3. Les marées : 35

4. Cadre hydrologique : 35

5. Cadre géologique :.....	36
6. Cadre géomorphologique :	37
7. Sédimentologie de la zone :.....	37
8. L'érosion côtière au niveau de la zone d'étude :.....	38
9. Reportage photographique :	39

Chapitre III : Granulométrie, sédimentologie et calcimétrie de la zone

Analyse granulométrique de la plage aérienne de Bordj El Kiffan:.....	42
1. Sortie sur terrain :.....	42
1.1. Conditions climatiques du jour de la sortie :.....	42
1.2. Positionnement des points d'échantillonnage.....	42
1.3. Matériels de prélèvement :	43
2. Etudes au laboratoire :	43
2.1. Matériels utilisés :	43
2.2. Méthode d'analyse au laboratoire :	44
2.2.1. Une phase technique expérimentale :.....	44
2.2.2. Une phase d'interprétation des résultats obtenus :	44
2.3. La fraction fine :.....	45
2.4. La fraction grossière :.....	46
2.4.1. Les paramètres de position :.....	46
2.4.2. Les indices granulométriques :.....	46
3. Résultats et discussion :.....	47
3.1. Analyse de la fraction fine :	47
3.2. Analyse de la fraction grossière :	48
3.2.1. Les courbes granulométriques :.....	48
3.2.2. Carte de la médiane :.....	49
3.2.3. Indices granulométriques :	50
Etude de la sédimentologie :	51
1. Sortie en mer :	51
1.1. Conditions climatiques du jour de la sortie :.....	51
1.2. Positionnement des points d'échantillonnage :	52
2. Résultats et discussion :.....	52
2.1. Analyse de la fraction fine :	52
2.2. La médiane :.....	53

2.3. Indices granulométriques :	53
Analyse calcimétrique :	54
1. Mode opératoire :	55
2. Calcul des teneurs en CaCO_3 :	55
3. Résultats et discussion :	56

Chapitre IV : Modélisation hydro-sédimentaire

Modélisation hydrodynamique :	59
1. Matériels utilisés :	59
1.1. Description du logiciel de calcul Mike Zéro :	59
1.2. Description du logiciel de calcul MIKE 21 :	59
1.2.1. Le modèle Hydrodynamique (HD) :	60
1.2.2. Le modèle spectral de la houle (SW) :	60
2. Etude bathymétrique :	60
2.1. Méthodologie de travail :	61
3. Simulation des courants et de la houle :	62
3.1. Choix des modèles couplés :	62
3.2. Modèle SW :	64
3.3. Modèle HD :	65
3.4. Les principales étapes de l'approche intégrée de la modélisation par le MIKE21 :	65
3.5. Résultats de la simulation :	66
3.5.1. Réfraction de la houle (Spectral Wave, SW) de direction Nord-Ouest (315N°) :	67
3.5.2. Réfraction de la houle (Spectral Wave, SW) de direction Nord-Nord-Est (30N°) :	69
3.5.3. Courantologie (Hydrodynamic, HD) de direction Nord-Ouest (315N°) :	70
3.5.4. Courantologie (Hydrodynamic, HD) de direction Nord-Nord-Est (30 N °) :	71
Transport sédimentaire :	72
1. Le mode de transport :	72
2. Les processus mis en jeu dans le transport sédimentaire :	73
3. Modélisation du transport sédimentaire :	74
3.1. Description du modèle de transport sédimentaire (Sand Transport, ST) du logiciel MIKE21 :	74
3.2. Résultats de la simulation :	74
3.2.1. Transport sédimentaire (Sand Transport, TS) de direction Nord-Ouest (315°) :	74

- 3.2.2. Transport sédimentaire (Sand Transport, ST) de direction Nord (360N°) : 75
- 3.2.3. Transport sédimentaire (Sand Transport, ST) de direction Nord-Nord-Est (30N°) :76

Chapitre V : Impacts de l'implantation des ouvrages de protection sur la zone d'étude

- 1. Impacts sur l'évolution du linéaire côtier : 79
 - 1.1. Avant l'implantation des ouvrages : 79
 - 1.2. Pendant l'implantation des ouvrages : 79
 - 1.3. Après l'implantation des ouvrages : 80
- 2. Impacts sur l'évolution bathymétrique : 81
- 3. Impacts sur la dynamique sédimentaire : 82
- 4. Impacts sur l'aspect esthétique : 82

Conclusion Générale 84

Références bibliographiques 86

Annexes 90

Liste des figures :

Figure I.1 : Zonation bathymétrique du littoral et de la plate-forme continentale. HMM=hautes mers moyennes; BMM=basses mers moyennes. (Université de Liège, cours de géologie sédimentaire, 2017)	19
Figure I.2 : Morphodynamique du système côtier (boucle rétroactive entre morphologie, hydrodynamique et transport) et facteurs de contrôle (dynamique du bassin, eustatie, énergie et volumes apportés) (Raphaël CERTAIN, 2002).....	21
Figure I.3 : Configuration type d'une plage (OTMANI, cours ENSSMAL, 2017).....	23
Figure I.4 : Synthèse non-exhaustive des paramètres influençant l'évolution morphologique des côtes (d'après Thornton et al. [2000]).....	24
Figure I.5 : Schéma des courants et du transport sédimentaire induits par une vague déferlante ..	25
Figure I.6 : Schéma de la zone littorale et des échelles de temps impliquées dans sa dynamique (d'après Cowell et al, 1999 modifié par Dehouck (2006))	26
Figure I.7: Relation spatio-temporelle des systèmes morpho-dynamiques côtiers (STEPANIAN, 2002 in ADJAL, 2014)	27
Figure II.1 : Situation géographique de la zone d'étude.....	30
Figure II.2: Rose des vents au large de la baie d'Alger (LEM, 2009).....	31
Figure II.3 : Variation des températures maximales, moyennes et minimales de la station de Dar El Beida période (1996-2016), (ONM, 2017).....	31
Figure II.4: Cumuls mensuels des précipitations de la station de Dar El Beida (période 2006-2016) (ONM, 2017)	32
Figure II.5 : Carte géologique de la région d'Alger et ses environs (JICA, 2006).....	37
Figure II.6 : Carte sédimentaire de la Baie d'Alger (Maouche, 1987).....	38
Figure III.1: Localisation des stations de prélèvement au niveau de la plage aérienne de Bordj El Kiffan	42
Figure III.2 : Modalité d'analyse granulométrique.....	45
Figure III.3: Répartition de la fraction fine dans la plage aérienne de Bordj El Kiffan...	47
Figure III.4 : Comparaison entre deux échantillons prélevés au niveau de la plage Sirène II.....	48

Figure III.5 : Comparaison entre deux échantillons prélevés au niveau de la plage Sirène I.....	49
Figure III.6 : Répartition de la médiane au niveau de la plage aérienne de Bordj El Kiffan.....	49
Figure III.7 : Relation entre S_0 et D50.....	50
Figure III.8 : Relation entre S_k et D50	50
Figure III.9: Localisation spatiale des stations de prélèvement au niveau de la plage sous-marine de Bordj El Kiffan	52
Figure III.10: Répartition des pélites dans la plage sous-marine de Bordj El Kiffan.....	52
Figure III.11: Répartition de la médiane dans la plage sous-marine de Bordj El Kiffan..	53
Figure III.12 : Relation entre S_0 et D50 dans la plage sous-marine de Bordj El Kiffan...	53
Figure III.13 : Relation entre S_k et D50 dans la plage sous-marine de Bordj El Kiffan..	54
Figure III.14 : Répartition du taux de $CaCO_3$ dans la plage aérienne et sous-marine de Bordj El Kiffan.....	56
Figure IV.1 : Organigramme de l'étude bathymétrique.....	61
Figure IV.2 : Génération du maillage (Mesh).....	62
Figure IV.3 : Carte bathymétrique de la zone d'étude 2018.....	62
Figure IV.4 : Approche méthodologique de la modélisation par les codes MIKE-21.....	63
Figure IV.5 : Maillage de la zone d'étude.....	65
Figure IV.6 : Etape de la génération de la table sédimentaire.....	66
Figure IV.7 : Carte de répartition du champ de réfraction de la houle, $MWD=315^\circ$; $H=2.67$; $T=8s$	67
Figure IV.8 : Carte de répartition du champ de réfraction de la houle au niveau des ouvrages, $MWD=315^\circ$; $H=2.67$; $T=8s$	68
Figure VI.9 : Carte de répartition du champ de réfraction de la houle, $MWD=315^\circ$; $H=2.67$; $T=8s$ au niveau du port ARDIS.....	68
Figure IV.10 : Carte de répartition du champ de réfraction de la houle, $MWD=30^\circ$; $H=2.56$; $T=8s$	69

Figure IV.11 : Carte de répartition du champ de réfraction de la houle au niveau des ouvrages, MWD=30° ; H=2.56 ; T=8s.....	69
Figure IV.12 : Carte de répartition du champ des courants, MWD=315° ; H=2.67 ; T=8s.....	70
Figure IV.13 : Carte de répartition du champ des courants à l'abri des ouvrages, MWD=315° ; H=2.67 ; T=8s.....	70
Figure IV.14 : Carte de répartition du champ des courants, MWD=30° ; H=2.56 ; T=8s.....	71
Figure IV.15 : Carte de répartition du champ des courants au niveau des ouvrages, MWD=30° ; H=2.56 ; T=8s.....	71
Figure IV.16 : Mode de transports sédimentaire.....	73
Figure IV.17 : Schéma général de la dynamique sédimentaire (d'après <i>Parker</i> (1986) ; Mehta et al. 1989) in (BACHARI, F ; BELKESSA, R. 2015).....	73
Figure IV.18 : Carte de répartition du flux sédimentaire, MWD=315° ; H=2.67 ; T=8s ..	74
Figure IV.19 : Carte de répartition du flux sédimentaire au niveau des ouvrages, MWD=315° ; H=2.67 ; T=8s.....	75
Figure IV.20 : Carte de répartition du flux sédimentaire, MWD=360° ; H=2.67 ; T=8s...	75
Figure IV.21 : Carte de répartition du flux sédimentaire au niveau des ouvrages, MWD=360° ; H=2.67 ; T=8s.....	76
Figure IV.22 : Carte de répartition du flux sédimentaire, MWD=30° ; H=2.56 ; T=8s....	76
Figure IV.23 : Carte de répartition du flux sédimentaire au niveau des ouvrages, MWD=30° ; H=2.56 ; T=8s.....	77
Figure V.1 : Vitesse d'évolution du trait de côte entre 1980 et 2003 dans la zone de Bordj El Kiffan (AOUDJ, C et al. 2018).....	79
Figure V.2 : Vitesse d'évolution du trait de côte entre 2003 et 2007 dans la zone de Bordj EL Kiffan (AOUDJ, C et al. 2018).....	80
Figure V.3 : Vitesse d'évolution du trait de côte entre 2012 et 2017 dans la zone de Bordj EL Kiffan (AOUDJ, C et al. 2018).....	81
Figure V.4 : Différentiel bathymétrique de la zone de Bordj El Kiffan de 1921 à 2017(KADRI, 2017).....	81

Liste des tableaux :

Tableau II- 1 : Fréquence mensuelle de la houle au large par direction (1 mois=100%) (SSMO, 1963-1970).....	33
Tableau II-2 : Amplitudes des houles en fonction des directions et leurs périodes de retour (SSMO, 1963-1970).....	34
Tableau II-3 : Caractéristiques générales d'Oued El-Harrach et Oued El Hamiz (ANRH, 2014).....	36
Tableau III.1 : Conditions climatiques du jour de la sortie.....	42
Tableau III.2 : Conditions climatiques du jour de la sortie.....	51
Tableau III.3 : Teneur en CaCO ₃ des échantillons de la plage aérienne de Bordj El Kiffan.....	56
Tableau III.4 : Teneur en CaCO ₃ des échantillons de la plage sous-marine de Bordj El Kiffan.....	56
Tableau IV.1 : Données de houle au large.....	64
Tableau IV.2 : Evolution de paramètres de la houle (MWD*=315°; H _s =2,67m ; T=8s) déterminés par le module SW.....	67
Tableau IV.3 : Evolution de paramètres de la houle (MWD*=30°; H _s =2,56m ; T=8s) déterminés par le module SW.....	70

Liste des photos :

Photo II.1 : Ouvrages installés au niveau de la zone d'étude.....	39
Photo II.2 : Urbanisation au niveau de la zone d'étude.....	39
Photo II.3 : Chantier d'implantation d'un ouvrage de protection à proximité de la zone d'étude.....	40
Photo III.1 : Matériels de prélèvement.....	43
Photo III.2: Matériel utilisé lors des analyses granulométriques.....	43
Photo III.3 : Effet du vent sur le transport des pérites au niveau de la plage Sirène II.....	48
Photo III.4 : Prélèvement des échantillons à l'aide de la benne Van Veen.....	51
Photo III.5 : Calcimètre de Bernard.....	54
Photo IV.1 : Matériels utilisés.....	60
Photo V.1 : Evolution de la plage Sirène II entre 2007 et 2018.....	82
Photo V.2 : Réduction de la surface de la plage Lido après l'installation du cordon d'enrochement et de la promenade.....	83
Photo V.3 : Ouvrages mixtes de la protection de la frange côtière de Bordj El Kiffan.....	83

Liste des acronymes

Liste des acronymes :

AFNOR : Association Française de Normalisation

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydriques

APPL : Agence de Promotion et de Protection du Littoral

BMM : Basse Mer Moyenne

Cm : Centimètre

DHI : Danish Hydraulic Institute

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

F.M: Flexible Mesh

G.P.S: Global Positioning System

ha: hectare

HD: Hydrodynamique

H₀ : Hauteur de la houle au large

Hs: Hauteur significative

HMM: Haute Mer Moyenne

JICA : Agence Japonaise de Coopération Internationale

Km : Kilomètre

KNMI : Institut Météorologique Royal Néerlandais

LEM : Laboratoire des Etudes Maritimes

LGA : Laboratoire de Géologie et d'Aménagement

m: mètre

mm: millimètre

mn: minute

m³ : mètre cube

m/an : mètre par an

NW: Nord-Ouest

ONM : Office National de la Météorologie

s: seconde

SHFN: Service Hydrographique des Forces Navales

SSMO: Summary of Synoptic Meteorological Observation

ST: Sand Transport

SW: Spectral Wave

V : volume

X.Y.Z : Extension d'un fichier au format XYZ

ZH: Zéro Hydrographique

µm: micromètre

Introduction Générale

Le littoral n'est pas seulement le rivage des océans, c'est aussi le point de contact entre les trois compartiments terrestres que sont l'hydrosphère, la lithosphère et l'atmosphère. En ce point, les lois physiques de chacun des compartiments se cumulent et interagissent, l'étude de ce milieu en devient complexe. (**CERTAIN R, 2002**)

C'est aussi un milieu très dynamique, la force des vagues et la vigueur des courants en témoignent, et le rendent parfois hostile et dangereux pour l'Homme. (**CERTAIN R, 2002**)

Les environnements littoraux sont contrôlés par l'interaction de multiple processus physiques très complexes entre les sédiments et le fluide (**SPM., 1984**) évoluant de l'échelle géologique jusqu'aux étroites interactions qui existent entre le fluide et le sédiment (**VAN R, 1986b**) mais aussi des processus climatiques et anthropiques intervenant à des échelles temporelles et spatiales diverses. (**Stive, et al., 1990; Schwartz, 2005**)

Les plages sont des zones fragiles en constante évolution. La compréhension de la dynamique côtière est importante du fait des enjeux associés. En effet, les côtes sont en proie à une augmentation des activités économiques, notamment lié au tourisme, entraînant urbanisation, aménagements littoraux et concentration de la population. Dans ce contexte, la caractérisation des changements et des risques est nécessaire à la gestion de ces zones sensibles. (**KLERVI H, 2014**).

Schématiquement, la position du trait de côte peut être vue comme un équilibre entre les apports sédimentaires maritimes et terrestres, d'une part sous l'action des vagues et marées et d'autre part transportés par les rivières et le vent (**FLORENT G, 2009**). Le recul des côtes peut s'expliquer par le cumul de différents effets naturels et anthropiques (**Paskoff, 1998a**).

Notre travail porte sur l'évolution morpho-dynamique des plages du littoral centre Algérois (cas de la frange côtière de Bordj El Kiffan). Cette étude s'appuie sur la modélisation hydro-sédimentaire en utilisant les outils de la modélisation numérique pour déterminer l'évolution des paramètres hydrodynamiques et le transport sédimentaire de notre zone d'étude. Des travaux ont été élaborés dans le contexte de cette étude dont on peut citer **KADRI I, 2017**.

La frange côtière de Bordj El Kiffan a connu une installation de certains ouvrages de protection qui a influencé sur les profils transversaux des plages sableuses existantes.

Afin d'atteindre l'objectif de cette étude qui est la détermination de l'impact de ces implantations sur les profils des plages, le mémoire s'organise en cinq (05) chapitres :

Le premier chapitre concerne les concepts et les définitions qui permettent de définir et comprendre le système littoral, les plages sableuses, l'évolution morpho-dynamique, les

processus hydro-sédimentaires ainsi que les principes et objectifs de la modélisation numérique.

Le deuxième chapitre est consacré pour la présentation de la zone d'étude, la frange côtière de Bordj El kiffan, plus précisément les plages Sirène I, Sirène II, plage Lido et la plage Ardis afin de la situer dans les différents contextes : géographique, météorologique, océanographique, hydrologique et géologique.

Le troisième chapitre porte sur l'analyse granulométrique des échantillons prélevés pour déterminer la nature des sédiments de la partie aérienne et sous-marine ainsi qu'une analyse calcimétrique afin de connaître l'origine de ces derniers.

Le quatrième chapitre est réservé pour la modélisation hydro-sédimentaire à savoir la simulation des comportements et des mouvements des houles et des courants ainsi que le transport sédimentaire et aussi le choix des modèles du MIKE21 utilisés et l'interprétation des résultats obtenus.

Dans le dernier chapitre, on a abordé les différents impacts de l'implantation des ouvrages de protection sur la zone d'étude à savoir : l'impact sur l'évolution du linéaire côtier, impacts sur l'évolution bathymétrique, impacts sur la dynamique sédimentaire et enfin les impacts sur l'aspect esthétique de ces ouvrages.

Chapitre I : Synthèse bibliographique

1. Système littoral :

Un système est un ensemble d'éléments en interaction. Pour décrire ce type d'objet complexe, il est utile de combiner des études analytiques classiques à une approche systémique. Tandis que les analyses traditionnelles visent à détailler chaque constituant de façon séparée, les études systémiques considèrent la globalité de l'environnement et les relations entre les éléments de l'ensemble. Avant de présenter les constituants communs à tout système, il est toutefois important d'expliquer « pourquoi ces objets sont complexes ? ». (Desmazes, 2005).

- Tout d'abord, les systèmes sont composés d'une grande variété d'éléments possédant leurs caractéristiques propres.
- Ces éléments sont organisés en niveaux hiérarchiques et peuvent être emboîtés.
- Les interactions entre les éléments sont de nature très variées.
- Ces interactions sont généralement non-linéaires car elles ne peuvent pas être expliquées par une simple relation de proportionnalité.

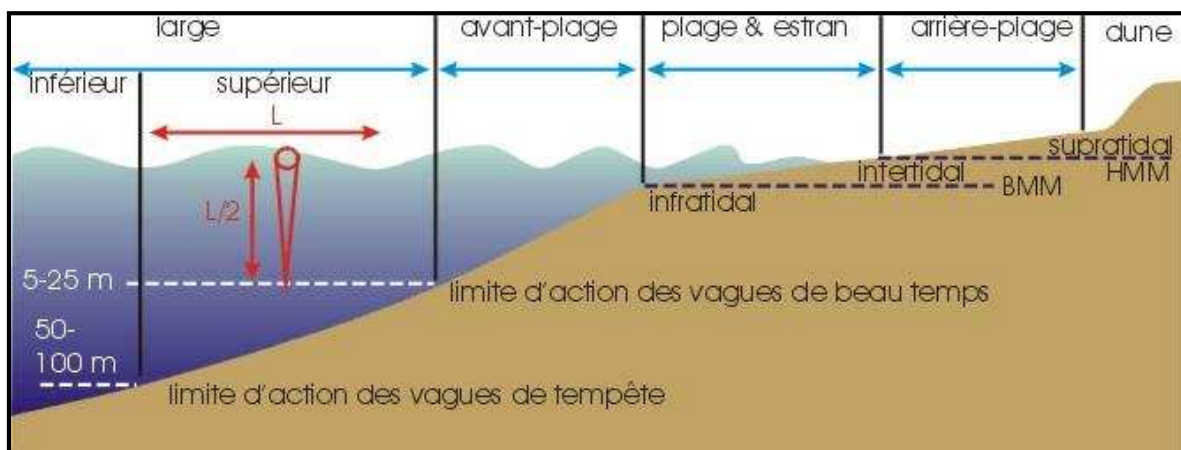


Figure I.1 : Zonation bathymétrique du littoral et de la plate-forme continentale. HMM=hautes mers moyennes; BMM=basses mers moyennes. (Université de Liège, cours de géologie sédimentaire, 2017)

Afin de décrire la composition d'un système complexe, il faut maintenant distinguer des caractéristiques spatiales et temporelles. La structure du système s'organise dans l'espace, elle est caractérisée par :

- Une limite ou frontière ;
- Des éléments ou composants, pouvant être dénombrés et assemblés en catégories ou familles ;
- Des réservoirs, dans lesquelles les éléments peuvent être rassemblés et stockés ;
- Un réseau de communication, qui prend des formes variées et permet des échanges d'éléments et d'énergie.

Le fonctionnement du système est dirigé par des phénomènes dépendant du temps, on distingue :

- Les flux d'énergie ou d'éléments qui circulent entre les réservoirs par les réseaux de communication.
- Les « délais » résultent des vitesses de circulations entre les réservoirs.
- Enfin, les boucles de rétroaction jouent un rôle déterminant dans le fonctionnement des systèmes en combinant les effets des réservoirs, des flux, des vannes et des délais. Elles permettent une dynamique de croissance et d'évolution, ou bien au contraire un effet de stabilité et de régulation. (**ADJAL M, 2014**).

Les systèmes forment une zone géographique complexe, à la limite du continent, de l'océan et de l'atmosphère. Les frontières de tous ces domaines sont bien souvent difficiles à établir et dépendent en général des approches utilisées. Dans les faits, le problème de positionnement des limites géographiques est un souci d'importance. A l'intérieur de ses limites plus ou moins nettes, le système côtier est composé d'eau, d'air, de sédiment, de roches et d'organismes vivants.

Ces éléments sont stockés dans l'océan, l'atmosphère, le prisme sédimentaire, le substratum géologique et la biosphère. Ils sont étudiés par des disciplines spécifiques : géotechnique, océanographie, météorologie, sédimentologie, géologie et biologie. De plus, en fonction de l'influence plus ou moins grande de chaque constituant, on distingue plusieurs catégories de milieux côtiers :

- Les mangroves et les récifs coralliens sont dominés par les organismes vivants ;
- Les embouchures (estuaire, lagune et ria) sont caractérisées par la présence d'eau continentale ;
- Les plateaux rocheux et les falaises montrent l'affleurement du substrat géologique ;
- Les platiers vaseux sont formés par un prisme littoral où prédominent les sédiments fins, tandis que les plages, objets de cette étude, sont constituées d'accumulation de sables. (**ADJAL M, 2014**).

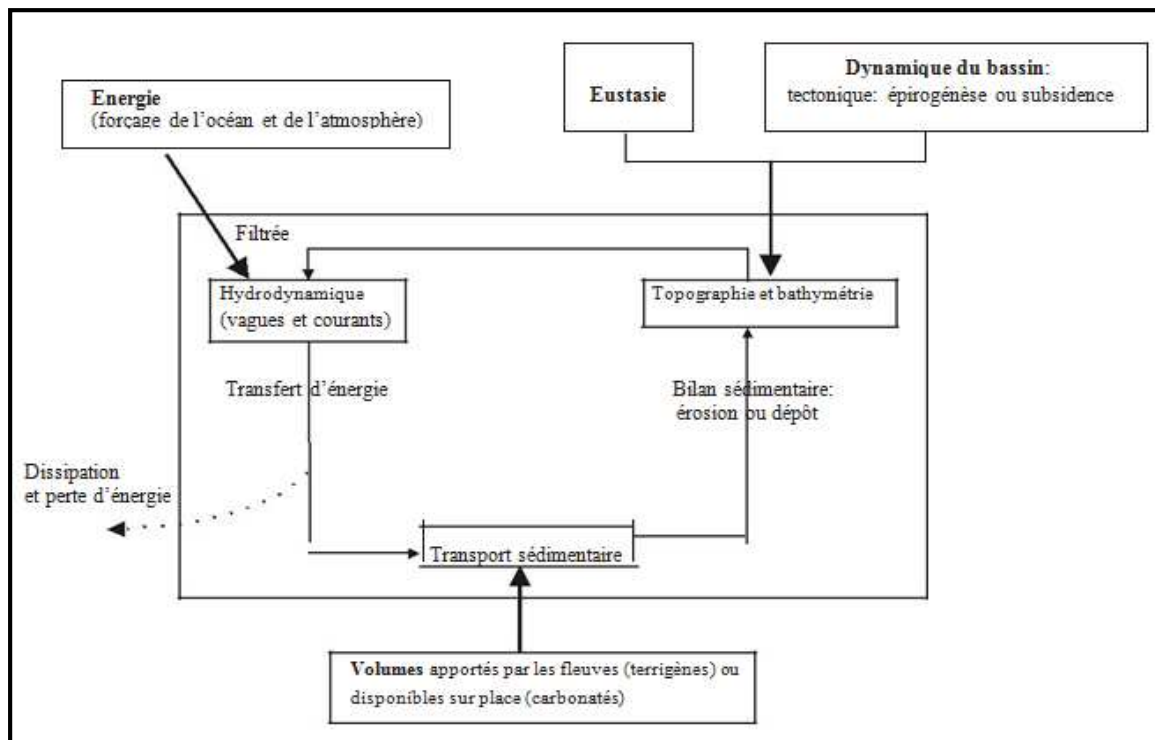


Figure I.2 : Morphodynamique du système côtier (boucle rétroactive entre morphologie, hydrodynamique et transport) et facteurs de contrôle (dynamique du bassin, eustatie, énergie et volumes apportés) (CERTAIN R, 2002)

Dans chacun de ces systèmes, une grande partie des échanges d'énergie et d'éléments sont effectués au niveau des interfaces, à la transition entre les réservoirs où les systèmes d'ordres inférieurs. Ainsi, la transition entre la mer et l'atmosphère est le lieu de déplacement des vagues qui véhiculent une grande quantité d'énergie. L'interface entre le prisme sédimentaire et l'océan ou l'atmosphère est pour sa part un domaine de transport d'éléments très important pour le fonctionnement de l'environnement. (ADJAL M, 2014)

2. Les plages sableuses :

2.1 : Définition :

Les plages sont une forme littorale où l'accumulation l'emporte sur l'érosion, elles sont généralement faites de sables fins à grossier, relayés vers l'intérieur des terres par des dunes. Les plages se caractérisent par une certaine richesse en élément bio détritiques, en particulier sur les littoraux des mers chaudes ou la vie animale (mollusques, oursins..) et végétales (algues, calcaires) est abondante et est susceptible de fournir des quantités appréciables de fraction bioclastique. (MIOSSEC, 2010).

Mais il existe aussi des plages à granules, graviers et même à galets et blocs ; ce sont les plages de type grève. Dans ce cas, le profil transversal de la plage présente une pente relativement forte. Cette configuration est caractéristique des plages des hautes latitudes où la gélifraction est active, mais il existe aussi des plages constituées de sédiments de taille

hétérométrique, notamment à l'embouchure de torrents et des oueds .Dans ce cas, l'inégale énergie des houles et des mouvements de va-et-vient des vagues opère un tri parmi les sédiments : les plus fins se déposent dans la partie basse de la plage et les plus grossiers dans la partie haute. (MIOSSEC, 2010).

2.2. Les différentes parties d'une plage sableuse :

Dans le détail, la plage est constituée de plusieurs secteurs interdépendants :

-l'avant plage, ou ce qu'on appelle la plage sous-marine elle occupe l'avant-côte dont les sédiments constituent un stock pour la plage proprement dite ;

-le bas de plage occupe la partie qui ne se découvre qu'au moment des marées basses. Tout comme l'avant-plage, il est parcourus par des sillons qui sont de petits couloirs (jusqu'à quelques mètres de profondeur et quelques dizaines de mètres de largeur) taillés dans des sables par des barres qui sont de petit hauts- fonds sableux .L'origine de ces formes est étroitement liée au déferlement des vagues. Le bas de plage est limité du côté externe par l'estran. En raison de sa pente légèrement convexe, il est parsemé des bâches, c'est-à-dire de dépressions allongées souvent parallèles au trait de côte et qui demeurent remplies d'eau après le retrait de la pleine mer. L'estran est limité du côté interne par des croissants de plage qui sont des petites accumulations meubles et éphémères ;

-haut de plage est souvent fait de petits bourrelets sableux édifiés par la mer et connus sous le nom de bermes ; leur présence témoigne d'une constante alimentation de la plage en sédiments .Des laisses de mer composées surtout de résidus animaux (tests et coquilles) et végétaux (algues et herbes marines) marquent souvent le haut de plage, d'où l'existence d'une ou plusieurs franges successives de couleur plus ou moins sombre. Quand le haut de plage est bien développé, on parle de cordon littoral. Il s'agit dans ce cas d'une accumulation linéaire localement ébréchée et qui ourle le trait de côte. Le cordon littoral est construit principalement par la mer et secondairement par des apports éoliens et fluviaux.



Figure I.3 : Configuration type d'une plage (OTMANI H, 2017)

2.3. Les types des plages :

Les plages occupent souvent le fond des baies ou des golfes où l'énergie des vagues est ralentie. Dans ce cas, nous avons des plages au sens classique du terme, connues aussi sous le nom de plages de fond de baie.

Les plages peuvent aussi s'appuyer sur des appointements rocheux (plage ouverte), s'accoler à une côte rocheuse à laquelle elle sont étroitement liées (plage adossée) ou se présenter sous la forme de flèche libre dont l'extrémité est généralement faite de crochets (ou crochon) recourbés, flèche unissant une île à une côte voisine (tombolo) , flèche d'entrée de baie , flèche d'avant-côte basse , qui isole souvent des lagunes , d'où le nom d'îles barrières ou lido.

C'est la configuration du trait de côte et le ralentissement de la dérive littorale bien alimentée en matériaux qui déterminent la formation, le maintien et l'allongement des flèches, qui sont en fin de compte des types particuliers de plage. (Miossec, 2010).

3. Evolution morpho-dynamique :

L'évolution morpho-dynamique d'un système côtier est classiquement décrite comme une évolution Markovienne, définie comme une succession d'états morphologiques (WRIGHT and THOM, 1977). Ce concept est la base théorique de développement de modèles d'évolution des plages (SHORT and AGARD, 1993).

Dans ces modèles supportés par un paramétrage hydrodynamique, le système morpho-dynamique subit des variations graduelles et réversibles entre deux états extrêmes.

Les états intermédiaires dépendant de l'état précédant, l'évolution morpho-dynamique d'un système doit donc être étudiée en prenant en fonction de celui-ci (notion héritage morphologique, state dépendant).

Les plages sableuses sont des systèmes dynamiques dont les variations sont contrôlées par différents processus à différentes échelles de temps; de plusieurs millions d'années pour des paramètres tels que la géologie régionale, quelques centaines d'années pour les variations eustatiques, annuelles pour les variations saisonnières, événementielle (tempête par exemple) et instantanés (déferlement d'une vague par exemple). Pour comprendre ces systèmes complexes, il est important d'identifier les processus qui les contrôlent.

La morpho-dynamique de la plage est due aux contraintes appliquées par le fluide sur le sédiment. Ces contraintes qui peuvent être visqueuses ou turbulentes résultent de différents forçages hydrodynamiques tels que la houle, les courants, le niveau d'eau ou encore la marée. Sur les plages, la morpho dynamique est fortement influencée par la dissipation de l'énergie des vagues incidentes dans la zone de déferlement. A ces processus, s'ajoute la dynamique sédimentaire complexe liée au niveau d'érodabilité (dépendant du type de sédiment, taille, forme etc..), aux différents modes de transports et aux interactions au sein du sédiment.

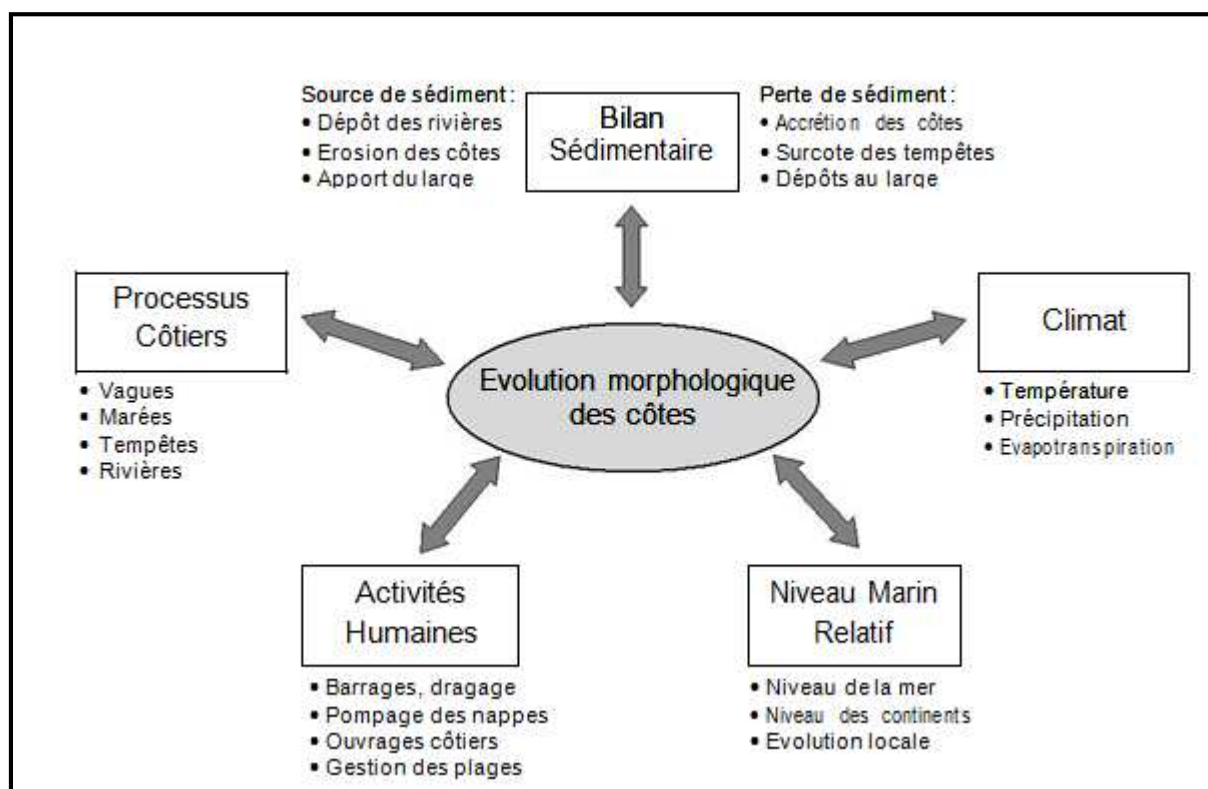


Figure I.4: Synthèse non-exhaustive des paramètres influençant l'évolution morphologique des côtes (d'après THORENTON et al. [2000])

4. Processus hydro-sédimentaire :

Sur les plages exposés aux houles et où les courants de marée sont faibles, l'action des vagues est le moteur des mouvements des masses d'eau et du transport sédimentaire. La vague est une onde progressive qui, en arrivant près des côtes, va subir l'influence du fond. Lorsque la profondeur d'eau diminue, la vitesse de propagation diminue. Dans le cas des fonds rapidement variables, les vagues peuvent être réfléchies ou diffractées. On peut également observer la diffraction du champ de vagues après le passage au-dessus d'un haut-fond. (ADJAL M, 2014).

Les processus hydro-sédimentaires concernent la réponse des particules sédimentaires à l'action des agents hydrodynamiques (courant, vagues). Ils constituent le maillon entre les phénomènes hydrodynamiques et l'évolution morphologique qui reflète l'ajustement des fonds marins à la variabilité spatiale des flux sédimentaires.

Dans la zone côtière, la houle est le principal facteur susceptible de mettre les matériaux en mouvement. Lors du déferlement, l'énergie des vagues est dissipée et transformée principalement en turbulence qui remet en mouvements les sédiments qui sont transportés par les courants qu'elle engendre et/ou ceux dus aux marées et aux vents (BONNEFILLE, 1994).

Aussi, les vents sont générateurs de mers et clapots, de courant et de fluctuations du niveau de la mer (surcôtes, décôtes) et sont directement la cause du transport de sable sur la plage (transport éolien). Les autres facteurs influant directement sur la dynamique sont la réduction des apports terrigènes ainsi que l'élévation du niveau de la mer.

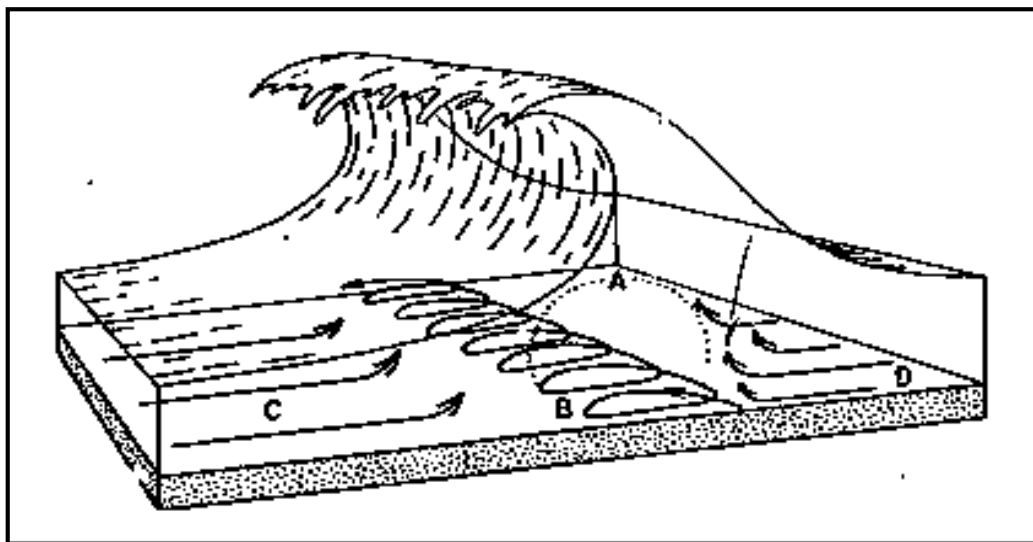


Figure I.5 : Schéma des courants et du transport sédimentaire induits par une vague déferlante. A) Mise en suspension par la turbulence ; B) Dérive littorale ; C) Courant de retour ; D) Transport en masse (DESMAZES, 2005)

5. Relations spatio-temporelles en morpho-dynamique côtière :

L'étude de l'évolution morpho-dynamique des littoraux consiste à relier leur développement morphologique et les forçages aux différentes échelles de temps (WRIGHT and THOM, 1977).

En fonction de l'échelle de temps à laquelle il est étudié, le comportement d'un système morpho-dynamique côtier (plage, embouchure, dune, estuaire) peut être très variable. A chaque échelle de temps est associée une représentativité spatiale se référant à l'amplitude volumique des changements morphologiques mis en jeu (De VREIND, 1991 in DJOUDER and SMAOUN, 2011). L'examen des relations spatio-temporelles qui conditionnent le devenir d'un système côtier constitue une mesure de la stabilité du système aux variations de forçage (KROON, 1994).

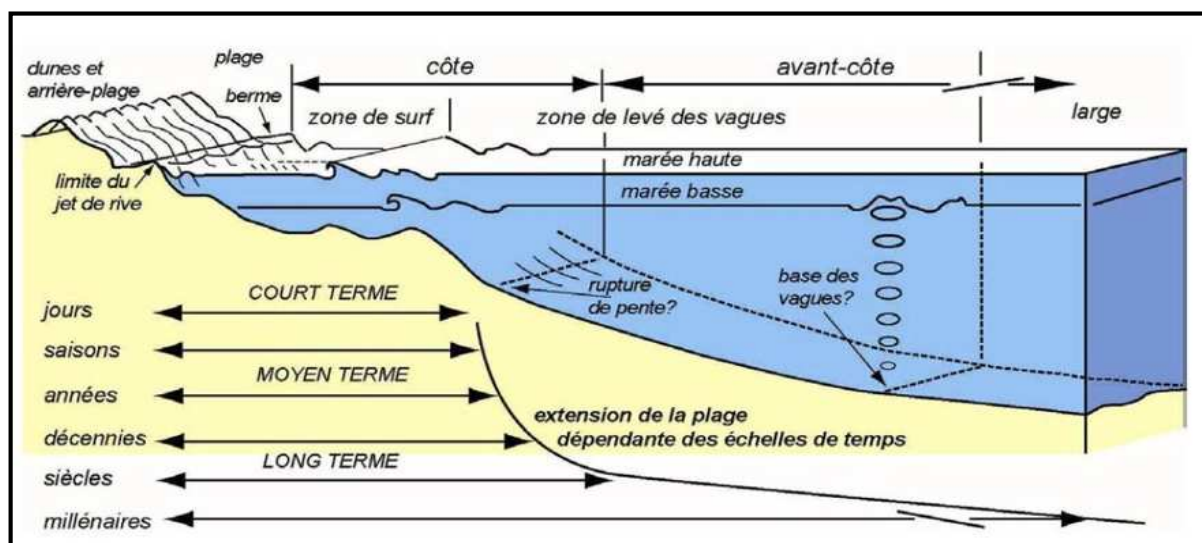


Figure I.6: Schéma de la zone littorale et des échelles de temps impliquées dans sa dynamique (d'après COWELL et al, 1999 modifié par DEHOUCK (2006))

Selon la nomenclature de (De VREIND, 1991), on peut en particulier distinguer les échelles suivantes :

- La micro-échelle (échelle des processus) qui concerne les processus physique, constitutifs de la houle, des courants ou du transport sédimentaire, et agissant à une échelle plus courte que celle du comportement morpho-dynamique correspondant (houle, courant, transport sédimentaire, dont les effets sont à l'échelle dite morpho-dynamique).
- La méso-échelle (échelle dynamique) qui concerne le comportement morpho-dynamique dû à l'interaction entre les processus physiques et la topographie. Elle permet de dater, entre autre, la propagation de corps sédimentaires ou encore la migration des barres.
- La macro-échelle (échelle de tendance) qui concerne les tendances ayant lieu à une échelle de temps plus longue que celle des comportements morpho-dynamiques

primaires. Ces tendances peuvent être dues aux variations saisonnières de comportement ou à l'évolution progressive des forçages extérieurs (évolution du marnage, élévation du niveau moyen de la mer).

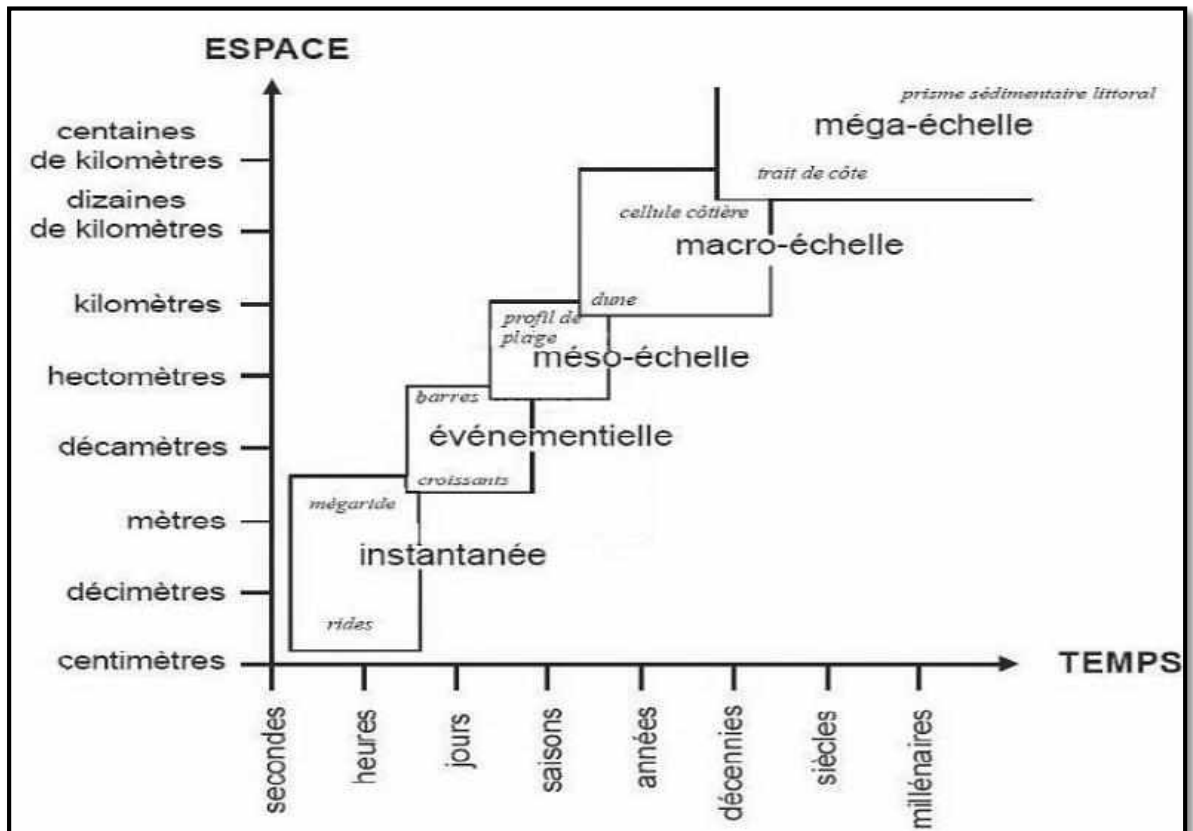


Figure I.7: Relation spatio-temporelle des systèmes morpho-dynamiques côtiers (STEPANIAN, 2002 in ADJAL, 2014)

6. La modélisation numérique :

6.1. Définition :

La modélisation numérique est une représentation virtuelle des phénomènes réels à partir d'algorithmes et de modèles mathématiques.

Les progrès de l'informatique permettent aujourd'hui de simuler par le calcul le comportement des fluides, que ce soit pour des ouvrages simples ou complexes.

La compréhension des mécanismes sédimentologiques nécessite la connaissance préalable des facteurs d'évolution, notamment le régime des houles (répartition des hauteurs, périodes et directions) puisqu'il conditionne les mouvements perpendiculaires à la côte (mouvements dans le profil; limite d'action des houles) et parallèles à la côte (transit littoral).

6.2. Le principe de la modélisation :

La modélisation numérique d'un processus physique est basée sur la mise en équations du processus impliqué puis sur la résolution, par code informatique, de ces équations. Très sommairement, le modèle numérique consiste en une description simplifiée de la réalité qui permet, par une mise en équations, d'en approcher le fonctionnement par le calcul.

Cette simplification s'effectue à différents niveaux :

- sur les mécanismes (ceux qui ne sont pas jugés essentiels, ou trop compliqués à reproduire, ne sont pas simulés) ;
- par la représentation discrète de phénomènes continus dans le temps et dans l'espace ;
- sur la variabilité des paramètres (exemple : caractéristiques des sédiments) et des facteurs en jeux (exemple : climat de houle) ;
- sur la chronologie des événements subis.

D'autre part, le modèle ne reproduit généralement qu'une portion isolée du milieu naturel ; l'action de l'extérieur du domaine est appliquée par l'intermédiaire de conditions que l'on impose aux limites de la zone simulée.

6.3. Les objectifs de la modélisation :

Schématiquement, la modélisation peut avoir trois objectifs :

- Décrire (résumer) les données ;
- Prédire (simuler), c'est à dire faire des inférences ;
- Expliquer (comprendre) c'est à dire avoir des objectifs mécanistiques.

Selon notre objectif, la modélisation sera réalisée selon des modalités différentes.

Particulièrement utilisée dans les différents métiers de l'environnement, la modélisation permet de:

- Prédire les performances des ouvrages avant construction ou réhabilitation ;
- Réduire le nombre, la durée et les coûts des essais expérimentaux ;
- Réduire les coûts de construction et d'exploitation des procédés.

L'avantage principal de la modélisation est qu'elle permet de tester différents scénarios sans contrainte d'échelles (pilote, prototype, ouvrage industriel) et de faisabilité.

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

1. Situation géographique :

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 et elle est d'une forme semi-circulaire. Elle est délimitée par la Rais Hamidou (Pointe Pescade) à l'Ouest, le Cap Matifou à l'Est, au Sud la ville d'Alger et le bassin de la Mitidja et au Nord par la mer Méditerranée.

La commune de Bordj El Kiffan relève de la circonscription administrative de Dar El Beida. Elle est située à 20 km de l'Est d'Alger, elle présente une superficie de 2169.6 ha et est limitée : au Nord, par la mer Méditerranée ; au Sud, par les communes de Bab Ezzouar et Dar El Beida ; à l'Est, par la commune de Bordj El Bahri et à l'Ouest, par la commune de Mohammadia.

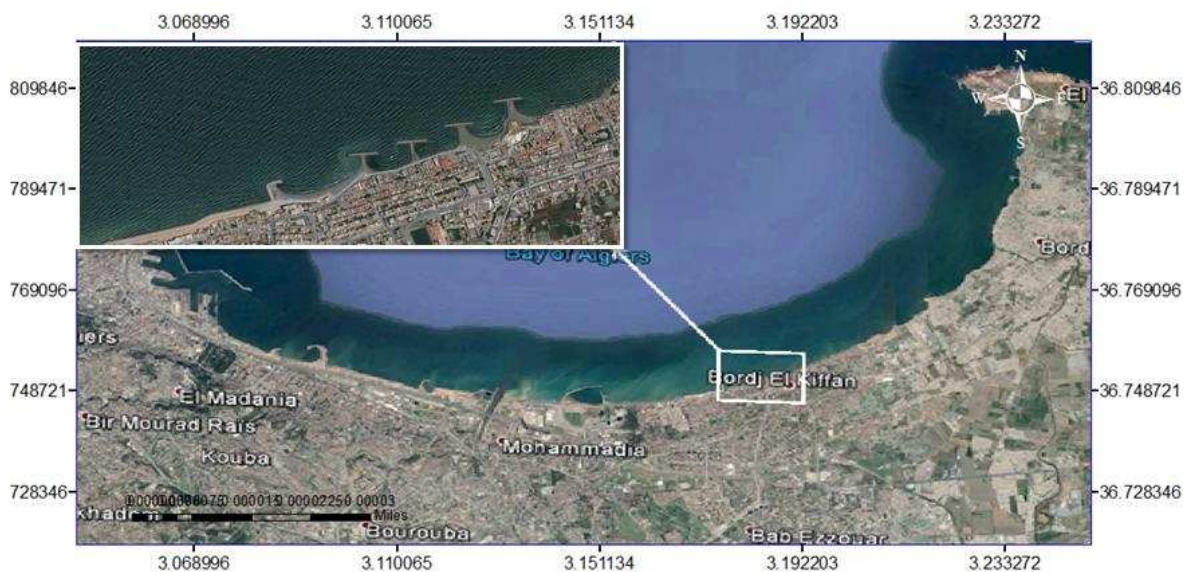


Figure II.1 : Situation géographique de la zone d'étude

2. Cadre météorologique :

2.1. Le vent :

La reconstitution du climat de vent a été établie à partir des données de MEDATLAS (1999-2004) ((MEDAR Group, 2004) in (LEM, 2009)) en modèle numérique d'un point situé dans une zone en Méditerranée où la profondeur dépasse 2500 m selon les coordonnées géographiques (3°00' E, 37°00'N).

Les résultats de cette étude mettent en évidence une prédominance des vents provenant des directions Est-Nord-Est et Ouest-Sud-Ouest, avec des vitesses maximales qui atteignent 20m/s pour les directions comprises entre 240° et 270°N.

Aussi pour les directions comprises entre 45° et 90°N on observe des vitesses de vent qui atteignent 16 m/s. (LEM, 2009).

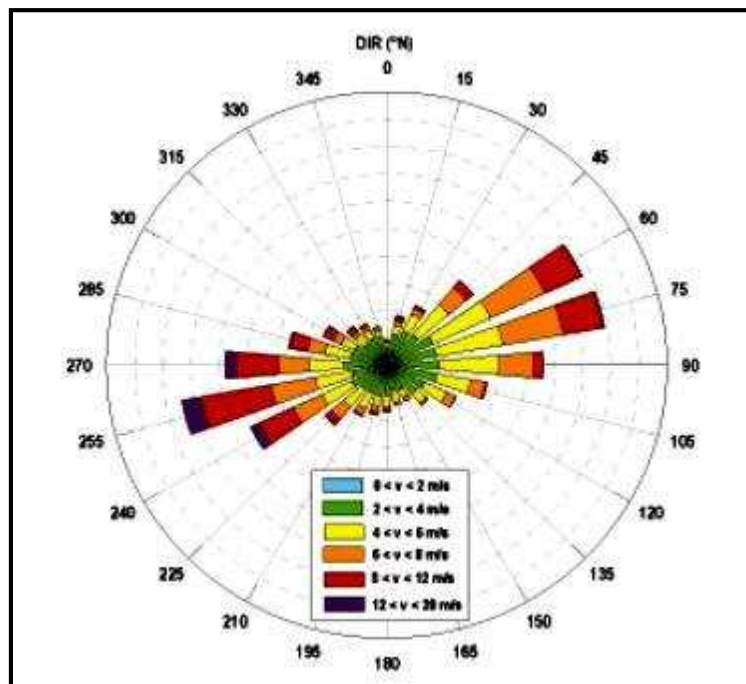


Figure II.2: Rose des vents au large de la baie d'Alger (LEM, 2009)

2.2. La température :

Les données de température ont été acquises de l'Office National de Météorologie (1996-2016) de la station de Dar El Beida à une altitude de 25 m selon les coordonnées géographiques (3°13' E, 36°41'N).

L'analyse des températures moyennes mensuelles du littoral présente une période estivale caractérisée par des températures qui sont relativement élevées avec 22.8°C en Juin, 25.6°C pour Juillet et 26.4°C au mois d'Août. Quant au mois le plus froid, c'est celui de janvier avec 11.6°C.

La valeur maximale de la température est enregistrée durant le mois d'Août avec une valeur de 32.7°C, tandis que la température minimale est enregistrée durant le mois de Janvier et qui ne dépasse pas 6°C.

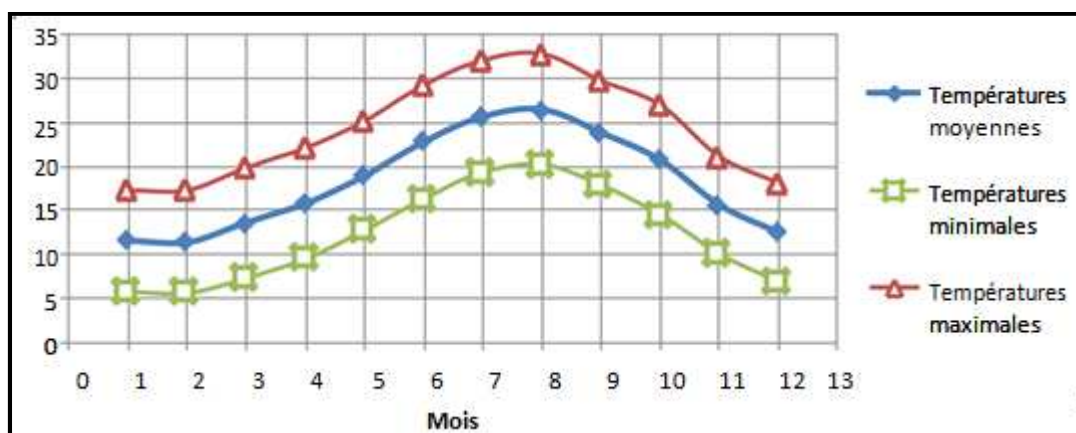


Figure II.3 : Variations des températures maximales, moyennes et minimales de la station de Dar El Beida période (1996-2016), (ONM, 2017)

2.3. Les précipitations :

La valeur cumulée est de l'ordre de 625.3 mm et cela à partir des données de la station de Dar El Beida couvrant la période qui s'étale de 2006 à 2016.

Les précipitations se concentrent de septembre à mai, avec un maximum hivernal de 108.2 mm en Novembre. Celles-ci diminuent progressivement dès le mois de Mai pour devenir faibles de juin à août avec un minimum de 1.8 mm en juillet.

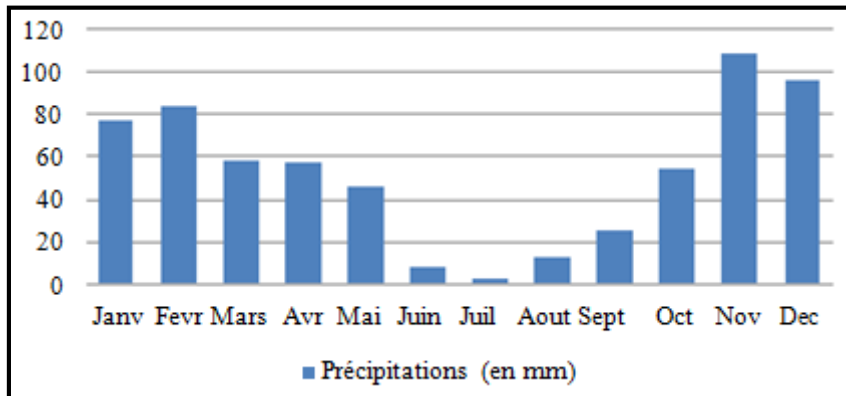


Figure II.4: Cumuls mensuels des précipitations de la station de Dar El Beida (période 2006-2016) (ONM, 2017)

3. Cadre océanographique :

3.1. La houle :

Dans la dynamique sédimentaire des petits fonds, la houle est le facteur le plus important, sa direction de propagation est liée à celle du vent, tant que la profondeur est plus grande que la longueur d'onde de la houle.

Les données de houles existantes sont celles issues :

- Des données du SSMO sur la période 1963 à 1970 ;
- Des observations de l'Institut Météorologique Royal Néerlandais (**KNMI**) de 1961 à 1980.

Les données de houles de l'U.S. Naval Weather Command intitulé Summary of Synoptic Meteorological Observation (**SSMO**) couvrent une période de huit ans qui s'étalent de 1963-1970. L'analyse de ces données fait ressortir les fréquences d'apparition des différents degrés d'agitation par direction.

Tableau II- 1 : Fréquences mensuelles de la houle au large par direction (1 mois=100%) (SSMO, 1963-1970)

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

D'après le (LEM, 2009), le résultat de la synthèse des données montre que :

- Les houles de Nord-Est sont les plus fréquemment observées ;
- Les fréquences d'observations sur l'année des houles d'Est et d'Ouest sont sensiblement identiques avec une légère prédominance du secteur Est.

3.1.1. Direction de la houle au large :

L'analyse du tableau des fréquences d'apparitions des houles par direction et par mois permet de constater que :

- Les secteurs Est et Ouest prédominent par les plus grandes fréquences d'apparition établies ;
- Le secteur Ouest se caractérise essentiellement par les houles de tempête ;
- Les secteurs Nord et Nord-Ouest présentent les fréquences d'apparition les plus faibles ;
- Les fréquences d'observations sur l'année montrent que les houles de secteur Est et Ouest sont sensiblement identiques, avec une légère prédominance du secteur Ouest. Durant la période estivale, le secteur Est prédomine ;
- Le secteur Nord se caractérise par une répartition assez régulière durant toute l'année.

En conclusion :

- L'agitation provenant des secteurs Ouest et Est est la plus fréquente, néanmoins le secteur Ouest prédomine par les fortes houles ;

- Pour le secteur Nord et Nord-ouest, les fréquences d'apparition sont faibles ;
- Les houles de tempêtes proviennent essentiellement du secteur Ouest.

On déduit que la répartition des houles est globalement concordante avec le régime des vents. (OTMANI H, 2014).

En hiver : Les houles d'Ouest dominant, la majorité des amplitudes sont comprises entre 1 et 3 m pouvant atteindre les 4 m, elles engendrent des courants de retour qui entraînent les sédiments vers le large.

En été : Les houles les plus dominantes sont issues du secteur Nord-Est avec des amplitudes moins faibles, et on remarque aussi que les houles de secteur Ouest sont assez importantes, elles engendrent une dérive littorale de l'Est vers le Sud-Ouest. (LEM, 2009).

Tableau II-2 : Amplitudes des houles en fonction des directions et leurs périodes de retour (SSMO, 1963-1970)

Direction	Nord	Nord-Est	Est	Ouest	Nord-Ouest
période de retour (m)					
biennale	4.90	4.93	4.12	7.36	4.16
Quinquennale	5.75	5.67	4.70	8.43	4.87
Décennale	6.38	6.23	5.14	9.22	5.40
Vingtennale	7.02	6.79	5.59	10.02	5.94
Cinquantennale	7.87	7.53	6.17	11.08	6.65
Centennale	8.50	8.08	6.62	11.88	7.18

3.2. Les courants :

3.2.1. Le courant général :

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 1,5 à 2 nœuds. Ce courant s'étale sur plusieurs milles nautiques et son action se fait sentir jusqu'à une profondeur de 200 m. Encore très sensible au large de l'Algérois (vitesse = 0,7 nœud), en allant vers l'Est du bassin occidental de la Méditerranée, son action diminue. (LEM, 2009).

3.2.2. Les courants côtiers :

Le sens et l'intensité de ces courants sont fonction de l'amplitude, de l'incidence de la houle par rapport à la côte, de la topographie de la plage sous-marine et de la granulométrie des sédiments. (LEM, 2009).

a. Les courants de retour :

Le courant de retour correspond à une zone de flot de retour à partir du courant existant au lieu de déferlement de la houle. Ces courants possèdent une vitesse qui dépend de l'énergie de la houle et de la pente de la plage. Ces courants sont responsables de la dispersion d'une partie des sédiments côtiers vers le large. (LEM, 2009).

b. Les courants de dérive littorale :

La dérive littorale prend naissance au niveau de la zone de déferlement où l'énergie est maximale. Cette énergie permet la remise en suspension et le transit des particules sédimentaires le long de la côte. Dans le cas général des houles de petites et moyennes amplitudes, les courants ne sont notables que dans les zones de déferlement et n'affectent donc que le triage des sables et des graviers de la frange littorale "fond -10 m". Ils assurent le transport latéral par dérive littorale et la dispersion. Par contre, les houles de fortes amplitudes pourraient agir jusqu'à des fonds de "-40 m à - 60 m".

A proximité du fond, la vitesse de ces courants diminue très rapidement et devient pratiquement négligeable. (TAIEB ERRAHMANI, 2009). Pendant l'hiver ils ont une direction Ouest - Est du fait de la houle dominante du NW ; le reste de l'année les courants ont plutôt une direction Est - Ouest. (LEM, 2009).

3.3. Les marées :

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

4. Cadre hydrologique :

Le réseau hydrographique dans la baie d'Alger se caractérise par la présence d'oueds à régime temporaire et irrégulier tels que Oued El Harrach et Oued El Hamiz. En été les lits des oueds sont quasiment à sec ou se réduisent à des simples filets d'eau. En revanche, ils connaissent des crues très violentes pendant la saison hivernale. (LEM, 2009).

La baie d'Alger est donc alimentée par Oued El Harrach et Oued El Hamiz, cours d'eau qui prennent leurs sources dans l'Atlas Blidéen drainant la plaine de la Métidja. (LEM, 2009). Ces Oueds sont utilisés comme récepteur des eaux usées des quatre agglomérations secondaires à travers un réseau communal sans traitement préalable. (APPL, 2015).

Tableau II-3 : Caractéristiques générales d'Oued El-Harrach et Oued El Hamiz (ANRH, 2014)

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

5. Cadre géologique :

Du point de vue géologique, la zone d'étude fait partie du Sahel Sud d'Alger. L'essentiel des déformations et des plissements d'âge Néogène a donné naissance aux anticlinaux du massif d'Alger, du Cap Matifou, du Sahel ainsi que la formation synclinale de la Mitidja. Les dépôts continentaux Holocènes recouvrent une partie de la plaine et du littoral, il s'agit de dépôts de sables dunaires et d'alluvions dans les lits des Oueds actuels. Ces dépôts sont constitués :

- ✓ D'argiles jaunes avec des passages de graviers intercalés de vase. Ils couvrent les fonds rouges plus ou moins argileux ;
- ✓ De sables argileux qui proviennent de la désagrégation mécanique des formations environnantes et ne subsistent plus qu'à l'état de lambeaux plus ou moins arrondis ;
- ✓ D'alluvions caillouteuses d'El MOHAMMADIA qui occupent la superficie au 2/3 dans sa partie Nord et sa partie centrale ; ils sont composés de cailloutis, de sables et de limons.

Quant aux dépôts marins, trois types de faciès sableux sont observés dans la couche superficielle de la baie d'Alger :

- ✓ Un faciès sableux qui se limite à la bordure littorale ;
- ✓ Un faciès carbonaté qui se réduit aux bordures rocheuses littorales et aux hauts fonds rocheux de la baie ;
- ✓ Un faciès pélitique occupe la partie centrale et nordique de la baie. (LEM, 2009).

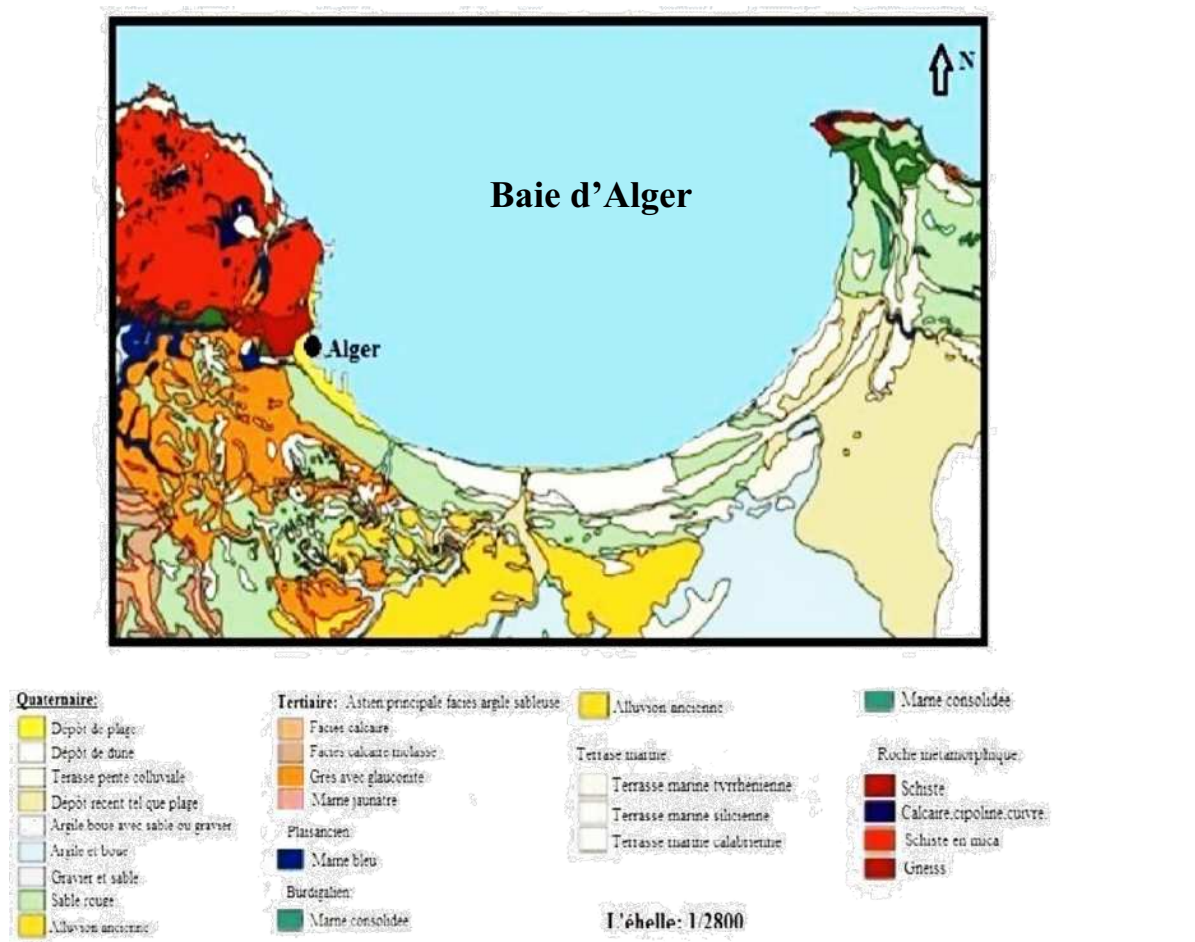


Figure II.5 : Carte géologique de la région d'Alger et ses environs (JICA, 2006)

6. Cadre géomorphologique :

La géomorphologie de la région d'étude se caractérise par la formation d'un cordon dunaire plus ou moins développé dans la partie Est de la baie entre la rive droite de l'Oued El-Harrach et Bordj El Bahri, bordant au Nord la partie des zones basses septentrionales de Mitidja.

Sur une partie du littoral d'étude, le cordon dunaire a presque disparu du fait d'une urbanisation intense en front de mer. (LEM, 2009).

7. Sédimentologie de la zone :

Le site d'étude, partie Est de la baie d'Alger fait partie d'une côte sableuse ; elle est orientée en moyenne ENE-WSW. La façade littorale est constituée d'une plage sableuse qui a une largeur relativement faible ; elle est parsemée de roches qui se prolongent en mer et affleurent maintenant par endroits offrant une protection partielle et locale contre les houles.

La répartition spatiale des sédiments dans la baie d'Alger montre que les sédiments superficiels de la partie occidentale de la baie sont essentiellement des sables moyens à fins (donnée issue de l'étude de l'établissement de la carte sédimentaire du littoral Algérien (1^{ère} tranche)).

La partie orientale de la baie est essentiellement constituée d'une couverture sédimentaire de sables moyens à grossiers. (LEM, 2009).

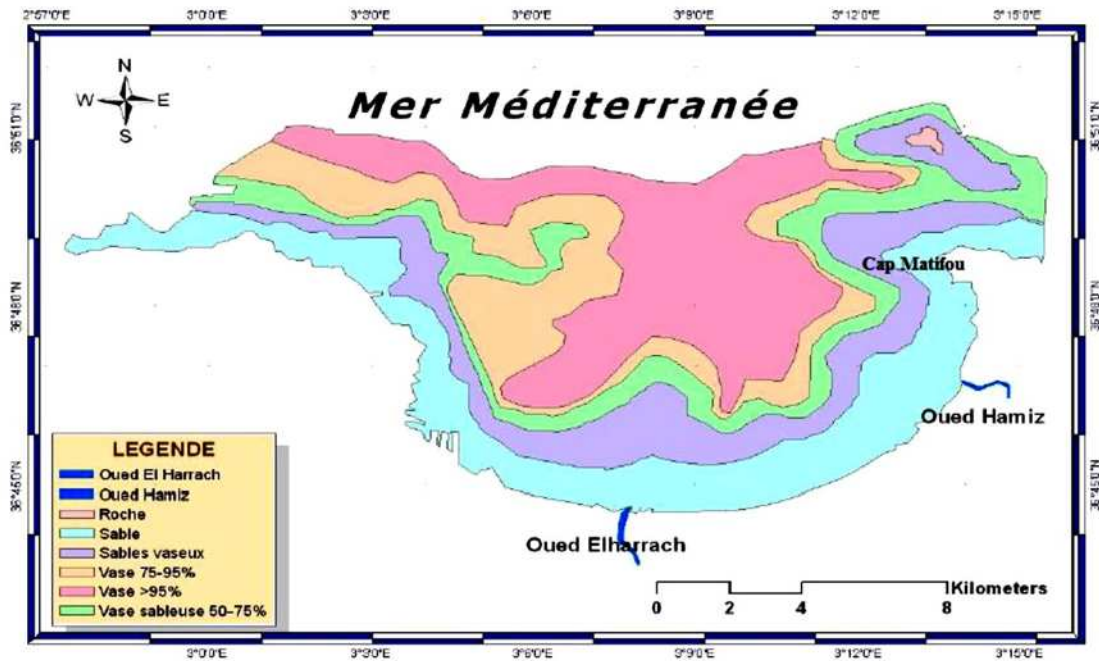


Figure II.6 : Carte sédimentaire de la Baie d'Alger (Maouche, 1987)

8. L'érosion côtière au niveau de la zone d'étude :

D'une manière générale, le littoral de la baie d'Alger est globalement en recul. L'érosion est liée aux facteurs naturels régissant la dynamique littorale et à l'action anthropique, notamment l'extraction de sable, l'urbanisation proche de la mer ainsi que la pollution. La somme de tous ces facteurs se solde par l'altération de l'équilibre naturelle du littoral.

Le littoral du Lido est sujet à une érosion de la plage. Ce phénomène s'accroît fortement au droit de la zone des habitations dont certaines se retrouvent en contact direct avec la mer.

Le défaut de réseaux de collecte des eaux usées et pluviales se traduit par une destruction du profil de la plage qui favorisera sa récession à court terme. (LEM, 2009).

9. Reportage photographique :



Photo II.1 : Ouvrages installés au niveau de la zone d'étude (plage Lido, 2018)

Le site d'étude est vulnérable face à l'aléa érosion, cela a nécessité sa protection par l'installation de différents types d'ouvrages de protection.



Photo II.2 : Urbanisation au niveau de la zone d'étude (Hôtel Hilton et Adghir, 2018)

L'urbanisation anarchique a fait que les constructions trop proches du rivage constituent par elles-mêmes des obstacles réfléchissants pour les houles d'incidence frontale entraînant ainsi la disparition des plages et la dégradation permanente des habitations par déchaussement des fondations.



Photo II.3 : Chantier d'implantation d'un ouvrage de protection à proximité de la zone d'étude (zone militaire Lido, 2018)

Un projet est en cours d'exécution pour but de protéger le champ de tir de la zone militaire qui se situe à proximité de la zone d'étude.

Chapitre III : Méthodologie et résultats obtenus

Introduction :

Le présent chapitre porte sur la connaissance de la nature des sédiments superficiels et sous-marins qui constituent notre zone d'étude et sa variation à une petite échelle spatio-temporelle balayant toute la partie aérienne et sous-marine à partir d'une analyse granulométrique des échantillons prélevés qui nous informe sur la répartition de la taille des différents grains tout en complétant par déduire les indices granulométriques qui appuient nos résultats obtenus. Ainsi qu'une analyse calcimétrique afin de savoir l'origine des sédiments existants dans la zone d'étude.

Analyse granulométrique de la plage aérienne de Bordj El Kiffan:

1. Sortie sur terrain :

Dans le but d'effectuer les prélèvements des sédiments de la partie aérienne de notre zone d'étude : la frange côtière de Bordj El Kiffan : plages Lido, Sirène I et Sirène II ; nous avons réalisé une sortie terrain le 03/05/2018.

Les échantillons de sédiments ont été prélevés à la main, en utilisant des sacs de congélation, du papier calque et un crayon pour étiqueter les échantillons. Les coordonnées de chaque station ont été prises à l'aide d'un GPS de type GARMIN et un décimètre pour mesurer l'espacement entre les stations.

1.1. Conditions climatiques du jour de la sortie :

Tableau III.1 : Conditions climatiques du jour de la sortie

Température (°C)	Vitesse du vent (Km/h)	Humidité (%)
18	7	56

1.2. Positionnement des points d'échantillonnage :

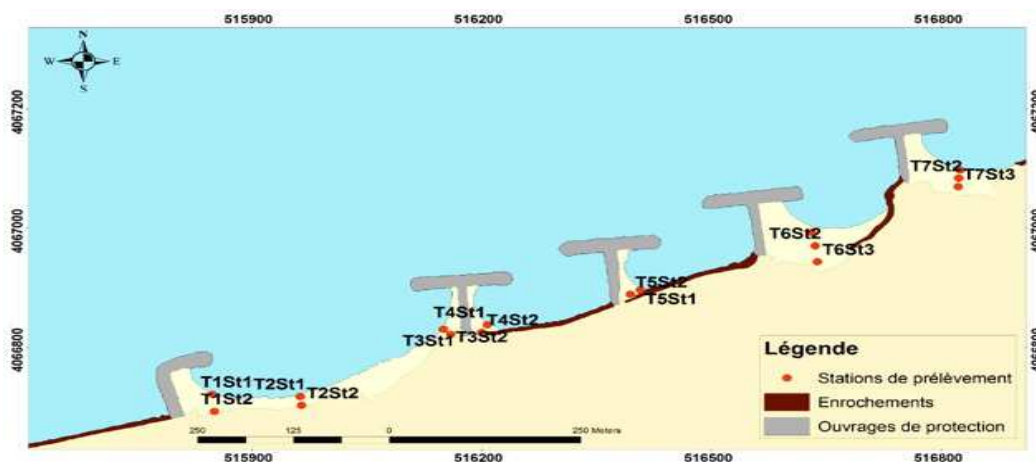


Figure III.1: Localisation des stations de prélèvement au niveau de la plage aérienne de Bordj El Kiffan

1.3. Matériels de prélèvement :



Photo III.1 : Moyens de prélèvement

2. Etudes au laboratoire :

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

- a. Tamisât : partie de l'échantillon passé à travers les mailles du tamis.
- b. Refus : partie de l'échantillon qui n'est pas passée à travers les mailles du tamis.
- c. 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.

2.1. Matériels utilisés :



Photo III.2: Matériel utilisé lors des analyses granulométriques

2.2. Méthode d'analyse au laboratoire :

L'ensemble des prélèvements sédimentaires a été analysé au laboratoire (LGA de l'ENSSMAL) selon les techniques classiques de tamisage (Weydert, 1971 ; Rivière, 1977). La granulométrie consiste à évaluer le pourcentage de la masse totale correspondant à chaque dimension de particule (Rivière, 1977).

L'étude granulométrique d'un sédiment comporte généralement deux (02) phases :

2.2.1. Une phase technique expérimentale :

Cette phase conduit à l'évaluation en pourcentage de chaque dimension de particule à la masse totale du sédiment. Pour chaque échantillon, on procède de la manière suivante :

- Séchage d'une fraction de sédiment à l'étuve (105°) pendant 24 h ;
- Lavage de 200 g de sédiment séché à l'eau douce pour séparer de la fraction pélitique de la fraction grossière, à l'aide d'un tamis de 40 µm ;
- Séchage de la fraction grossière à l'étuve (105°) pendant 24 h ;
- Pesée de la fraction grossière séchée, ainsi la différence entre ce poids et le poids initial nous donnera le taux des pélites ;
- Tamisage de la fraction grossière séchée sur une colonne de tamis répondant aux normes AFNOR, pendant 10 mn : constituée de haut en bas, de tamis de dimension décroissante ; 2000-1600-1400-1250-1000-800-630-500-400-315-250-200-160-125-100-80-63-50-40 µm ;
- Pesée de refus cumulés de chaque tamis à l'aide d'une balance de précision ;
- Évaluation en pourcentage des refus de chaque tamis.

2.2.2. Une phase d'interprétation des résultats obtenus :

Pour cela, nous avons procédé de la manière suivante :

- Traitement des résultats sous formes de fiches granulométriques ;
- Représentations graphiques en courbes cumulatives ;
- Exploitation des résultats pour la répartition des cartes des différents indices et paramètres granulométriques.

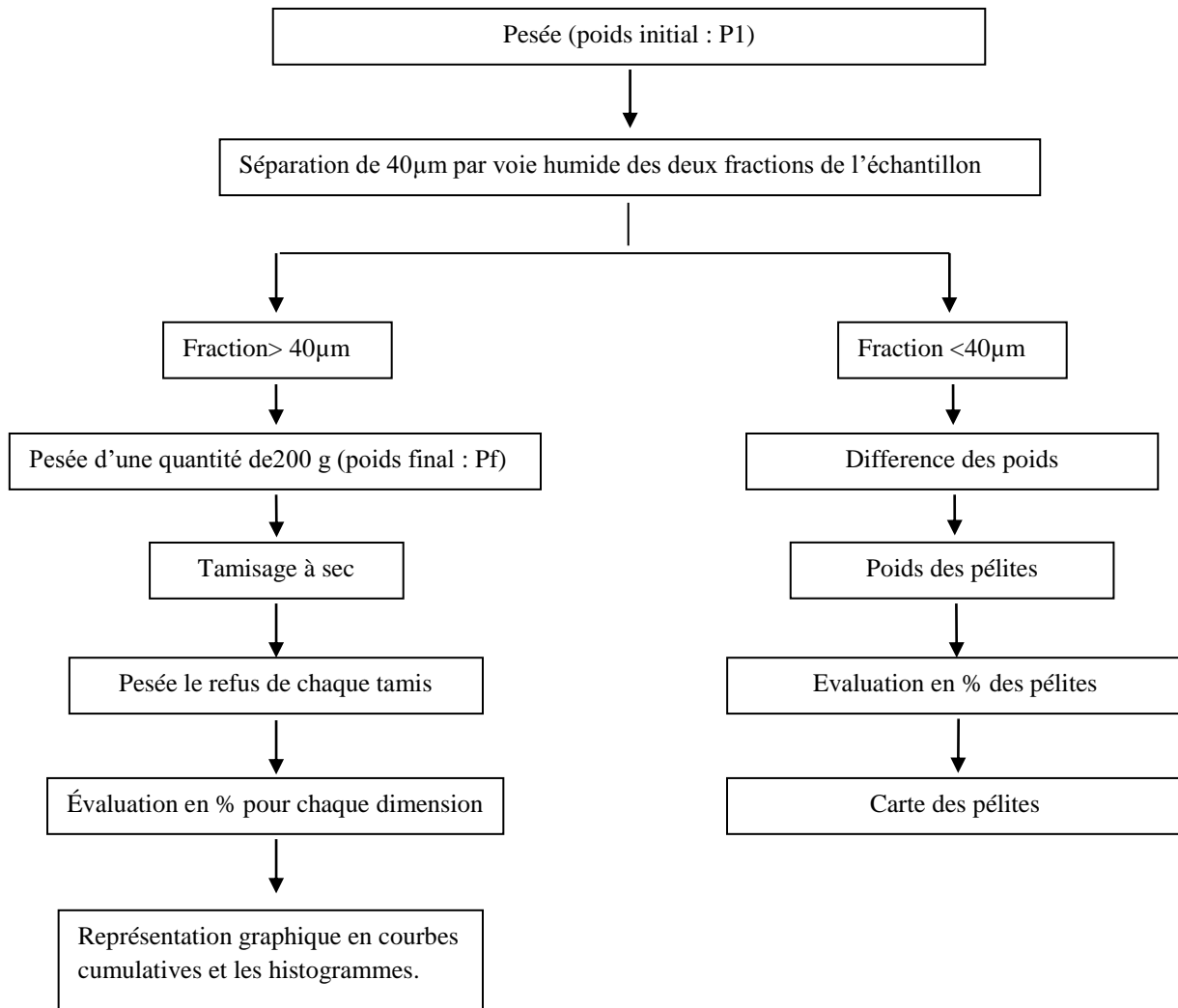


Figure III.2 : Modalité d'analyse granulométrique

Exploitation des résultats :

- Cartes modales.
- Carte des médianes.
- Représentation des indices et des paramètres granulométriques.

2.3. La fraction fine :

L'étude de la fraction fine consiste, d'abord à évaluer pour chaque échantillon le pourcentage de cette dernière inférieure à 40 µm dans un poids considéré, ensuite à établir une carte des pérites qui montre la répartition de cette fraction au sein de la zone de Bordj El Kiffan.

2.4. La fraction grossière :

2.4.1. Les paramètres de position :

Les paramètres de position sont extraits à partir de la courbe de fréquence cumulative (en ordonnée échelle arithmétique : Le pourcentage des tamis cumulés, en abscisse échelle logarithmique : les diamètres des tamis), permettent de calculer les différents indices.

a. Les quantiles :

- Les quartiles : Q_{25} :25% : diamètre du grain à l'ordonnée 25% (premier quartile);
 Q_{75} :75% : diamètre du grain à l'ordonnée 75% (deuxième quartile).
- La médiane Q_{50} :50% : diamètre du grain à l'ordonnée 50%.
- Les déciles : D_{10} :10% : diamètre du grain à l'ordonnée 10% (premier décile) ;
 D_{90} :90% : diamètre du grain à l'ordonnée 90% (deuxième décile).

b. Le mode granulométrique :

Correspond au point d'inflexion de la courbe cumulative. Il représente la dimension la plus significative de la distribution granulométrique.

Il est déduit à partir de l'histogramme de fréquences. Rivière (1977) distingue trois types:

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

2.4.2. Les indices granulométriques :

a. L'indice de dispersion ou de classement (S_0 , Trask) :

Il donne une idée sur l'étalement de la courbe autour de son grain moyen, et nous renseigne sur le degré de classement du sédiment.

$S_0 = \left(\frac{Q_{75}}{Q_{25}} \right)^{1/2}$	$S_0 < 1$	Très bien classé
	$1 < S_0 < 2.5$	Bien classé
	$2.5 < S_0 < 3$	Normalement classé
	$3 < S_0 < 4$	Mal classé

b. Le coefficient d'asymétrie (S_k , Trask) :

Il caractérise le degré de symétrie de la courbe par rapport à la médiane et indique la prédominance des sédiments fins ou des sédiments grossiers.

$$SK = \frac{(Q_{.75} - Q_{.25})}{Q_{.50}^2}$$

$S_k < 1$ Classement maximum vers les fins

$S_k = 1$ Symétrie parfaite

$S_k > 1$ Classement maximum vers les grossiers

3. Résultats et discussion :

3.1. Analyse de la fraction fine :

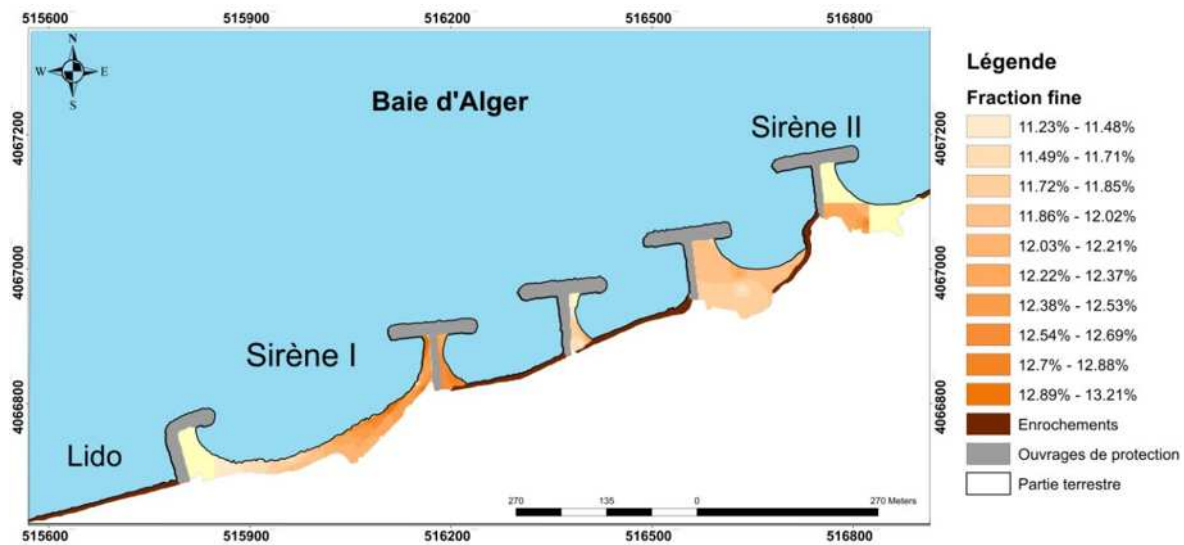


Figure III.3: Répartition de la fraction fine dans la plage aérienne de Bordj El Kiffan

• Commentaire :

La carte des pélites des échantillons effectués au niveau de la plage aérienne de Bordj El Kiffan, en mois de mai, montre une augmentation du taux des pélites jusqu'à 13.21% par rapport à la période hivernale, précisément le mois de décembre (KADRI I, 2017), qui nous a montré le contraire ; cela est dû probablement à la diminution de l'intensification des facteurs hydrodynamiques, on a l'exemple de la plage Sirène I qui est plus ou moins ouverte et exposée par rapport aux deux autres plages (Sirène II et Lido). Sans oublier l'effet du vent sur le transport des pélites jusqu'à l'arrière plage au niveau de la plage Sirène II.



Photo III.3 : Effet des vents sur le transport des pélites au niveau de la plage Sirène II

3.2. Analyse de la fraction grossière :

3.2.1. Les courbes granulométriques :

Dans l'ensemble, les courbes sont généralement redressées ce qui témoigne d'une homogénéité des sédiments analysés, sauf les échantillons prélevés au niveau de la plage Sirène I.

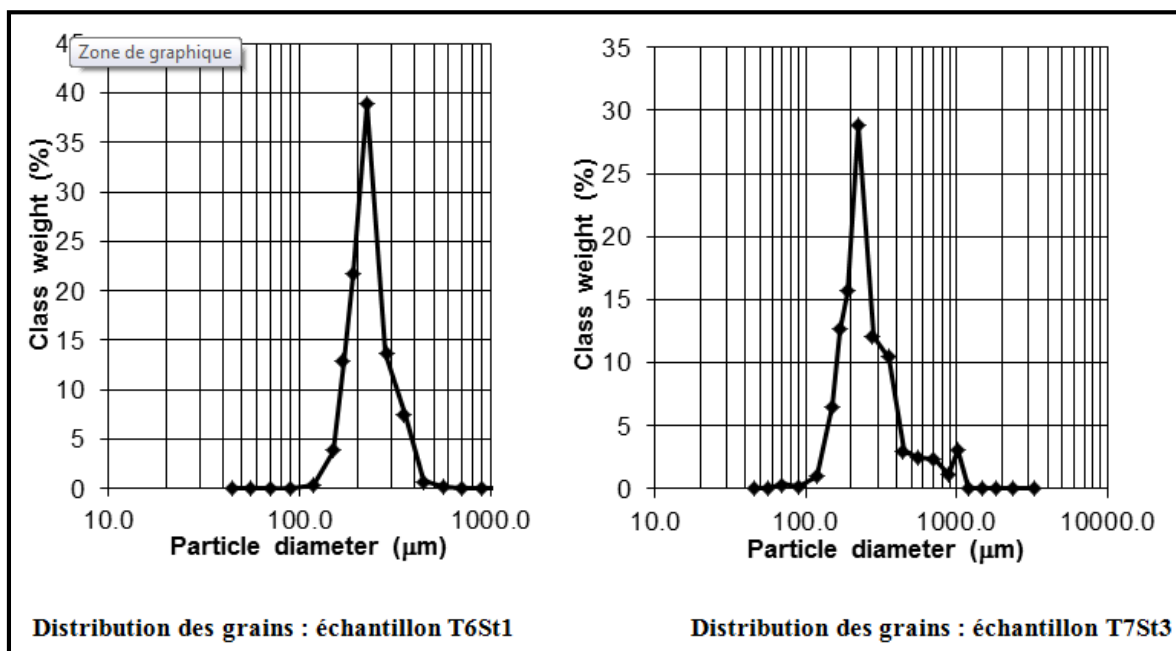


Figure III.4 : Comparaison entre deux échantillons prélevés au niveau de la plage Sirène II

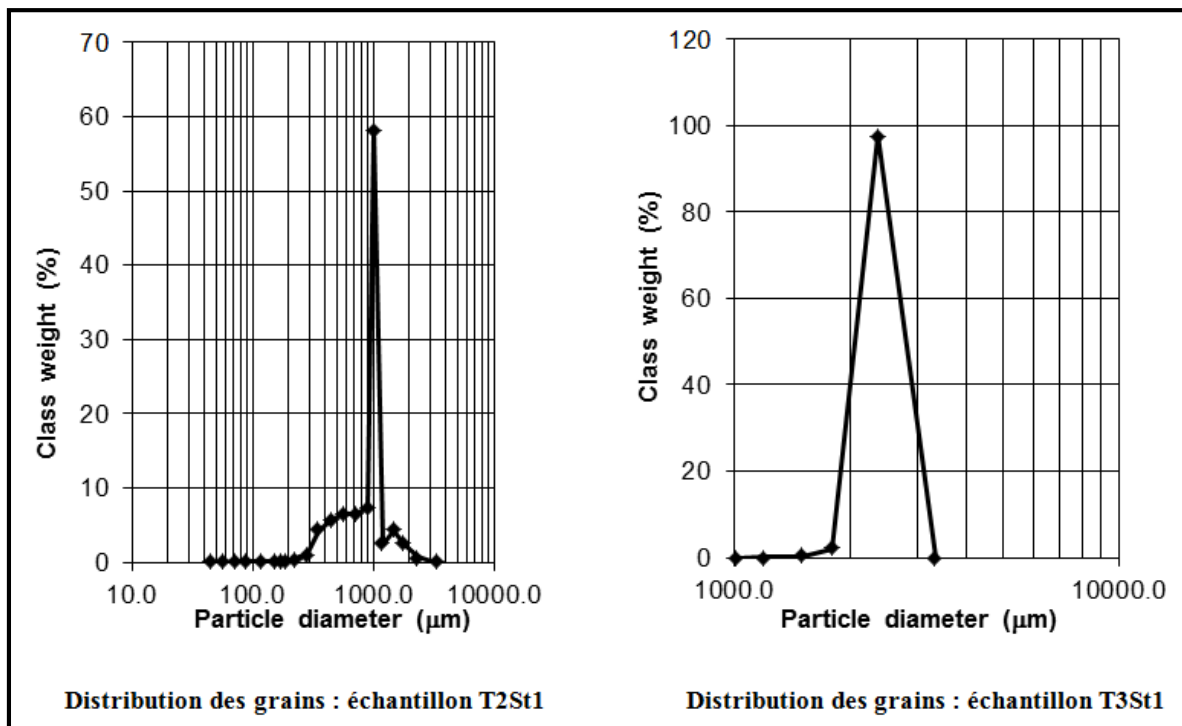


Figure III.5 : Comparaison entre deux échantillons prélevés au niveau de la plage Sirène I

3.2.2. Carte de la médiane :

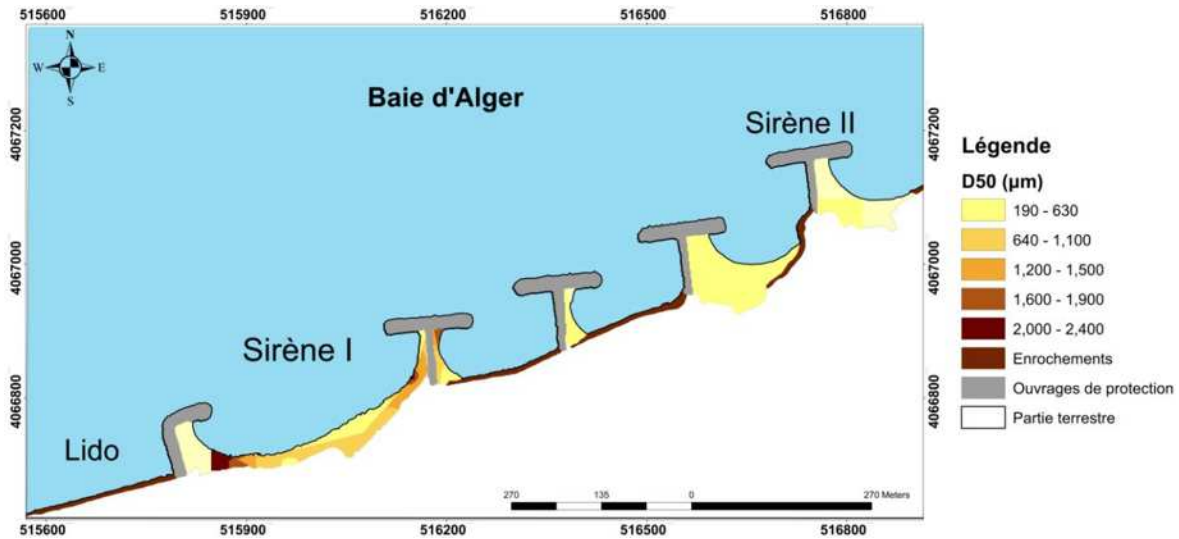


Figure III.6 : Répartition de la médiane au niveau de la plage aérienne de Bordj El Kiffan

- **Commentaire :**

Cette carte représente la répartition de la médiane au niveau de la plage aérienne de notre zone d'étude. La médiane est de 750 µm et cela correspond à du sable très grossier.

Nous observons une distribution régulière de la taille des grains de sédiment d'une manière croissante allant de la plage Sirène II jusqu'à l'extrémité de la plage Sirène I et cela indique que le sens du transit sédimentaire est d'Est en Ouest.

Nous remarquons aussi un piégeage important de sédiments au niveau des deux premiers ouvrages (Sirène I) et entre les deux derniers (Sirène II). Cela peut être dû à la distance entre ces derniers ce qui permet la réception d'un charriage de sédiment important mais au contraire cela peut causer une érosion importante en période hivernale.

3.2.3. Indices granulométriques :

➤ Indice de classement S_0 :

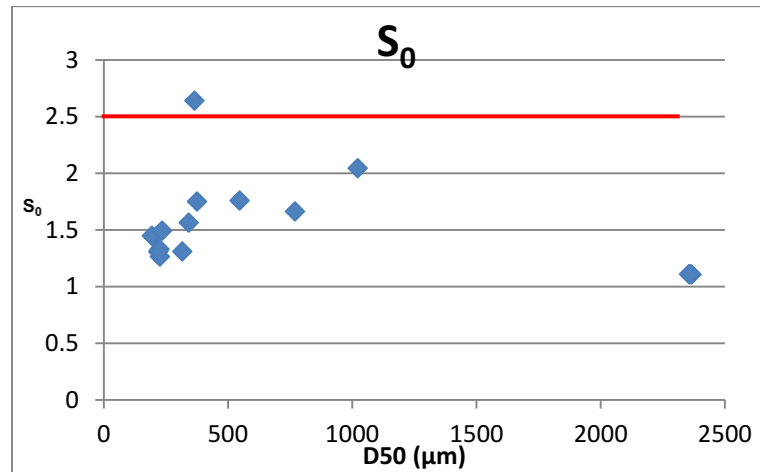


Figure III.7 : Relation entre S_0 et D50

• Commentaire :

La majorité des résultats obtenus de l'indice de classement au niveau de la zone d'étude sont entre 1 et 2.5, cela indique que nous sommes face à un sédiment qui est bien classé.

➤ Coefficient d'asymétrie S_k :

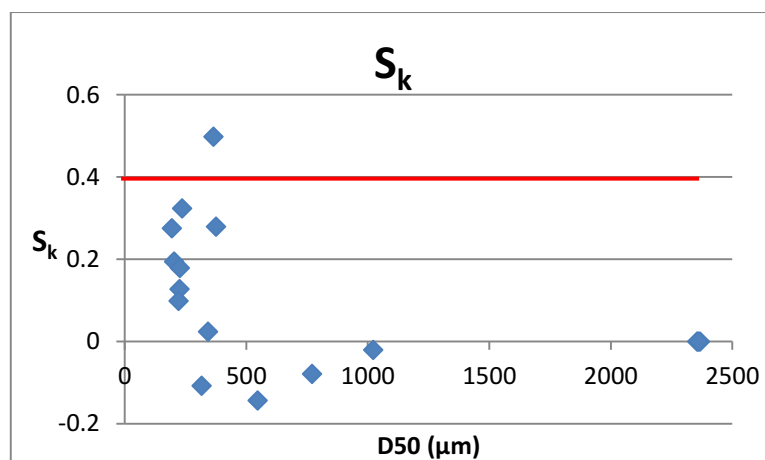


Figure III.8 : Relation entre S_k et D50

- **Commentaire :**

La majorité des valeurs obtenues du coefficient d'asymétrie S_k pour les échantillons de la zone d'étude sont inférieure à 1, ce qui indique un classement maximum vers les particules fines. Contrairement dit par rapport aux résultats obtenus en 2017 (**KADRI I, 2017**) qui indique un classement maximum vers le grossier.

Etude de la sédimentologie :

1. Sortie en mer :

Une sortie en mer a été effectuée le 10/05/2018 avec l'embarcation « Zakaria Islam », afin de balayer le relief sous-marin et de prélever les sédiments de la partie sous-marine de notre zone d'étude.

Le prélèvement a été effectué à l'aide d'une benne preneuse de type « Van-Veen » attachée à un câble et envoyer sur le fond en mer, les coordonnées des stations de prélèvement ont été prises à l'aide d'un GPS. Une fois la benne est remontée, l'échantillon de sédiment est mis dans un sac de congélation et étiqueté.

Les échantillons obtenus ont été destinés à une analyse granulométrique au laboratoire (LGA de l'ENSSMAL) suivant les mêmes étapes citées précédemment dans l'analyse granulométrique de la plage aérienne.



Photo III.4 : Prélèvement des échantillons à l'aide de la benne Van Veen

1.1. Conditions climatiques du jour de la sortie :

Tableau III.2 : Conditions climatiques du jour de la sortie

Température (°C)	Vitesse du vent (Km/h)	Humidité (%)
21	12	73

1.2. Positionnement des points d'échantillonnage :

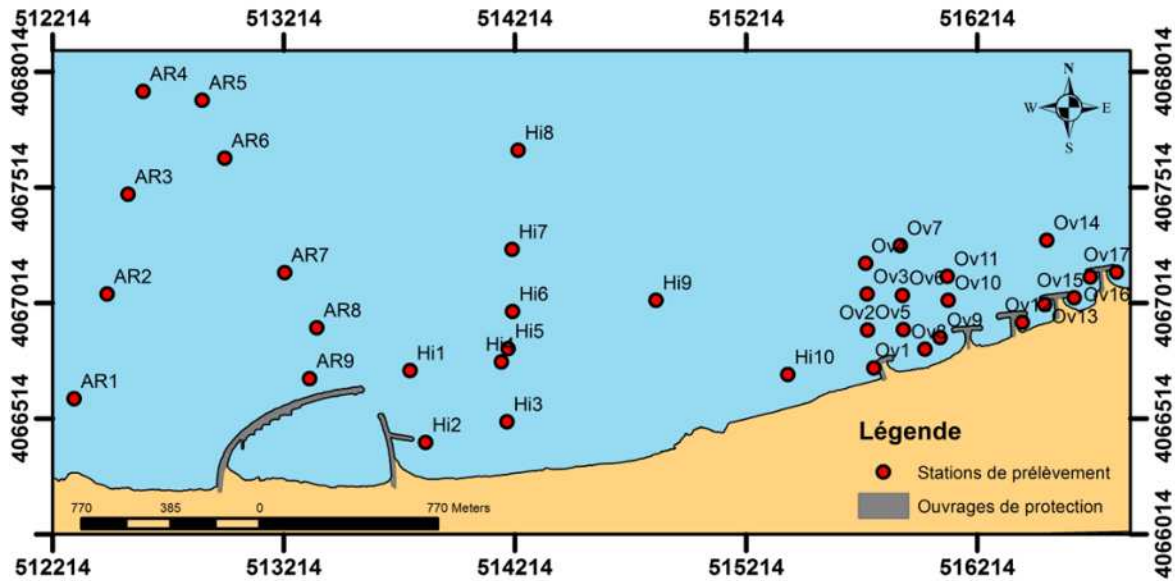


Figure III.9: Localisation spatiale des stations de prélèvement au niveau de la plage sous-marine de Bordj El Kiffan

2. Résultats et discussion :

2.1. Analyse de la fraction fine :

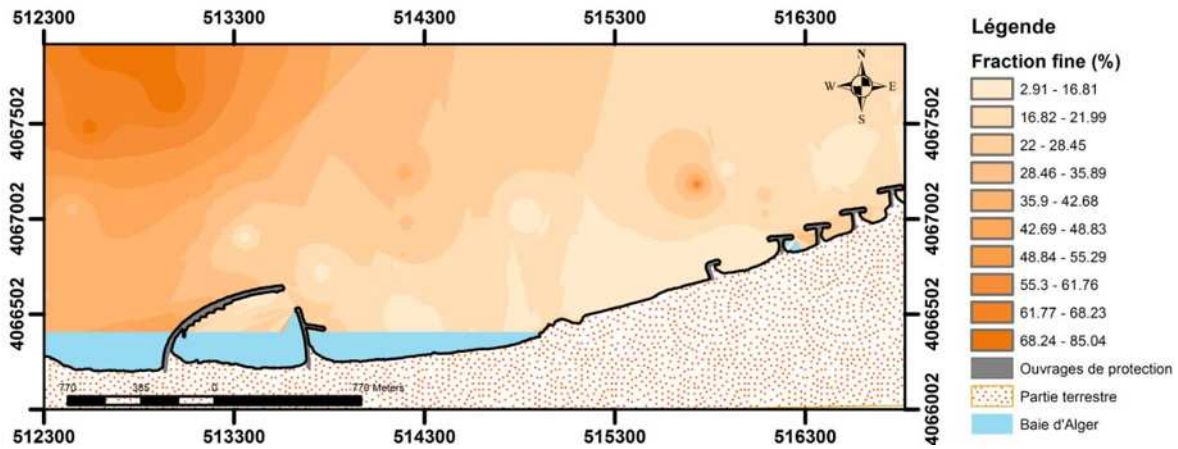


Figure III.10: Répartition des pélites dans la plage sous-marine de Bordj El Kiffan

• **Commentaire :**

Nous observons une répartition croissante des pélites en allant de la côte vers le large et aussi de l'Est vers l'Ouest. Cela indique la présence d'une énergie importante mettant en remaniement les sédiments.

Le pourcentage important des pélites existant du côté Ouest peut-être dû au charriage important de Oued El-Harrach.

2.2. La médiane :

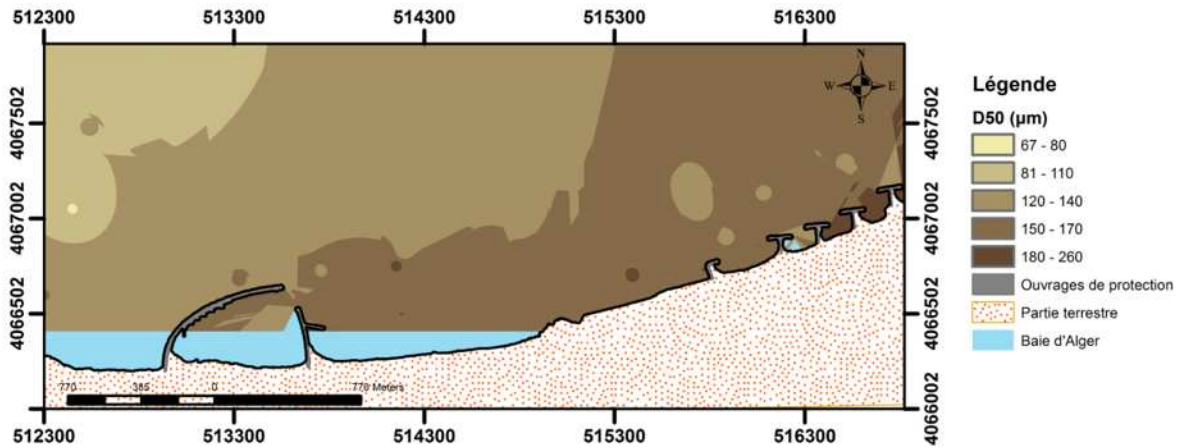


Figure III.11: Répartition de la médiane dans la plage sous-marine de Bordj El Kiffan

- **Commentaire :**

La répartition spatiale de la médiane montre une décroissance du diamètre du grain de la côte vers le large. Les diamètres les plus importants se trouvent proche de la côte atteignant un maximum de 260 μm . Par contre les plus faibles valeurs se situent au large avec un minimum de 67 μm .

2.3. Indices granulométriques :

- **Indice de classement S_0 :**

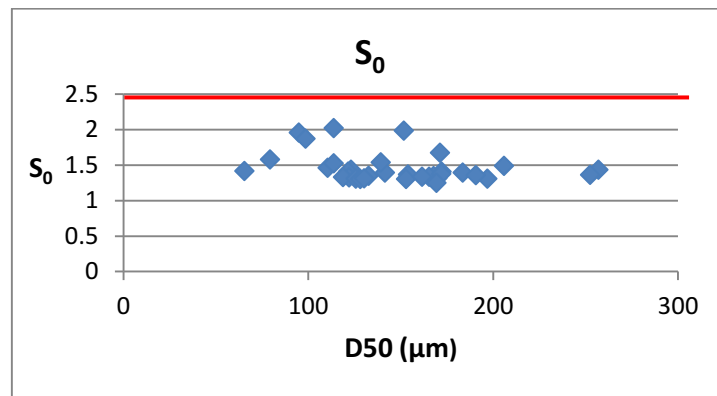


Figure III.12 : Relation entre S_0 et D_{50} dans la plage sous-marine de Bordj El Kiffan

- **Commentaire :**

Les résultats obtenus de l'indice de classement correspondant aux échantillons sous-marins sont entre 1 et 2.5, cela révèle une présence de sédiments bien classés.

➤ Coefficient d'asymétrie S_k :

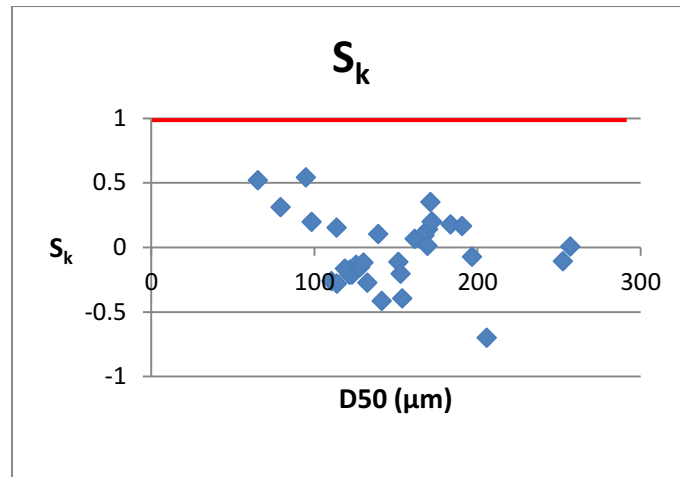


Figure III.13 : Relation entre S_k et D_{50} dans la plage sous-marine de Bordj El Kiffan

• **Commentaire :**

Les valeurs obtenues de coefficient d'asymétrie S_k pour les échantillons sous-marins sont pour la majorité inférieure à 1, ce qui correspond à un classement maximum vers les particules fines.

Analyse calcimétrique :

La calcimétrie est la mesure du pourcentage de CaCO_3 dans une roche, un sédiment, un sol..., l'appareil de mesure la plus fréquemment utilisée est le calcimètre de Bernard.



Photo III.5 : Calcimètre de Bernard

Le dosage du carbonate de calcium est basé sur l'attaque par l'acide chlorhydrique (HCL) dilué d'un échantillon d'une masse donnée à pression et température standard. On mesure le volume de CO₂ dans un tube manométrique après attaque de l'échantillon à l'acide chlorhydrique (HCL) suivant la réaction suivante :



On utilise l'eau saturée en sel pour éviter la perte de CO₂ à partir de sa réaction avec H₂O selon la réaction suivante :



1. Mode opératoire :

- On prépare une solution saturée de NaCl ;
- On tare la balance puis pèse 0.25g de l'échantillon broyé ;
- On remplit au même niveau le niveau de la solution saturée en NaCl du tube gradué et de l'ampoule du calcimètre et on note la division qui correspond au V₁ sur le tube gradué ;
- On introduit 0.25 g de carbonate pur ou 0.25 g de l'échantillon à étudier dans l'Erlenmeyer ;
- On remplit un petit tube avec de l'acide chlorhydrique (HCl) dilué à 10% et on l'introduit dans l'Erlenmeyer avec une pince et avec précaution pour ne pas le verser ;
- On bouche l'Erlenmeyer avec le bouchon relié au tube gradué de calcimètre de Bernard ;
- On renverse l'acide contenu dans le tube sur l'échantillon ;
- On agite de temps en temps l'Erlenmeyer pour activer la réaction ;
- A la fin de l'effervescence, on note la division correspondante au V₂ sur le tube gradué ;
- Le volume de CO₂ dégagé est la différence des volumes V₂-V₁.

2. Calcul des teneurs en CaCO₃ :

- Pour l'échantillon témoin (carbonate pur) le volume de CO₂ dégagé est :

$$V_{\text{témoin}} = V_2 - V_1.$$

- Pour l'échantillon N : le taux de carbonate :

$$\blacksquare \text{ On a } V_{\text{ech.N}} = V_2 - V_1.$$

Et on sait que le carbonate pur contient 100 % de CaCO₃

$$\text{Donc } V_{\text{témoin}} \rightarrow 100\% \text{ de CaCO}_3$$

$$V_{\text{ech.N}} \rightarrow X\% \text{ de CaCO}_3$$

$$\text{D'où } \% \text{ de CaCO}_3 \text{ dans l'échantillon N} = V_{\text{ech.N}} * 100 / V_{\text{témoin}}$$

3. Résultats et discussion :

Tableau III.3 : Teneurs en CaCO_3 des échantillons de la plage aérienne de Bordj El Kiffan

Echantillon	Ech témoin	T ₂ St ₁	T ₂ St ₂	T ₃ St ₁	T ₄ St ₁	T ₅ St ₁	T ₅ St ₂	T ₆ St ₁	T ₆ St ₂	T ₆ St ₃	T ₇ St ₂	T ₁ St ₂
Teneur en CaCO_3 (éch partie aérienne)	100%	63.49%	73.01%	95.24%	25.39%	39.68%	25%	25.39%	25.4%	31.74%	28.57%	93.65%

Tableau III.4 : Teneurs en CaCO_3 des échantillons de la plage sous-marine de Bordj El Kiffan

Echantillon	Ech témoin	AR ₂	AR ₄	AR ₆	Ov ₁	Ov ₂	Ov ₉	Ov ₁₆	Ov ₁₇	Hi ₈	Hi ₁₀
Teneur en CaCO_3 (éch partie sous-marine)	100%	31.33%	52.17%	26.96%	40.87%	31.3%	30.43%	25.21%	23.47%	30.43%	30.43%

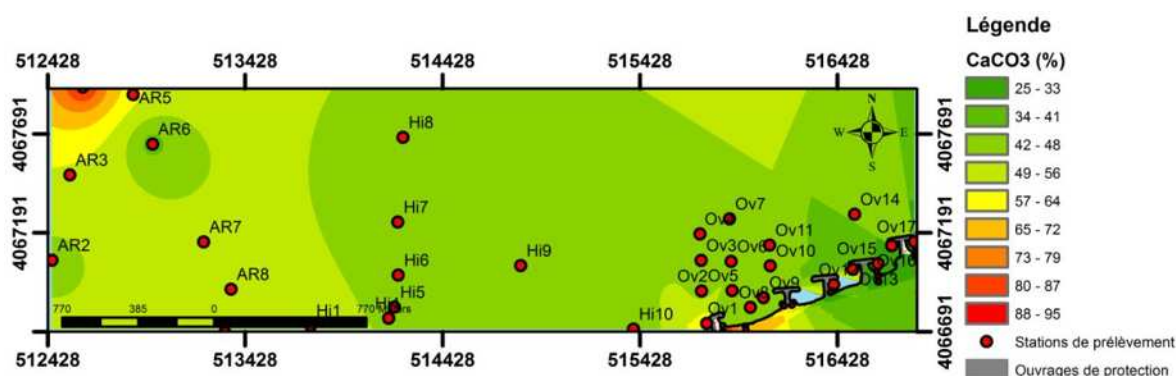


Figure III.14 : Répartition du taux de CaCO_3 dans la plage aérienne et sous-marine de Bordj El Kiffan

- **Commentaire :**

Nous observons une augmentation du taux de CaCO_3 depuis la plage aérienne jusqu'au large de la plage sous-marine et cela s'explique par l'origine des sédiments et du calcaire qu'ils contiennent qui est d'origine marin.

Au niveau de la plage Sirène I, on observe anormalement un pourcentage important du CaCO_3 et cela est dû forcément au rechargement artificiel qui a eu lieu en 2014 au niveau de cette dernière.

Conclusion :

La diminution du taux des pélites en allant du large vers la côte s'explique avec l'augmentation de l'énergie de la houle dans les petits fonds.

La comparaison entre les cartes de la répartition spatiale des sédiments (cartes des médianes) aérienne et sous-marine montre que la sédimentation dans ce secteur obéit au schéma classique de la sédimentation à savoir la diminution graduelle de la taille des particules de la côte vers le large.

Selon la classification de Folk, les sédiments sont bien classés et montrent un classement maximum vers les particules fines pour les échantillons de la plage aérienne et sous-marine.

D'après l'analyse calcimétrique, on se trouve face à des sédiments d'origine marine. Cela peut nous donner une idée sur le scénario du transport sédimentaire par la suite.

Chapitre IV : Modélisation hydro-sédimentaire

Modélisation hydrodynamique :

Introduction :

L'approche modélisatrice est basée sur l'utilisation de modèles numériques pour la simulation de propagation de la houle et le flux énergétique longshore et le transport sédimentaire, construits à l'aide des codes de calcul Mike 21 (SW, HD et ST) avec une approche double.

La construction du modèle de simulation a été effectuée à partir d'un levé bathymétrique détaillé réalisé durant la période estivale de 2018. Les données de houles au large ont été extraites du Summary of Synoptic Meteorological Observation (SSMO) couvrant une période de huit ans qui s'étalent de 1963-1970.

Le modèle numérique nous permet d'illustrer les houles, le courant dû aux vagues et les modes de transport du littoral. Le modèle morphodynamique 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**).

Nous avons divisé cette partie en trois grandes parties :

- La première partie consiste à déterminer le climat de houle qui règne dans la zone de déferlement à travers la simulation de différents climats de houle au large des grandes aux très faibles profondeurs ;
- La seconde partie consiste à déterminer la courantologie générée par les vents et les houles dans les alentours de notre zone d'étude ;
- La troisième partie consiste à estimer les taux de transports sédimentaires sous l'effet de la dérive littorale générée par les houles obliques approchant le site d'étude.

1. Matériels utilisés :

1.1. Description du logiciel de calcul Mike Zéro :

MIKE Zéro est le nom commun des implémentations Windows de DHI intégrant l'interface utilisateur graphique pour la mise en place des simulations, la pré-analyse et le post-traitement, la présentation et la visualisation dans un environnement de projet orientée (**DHI, 2014**).

1.2. Description du logiciel de calcul MIKE 21 :

MIKE 21 est un système sous forme de logiciel développé par le Danish Hydraulics Institute (DHI) et reposant sur un maillage structuré (grille rectangulaire ou curviligne) ou, pour certains modules, sur un maillage non structuré.

Le modèle MIKE est bidimensionnel horizontal, utilisant une méthode de volumes finis. Il a trois principaux modules tels que l'hydrodynamique (HD), le spectre de la houle (SW), et le transport sédimentaire non cohésif (ST) (**Than, 2015**).

1.2.1. Le modèle Hydrodynamique (HD) :

Le modèle hydrodynamique MIKE21 HD résolve les équations bidimensionnelles classiques de Navier Stokes par la méthode en volume fini sur une grille à maillage flexible et par la méthode des différences finies sur une grille à maillage rectangulaire. Il traite le frottement sur le fond, l'effet des événements météorologiques (vent et pression atmosphérique), la force de Coriolis, etc

Il nous permet de simuler les courants côtiers dûs à l'action de la houle dans la zone de déferlement (DHI, 2014).

1.2.2. Le modèle spectral de la houle (SW) :

Le module d'analyse spectrale de la houle est l'un des outils de modélisation numérique pour l'étude de modèle spectral vent-vague. Le modèle est basé sur une grille à maillage flexible (DHI, 2014a) et est particulièrement applicable pour l'analyse des vagues simultanée à la fois à l'échelle régionale et locale. Le maillage flexible permet une résolution spatiale grossière pour la zone au large et une haute résolution en eau peu profonde et sur le littoral. Le modèle SW simule la croissance des vagues par l'action du vent, l'interaction non-linéaire vague-vague, la dissipation due au « white-capping », la dissipation due au frottement de fond, la dissipation due au déferlement de la vague, la réfraction de la houle par les changements de profondeur, l'interaction vague-courant et l'effet de profondeur d'eau variant dans le temps (DHI, 2014k).

2. Etude bathymétrique :

L'étude bathymétrique est une étude primordiale dans notre domaine afin de reconnaître et interpréter la morphologie sous-marine, pour cela nous avons procédé à une analyse bathymétrique pour essayer d'obtenir un résultat fiable et précis et cela en adoptant la méthode de récolte sur terrain.

Un levé bathymétrique qui consiste à déterminer les coordonnées tridimensionnelles des points du fond marin dans le système géodésique WGS84 à l'aide d'un GPS et d'un écho test a été effectué lors de notre sortie en mer le 10/05/2018.

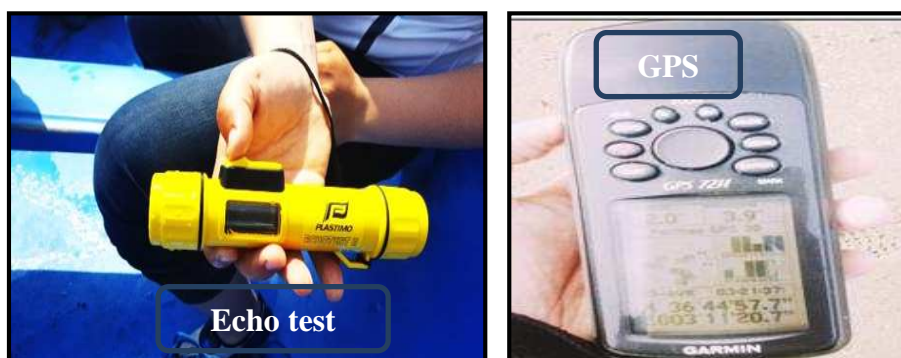


Photo IV.1 : Matériels utilisés

2.1.Méthodologie de travail :

Les étapes de cette étude sont résumées dans l'organigramme suivant :

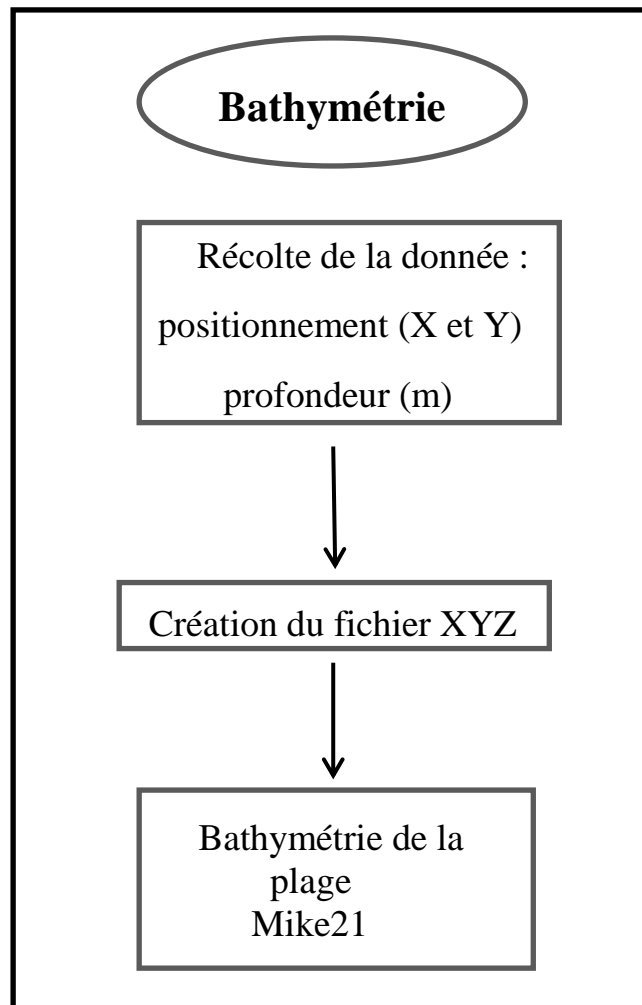


Figure IV.1 : Organigramme de l'étude bathymétrique

Pour créer un maillage simple qui va montrer le contour de la surface ; on a suivi les étapes suivantes :

- Création d'un espace de travail où il faut spécifier le système de projection ;
- Importation des données XYZ du Trait de côte ainsi que la bathymétrie ;
- Définir le domaine de travail par la spécification des limites (frontières) par des arcs qui entourent la zone d'études ;
- Génération du maillage (Mesh).

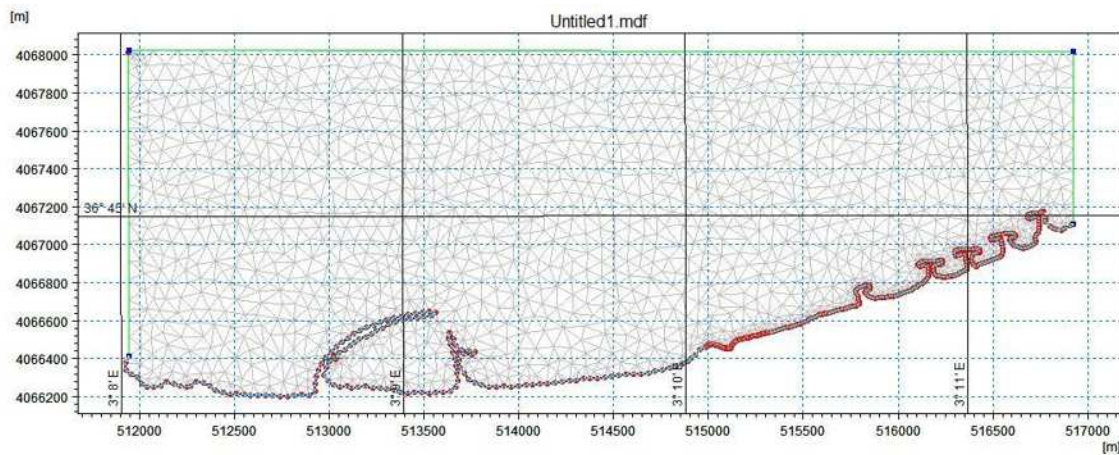


Figure IV.2 : Génération du maillage de travail (Mesh)

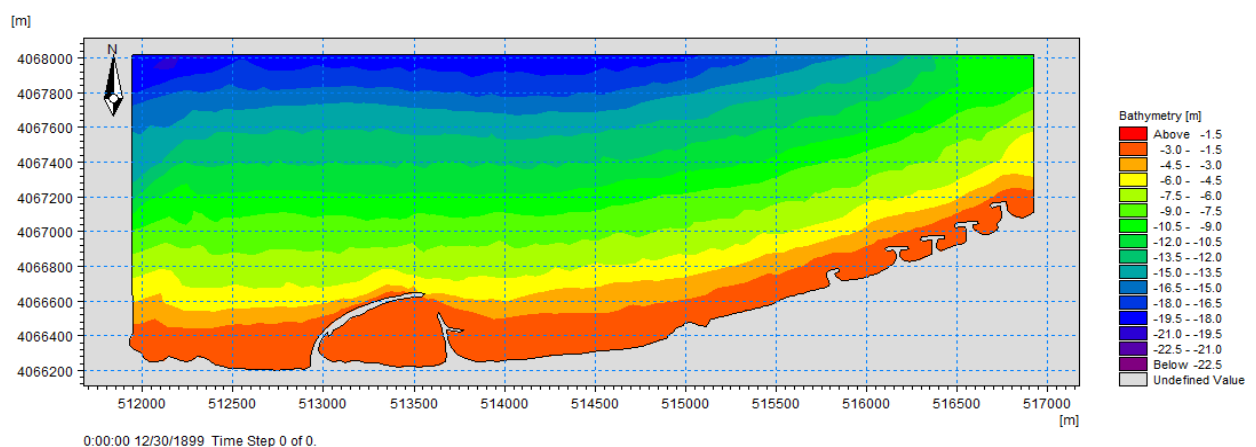


Figure IV.3 : Carte bathymétrique de la zone d'étude 2018

3. Simulation des courants et de la houle :

3.1. Choix des modèles couplés :

Le logiciel MIKE comprend certains modules spécialisés pour calculer le champ des courants, des vagues, du transport sédimentaire, etc. En particulier, le modèle intégré MIKE21/3 FM couplé avec le module ST intègre des modèles professionnels pour étudier les questions liées au transport du sable et au dépôt-érosion. Le modèle couplé MIKE21/3 FM est un nouveau produit (développé en 2004-2009) et le logiciel spécialisé plus avancé MIKE21 comprend de nombreux modules intégrés pour l'utilisation dans quatre grands domaines tels que l'hydraulique de la rivière et de la mer, les vagues, les processus d'accumulation et d'érosion et l'environnement hydraulique. Il s'agit d'un modèle d'hydraulique numérique par éléments finis intégrés pour simuler le processus hydraulique intégré ainsi que dans des eaux peu profondes, couplant des vagues, des courants et le transport de matériel. (THAN, 2015).

Dans la dernière version de MIKE 21, qui a été utilisée pour la présente étude, la modélisation de l'ensemble des processus peut être effectuée en mode couplé, permettant

une mise à jour de l'ensemble des variables (courants, vagues, transports des sédiments et morphologie) à chaque pas de temps du calcul.

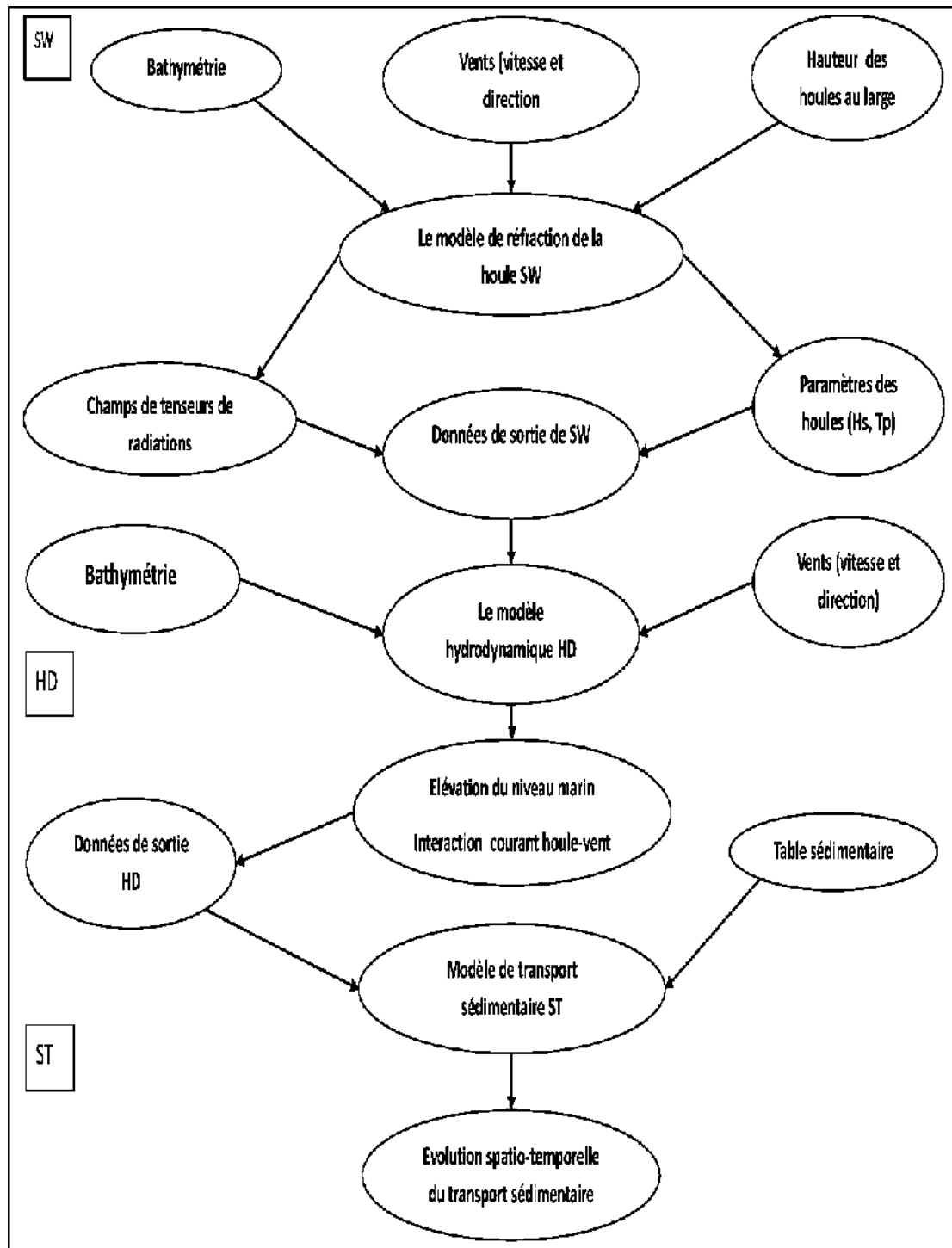


Figure IV.4 : Approche méthodologique de la modélisation par les codes MIKE-21 (DHI, 2014)

3.2. Modèle SW :

a. Les conditions de niveau marin :

Les conditions du niveau marin varient en fonction du temps de simulation et selon la bathymétrie de la zone d'étude.

b. Les conditions de courant :

Les vecteurs de vitesse et de direction des courants sont calculés grâce au module HD.

c. Rupture de vagues :

La rupture des vagues est calculée par le changement de la profondeur avec une valeur constante $\gamma = 0.8$ et $\alpha = 1$.

d. Conditions initiales et conditions aux limites :

Les conditions initiales imposées dans le module SW dans les limites des zones d'études sont les paramètres de la houle.

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

Les données de houle au large utilisées pour le calcul de la réfraction de la houle au L.E.M sont celles du Summary of Synoptic Meteorological Observations (SSMO) de 1963 à 1970.

Ainsi trois (03) directions ont été retenues en tenant compte des tableaux de fréquence par direction des houles au large ainsi que l'incidence de ces houles par rapport à la zone d'étude :

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

Tableau IV.1 : Données de houle au large

Direction (deg)	N315	N360	N30
Période (s)	8	8	8
Hauteur (m)	2.67	2.67	2.56

3.3. Modèle HD :

Le modèle MIKE21 HD a été configuré comme suit :

a. Frottement sur les fonds :

Toutes les simulations hydrodynamiques ont été réalisées avec un coefficient de Manning de $n = 0.03$, constant dans l'ensemble du secteur modélisé.

b. Force de Coriolis :

La Force de Coriolis a été prise en compte avec un type de variation selon le domaine. Le calcul de la force de Coriolis est programmé automatiquement selon l'algorithme de DHI-Mike 21.

c. Force des vents :

Les forces des vents sont introduites par une grille de données qui varient dans le temps et dans le domaine, les données utilisées sont celle de 2018 de la station météorologique d'Alger (ONM).

d. Les radiations des champs de houle :

Les radiations des champs de houle sont obtenues grâce à la formulation spectrale du module Mike 21 SW.

e. Conditions initiales :

Les conditions initiales sont les niveaux d'eau utilisés comme conditions aux limites, des informations de niveaux d'eau sur les points aux limites Nord, Est et Ouest sont nécessaires, de ce fait la valeur du niveau d'eau utilisé est de $e=0.34$ m (SHFN, 2012).

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

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

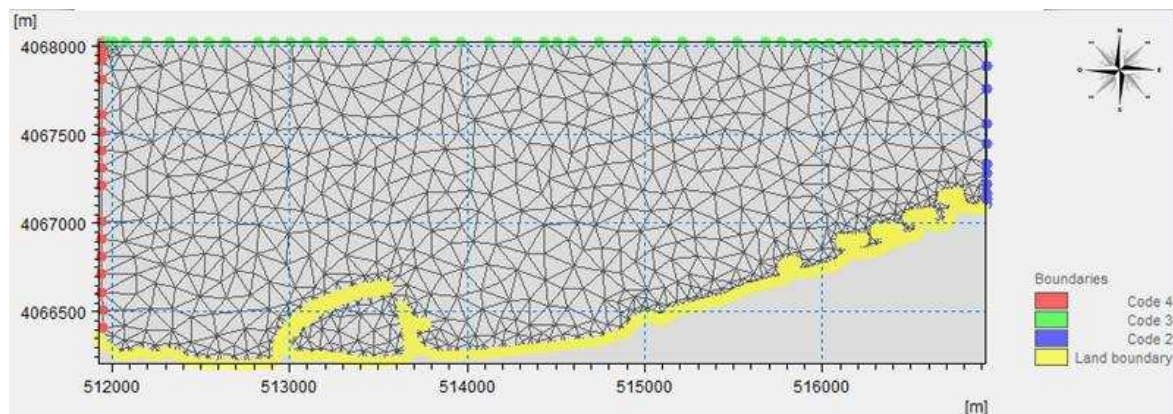


Figure IV.5 : Maillage de la zone d'étude

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

- En premier lieu, on fait rentrer notre domaine d'étude (mesh file), puis on précise la durée de simulation qui est de 24h avec un intervalle d'une heure, c'est-à-dire que chaque une heure on aura un résultat (Output).
- Puis on génère la table sédimentaire (Q3D Sediment Transport Table) qui permet de calculer les taux de transport des sédiments non cohésifs ($m^3/s/m$) en utilisant l'effet combiné des vagues et du courant, ceci pour le modèle numérique de transport de sable MIKE 21-ST.

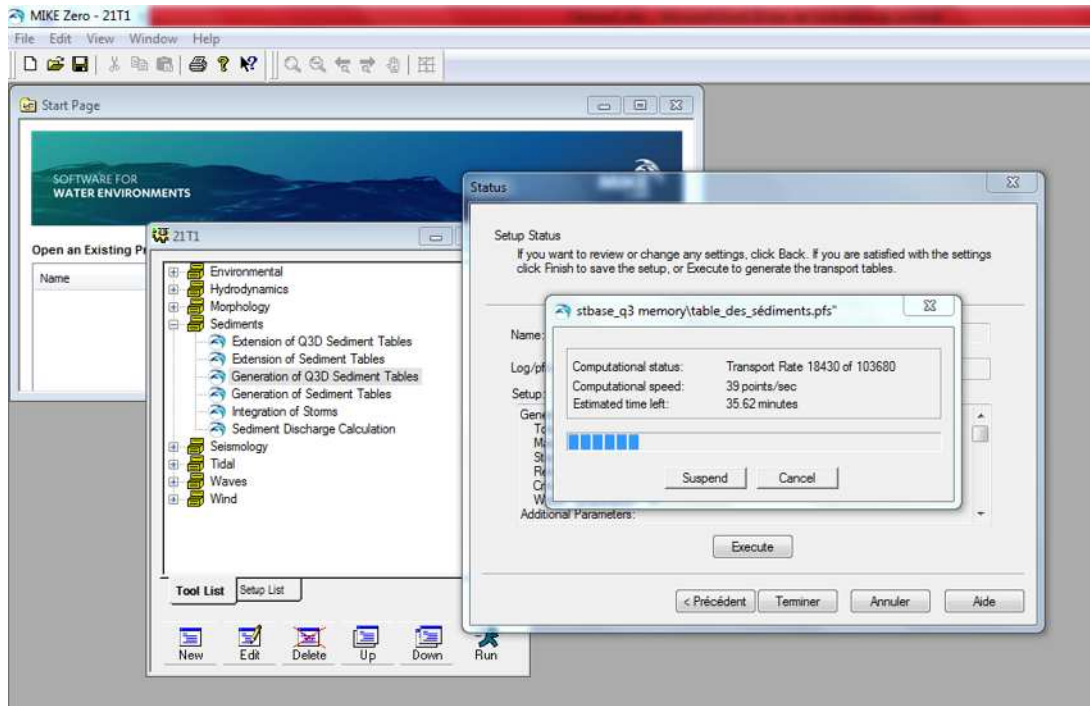


Figure IV.6 : Etapes de la génération de la table sédimentaire

- Enfin on termine la préparation des données de simulation en insérant la hauteur, la direction et la période des différentes houles au niveau du modèle numérique Spectral Waves (MIKE 21-SW).

3.5. Résultats de la simulation :

Les résultats de simulation numérique sont présentés ci-après ; les directions considérées sont Nord 315 et Nord 30, l'autre direction est en Annexe. (**Annexe III**)

3.5.1. Réfraction de la houle (Spectral Wave, SW) de direction Nord-Ouest (315N°) :

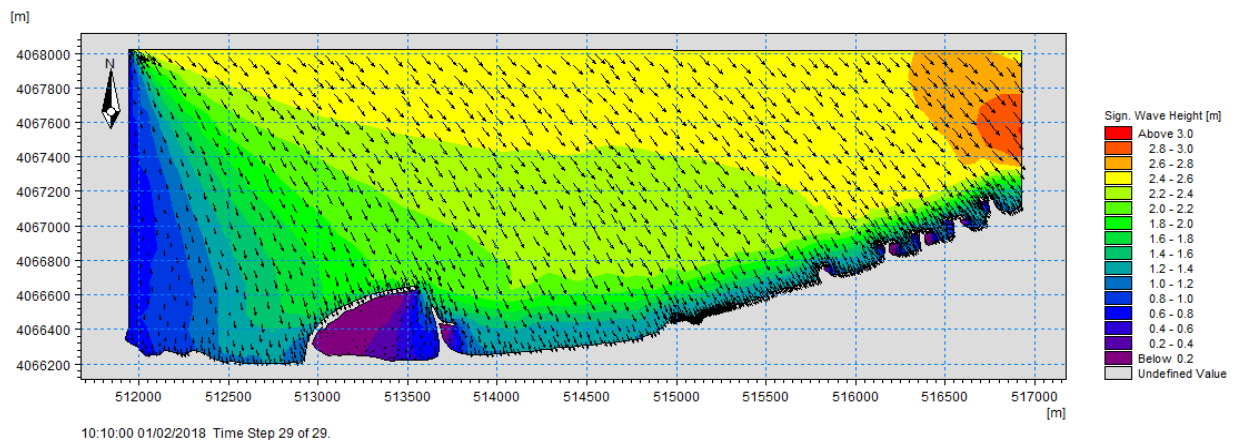


Figure IV.7 : Répartition du champ de réfraction de la houle, MWD=315° ; H=2.67m ; T=8s

A partir de cette simulation on a pu extraire l'évolution des paramètres de la houle en fonction de la profondeur.

Tableau IV.2 : Evolution des paramètres de la houle (MWD*=315° ; H_s=2,67m ; T=8s) déterminés par le module SW

Paramètres de la houle	En eau profonde > -20m	En eau peu profonde < -20m
La hauteur H _s	2.67 m	2.61m
La direction Θ	315°	358°
La période T	8 s	6.23 s

- **Commentaire :**

Nous remarquons une forte diminution de l'énergie de la houle qui arrive frontalement à la côte (hauteur de houle entre 0.2m et 0.6m correspondant à une diminution d'environ 80% de son énergie), cela est plus remarquable dans le côté Est où s'installent les ouvrages de protection.

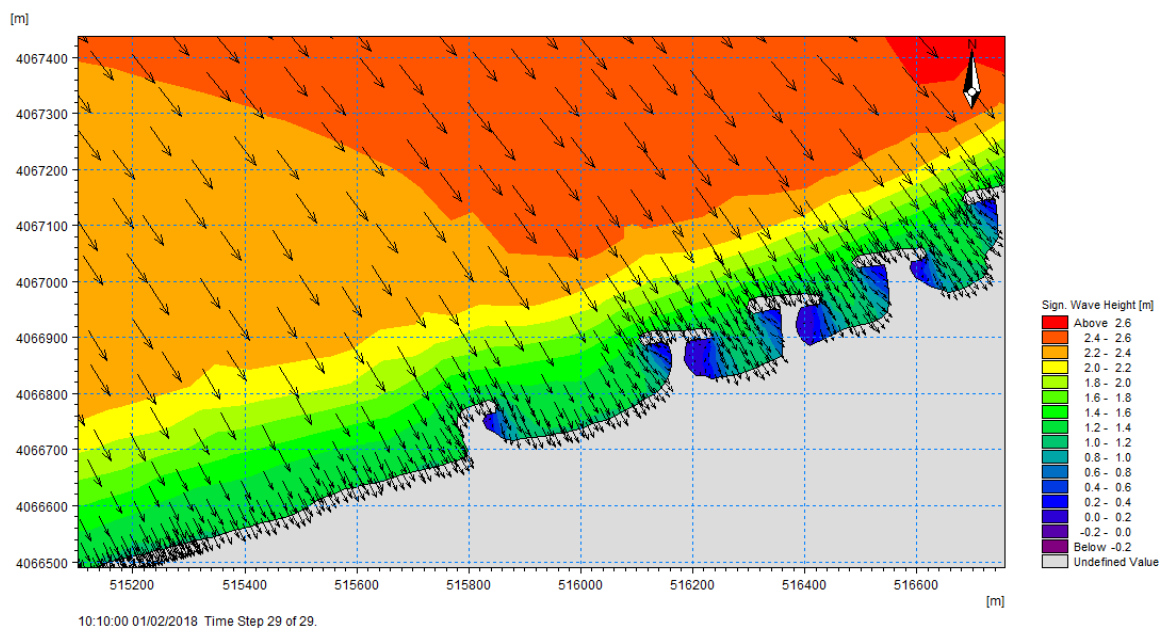


Figure IV.8 : Répartition du champ de réfraction de la houle au niveau des ouvrages, MWD=315° ; H=2.67m ; T=8s

Le même phénomène est remarquable du côté Ouest plus exactement au niveau du port ARDIS.

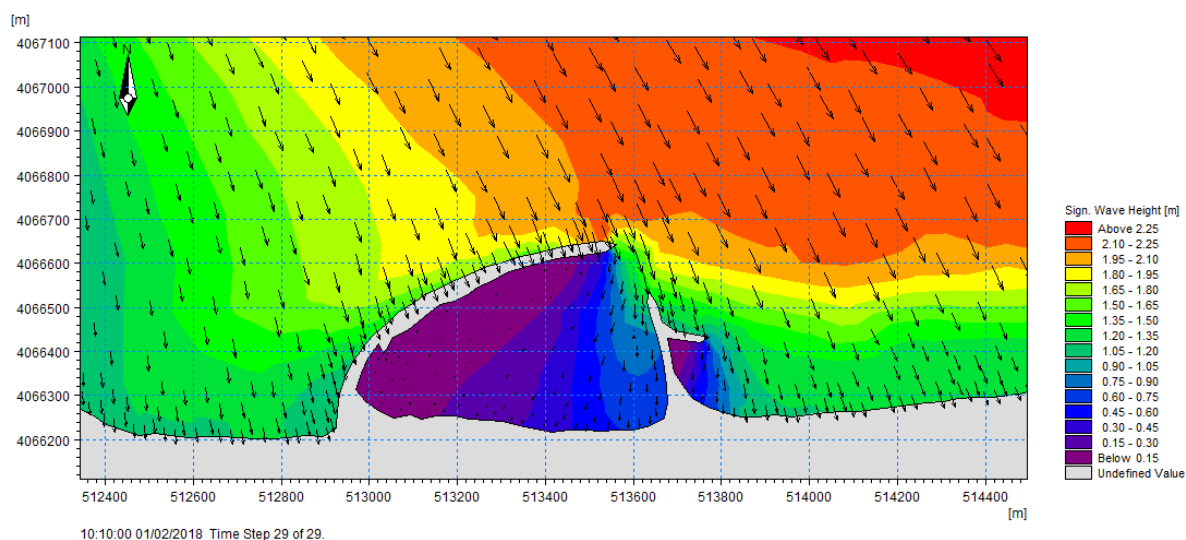


Figure IV.9 : Répartition du champ de réfraction de la houle au niveau du port ARDIS, MWD=315° ; H=2.67m ; T=8s

Au niveau de la partie exposée directement aux courants (entre le port et les ouvrages), on observe une diminution moins intense (hauteur de houle entre 1.2m et 1.4m correspondant à une diminution d'environ 50% de son énergie).

Cette diminution pourrait s'expliquer par la morphologie du fond et aussi par la présence des ouvrages de protection.

3.5.2. Réfraction de la houle (Spectral Wave, SW) de direction Nord-Nord-Est (30N°) :

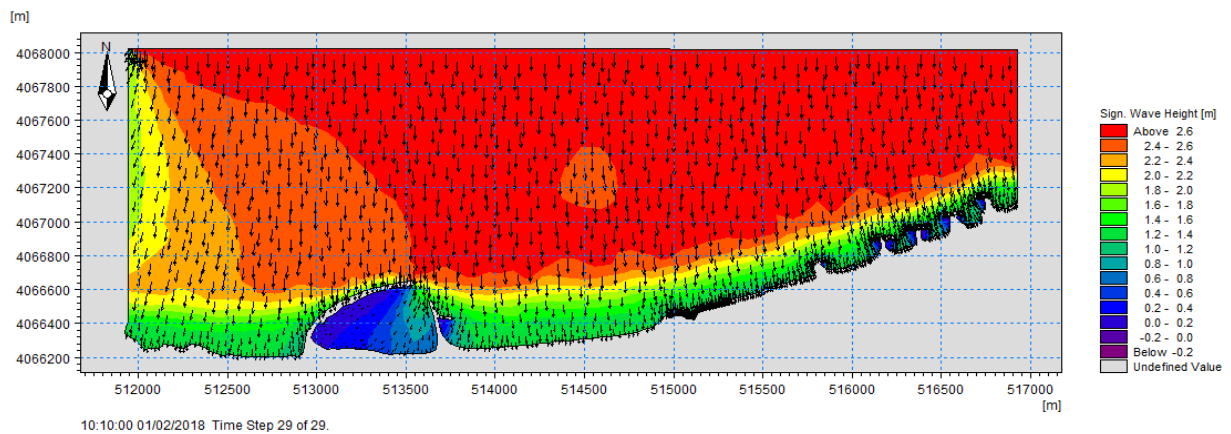


Figure IV.10: Répartition du champ de réfraction de la houle, MWD=30° ; H=2.56m ; T=8s

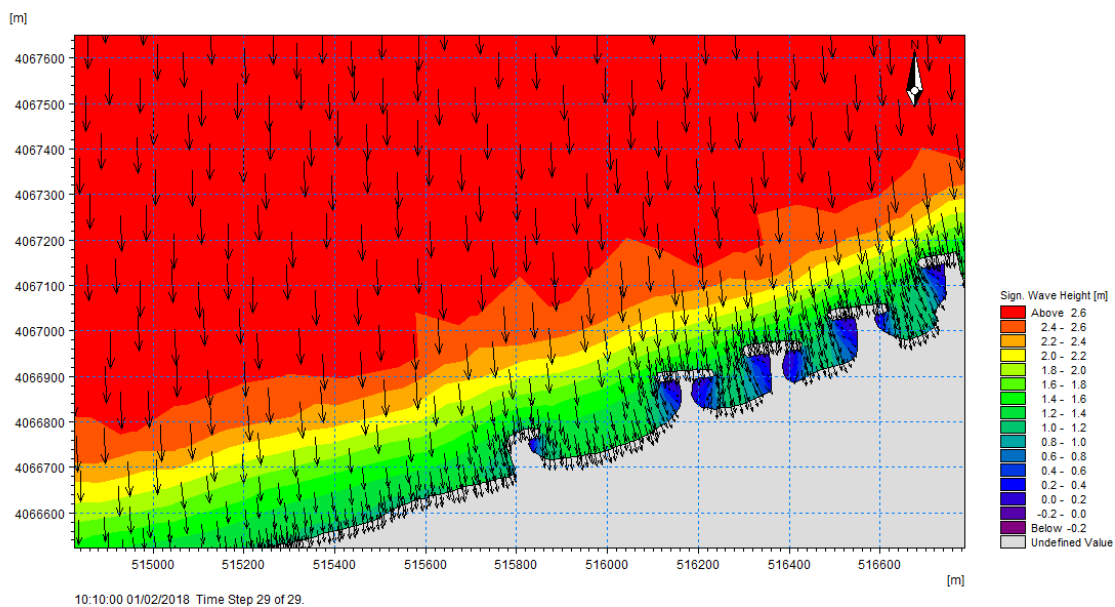


Figure IV.11 : Répartition du champ de réfraction de la houle au niveau des ouvrages, MWD=30° ; H=2.56m ; T=8s

A partir de cette simulation on a pu extraire l'évolution des paramètres de la houle en fonction de la profondeur.

Tableau IV.3: Evolution des paramètres de la houle (MWD*=30°; H_s=2,56m ; T=8s) déterminés par le module SW

Paramètres de la houle	En eau profonde > -20m	En eau peu profonde < -20m
La hauteur H _s	2.56 m	2.43 m
La direction Θ	30°	24°
La période T	8 s	6.11 s

- **Commentaire :**

Nous remarquons une diminution très importante de l'énergie de la houle qui est plus remarquable par rapport à celle du secteur Nord-Ouest parce qu'elle est moins énergétique.

3.5.3. Courantologie (Hydrodynamic, HD) de direction Nord-Ouest (315N°) :

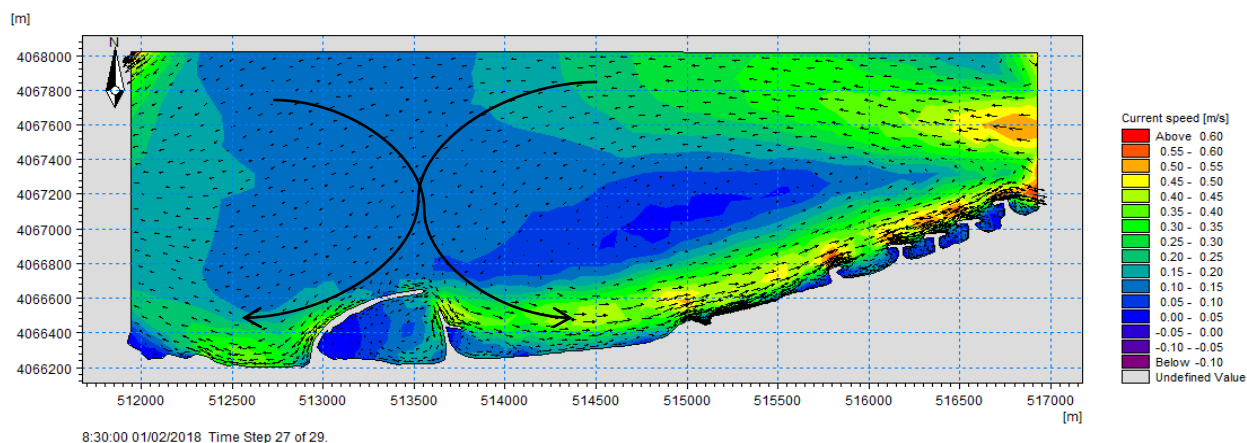


Figure VI.12 : Répartition du champ des courants, MWD=315° ; H=2.67m ; T=8s

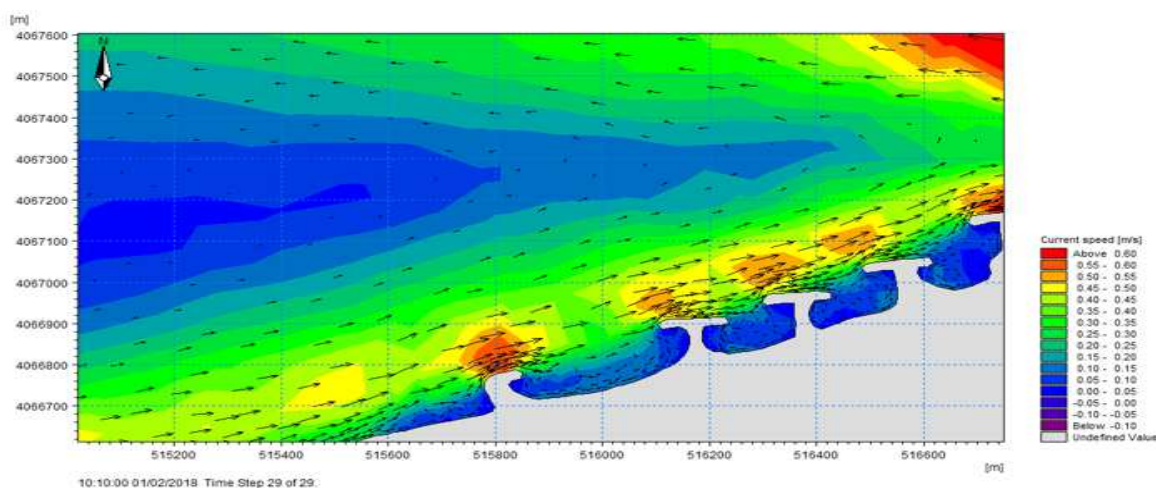


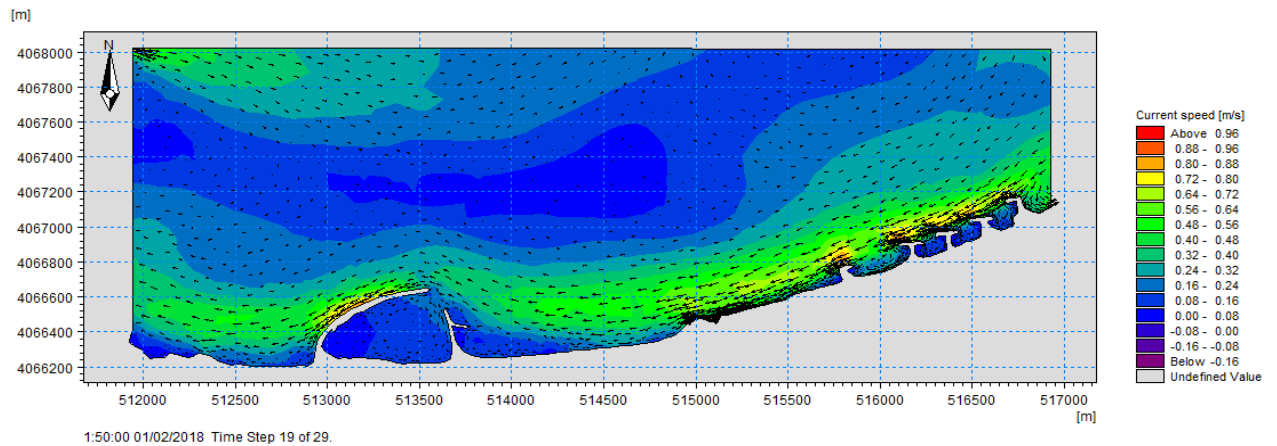
Figure VI.13 : Répartition du champ des courants à l'abri des ouvrages, MWD=315° ; H=2.67m ; T=8s

- **Commentaire :**

Les **Figure IV.12** et **IV.13** montrent une augmentation de la vitesse des courants à l'approche du rivage (jusqu'à 0.45 m/s) et au contact direct avec les ouvrages (jusqu'à 0.6 m/s). La vitesse des courants est presque nulle à l'abri des ouvrages de protection.

On remarque l'existence de deux courants opposés qui sont peut-être dû à la morphologie de la baie du côté Est qui permet de créer un chemin de courants ressemblant à la forme de l'infini (∞) qui génèrera le courant opposé.

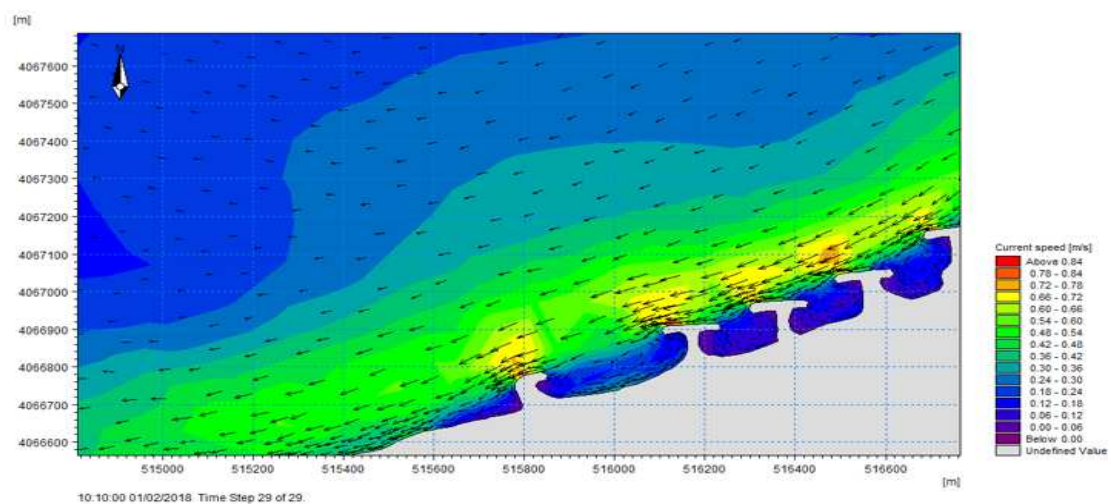
3.5.4. Courantologie (Hydrodynamic, HD) de direction Nord-Nord-Est (30°) :



**Figure IV.14 : Répartition du champ des courants, MWD=30° ; H=2.56m ;
T=8s**

- **Commentaire :**

Nous observons une augmentation de vitesse des courants à l'approche du rivage mais avec une vitesse plus grande que celle produite par la direction Nord-Ouest et qui atteint un maximum de 0.96 m/s, c'est un courant à une seule direction.



**Figure IV.15 : Répartition du champ des courants au niveau des ouvrages,
MWD=30° ; H=2.56m ; T=8s**

Cela peut être dû à la morphologie de la zone et l'énergie ajoutée par le courant de retour de l'autre secteur ce qui va augmenter la vitesse.

Conclusion :

Selon les résultats obtenus on constate que :

Les résultats du calcul de la réfraction de la houle montrent que 90% de l'énergie des houles sont atténuées à leur arrivée à la côte.

La houle dominante dans la zone d'étude est celle du Nord-Nord-Est (30N°) et cela a été bien démontré par les résultats de la simulation des courants par la vitesse maximale atténué qui est de l'ordre de 0.96 m/s.

Transport sédimentaire :

Introduction :

De nombreux processus physiques contrôlent le transport sédimentaire. Ce transport sédimentaire dépend de l'intensité et de la structure des courants dans la colonne d'eau. Or, en zone côtière les variations des vitesses couvrent une gamme d'échelle temporelle très large. Ainsi, les sédiments vont être transportés au gré du mouvement orbital des vagues, des courants moyens (courant de retour sagittal ou de dérive), ou encore des ondes longues. A cela s'ajoute la turbulence induite par le déferlement qui peut favoriser la remise en suspension des sédiments. (ADJAL M, 2014).

1. Le mode de transport :

L'usage a conduit à distinguer trois différents modes de transport sédimentaire selon le type de contact s'exerçant entre la particule en mouvement et le fond (Figure IV.16) :

- **Le transport par roulement ou charriage** concerne les grains de la couche superficielle des sédiments non-cohésifs qui roulent sur le fond dans le sens de l'écoulement jusqu'à trouver une nouvelle position d'équilibre. Ce mode de transport se produit essentiellement lorsque la contrainte de frottement est proche de la contrainte critique de mouvement.
- **Le transport par saltation** apparaît lorsque le seuil de mouvement est dépassé. L'impulsion fournie par le fluide fait sauter les particules au-dessus du fond suivant une trajectoire balistique. La hauteur maximale atteinte par les grains est de l'ordre de grandeur du diamètre de celle-ci.
- **Le transport en suspension** (ou suspended load) se produit lorsque l'écoulement est suffisamment fort pour maintenir en suspension les particules sans que celles-ci ne se redéposent. Les particules concernées par ce mode de transport sont les sables, les silts et les argiles. La taille et le poids des particules transportées sont en relation directe avec l'intensité de l'écoulement.

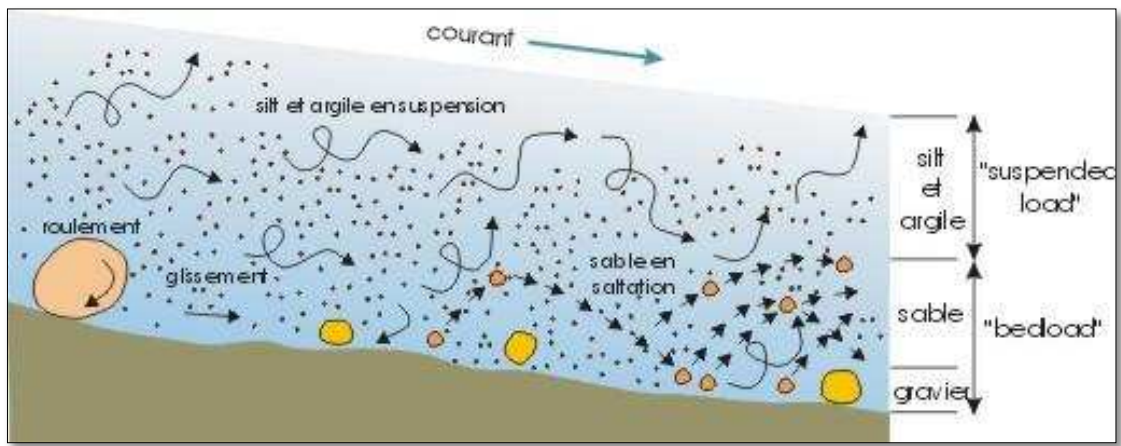


Figure IV.16 : Mode de transports sédimentaire (BOULVEIN F, 2018)

2. Les processus mis en jeu dans le transport sédimentaire :

Le comportement des sédiments dans les zones côtières et estuariennes est influencé par de nombreux phénomènes. Les particules chutent, sédimentent et se déposent sur le fond pour former le sédiment. Dans le sédiment se produisent les processus de tassement et de consolidation. Lorsque l'agitation engendrée par les courants et les vagues est suffisante, les sédiments peuvent être remis en suspension ou érodés puis transportés dans l'eau. Au cours de ce transport les sédiments cohésifs peuvent flocculer pour former des agrégats, modifiant ainsi leur chute. (Parker, 1986) puis (Mehta et al. 1989) ont proposé un modèle conceptuel de la dynamique sédimentaire estuarienne reliant les processus de dépôt - érosion - transport aux états spécifiques des vases (Figure IV.12). Les phénomènes hydrodynamiques tels que la marée, les vagues, le mélange des eaux douces et salées vont fortement influencer la dynamique sédimentaire. Nous allons décrire succinctement ces différents processus.

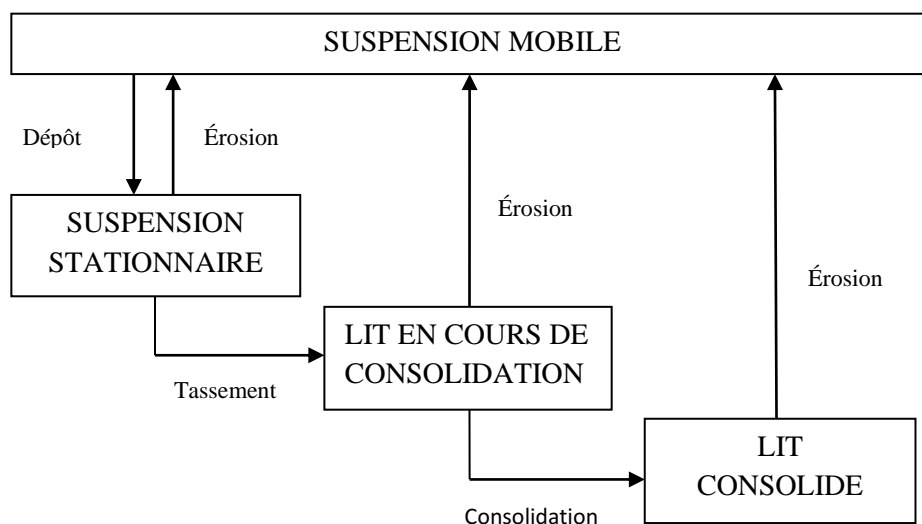


Figure IV.17 : Schéma général de la dynamique sédimentaire (d'après Parker (1986) ; Mehta et al. (1989))

3. Modélisation du transport sédimentaire :

3.1. Description du modèle de transport sédimentaire (Sand Transport, ST) du logiciel MIKE21 :

Le calcul du transport de sable se fait selon deux périodes tempétueuses et saisonnières : Dans MIKE21 nous pouvons calculer ces cas en utilisant les données d'entrée tels que les vagues, les vents et les caractéristiques des sédiments des fonds. Les transports sédimentaires sont calculés dans deux conditions telles que pur et combinaison des houles et des courants. Deux méthodes de simulation sont disponibles dans les conditions combinées de la houle et du courant : la méthode STP « Sediment Transport Program » de DHI et la méthode de Bijker. Elles utilisent l'équation du transport sédimentaire qui est calculé comme suit (DHI, 2014c).

$$Q_{tb} = Q_b + Q_s$$

Où q_{tb} , q_b , q_s représentent le transport total des sédiments, le transport par charriage, et le transport par suspension, respectivement.

La méthode STP traite les différences de phase de l'écoulement oscillatoire, la tension du cisaillement sur le fond et la concentration sédimentaire en suspension dans sa formulation pour le calcul du transport sédimentaire. Deux méthodes de simulation sont disponibles : modèle 2DH et modèle STPQ3D.

Le modèle 2DH est une approche de plan bidimensionnel horizontal (2DH). Les transports sédimentaires sont calculés dans le sens du courant moyen, avec une composante transversale résultante de la pente des fonds (DHI, 2014).

3.2. Résultats de la simulation :

3.2.1. Transport sédimentaire (Sand Transport, TS) de direction Nord-Ouest (315°) :

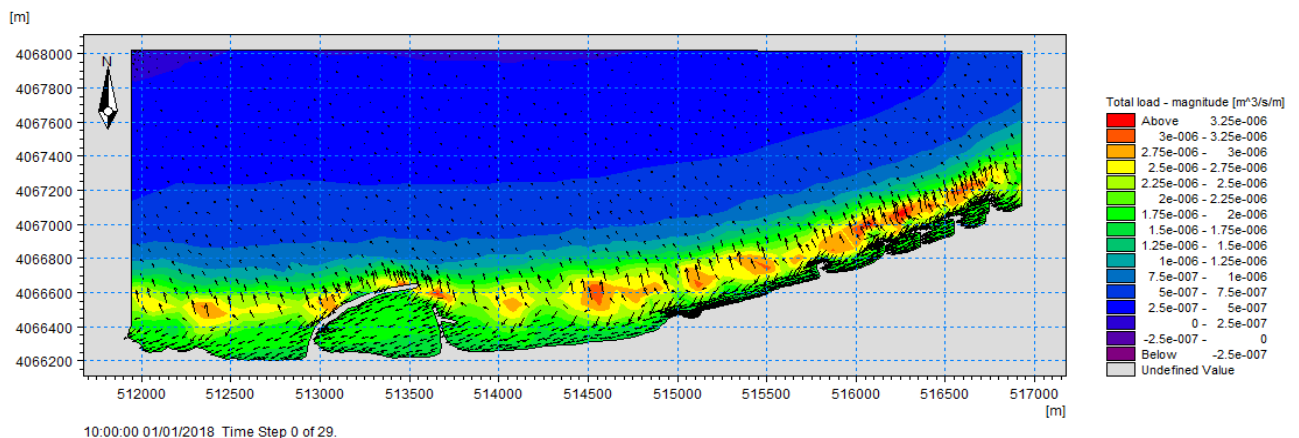
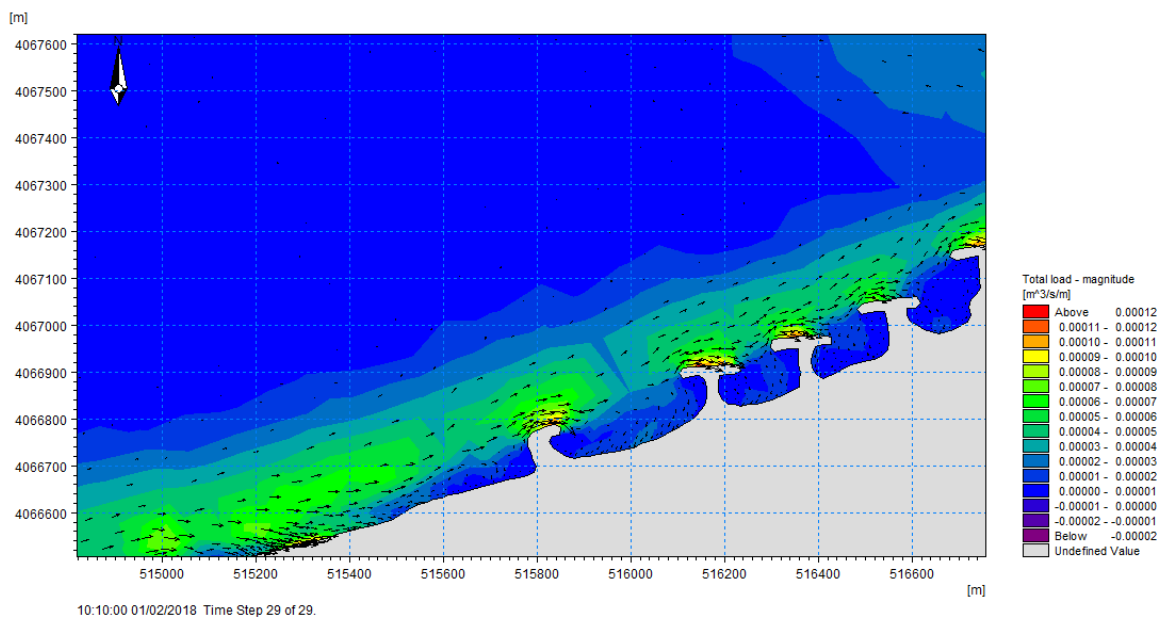


Figure IV.18 : Répartition du flux sédimentaire, MWD=315° ; H=2.67m ; T=8s

- **Commentaire :**

Le taux de charriage des sédiments augmente avec l'énergie de la houle (Figure IV.18), cela est plus clair dans la (Figure IV.19)



**Figure IV.19 : Répartition du flux sédimentaire au niveau des ouvrages,
MWD=315° ; H=2.67m ; T=8s**

Nous remarquons aussi que la quantité des sédiments transportée vers le large est plus grande que celle déposée sur le rivage ce qui indique la présence d'un déficit sédimentaire dans cette direction.

3.2.2. Transport sédimentaire (Sand Transport, ST) de direction Nord (360N°) :

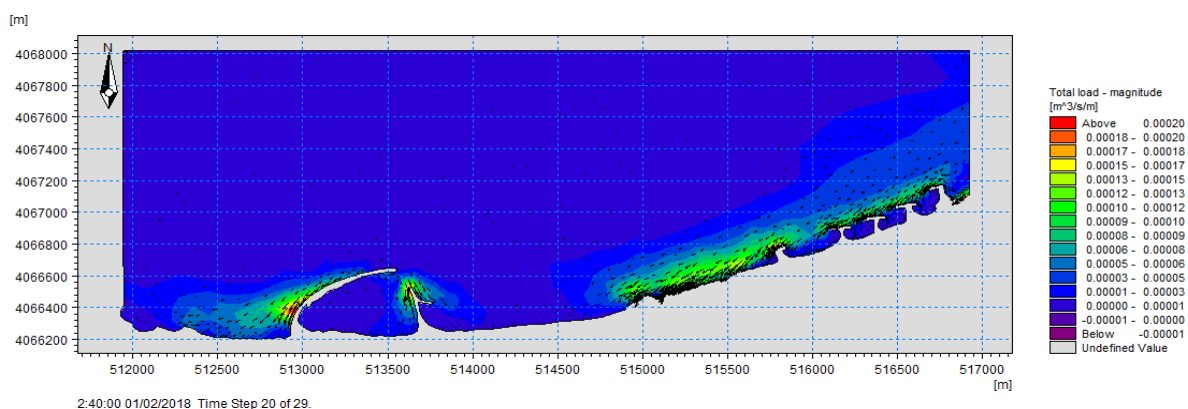
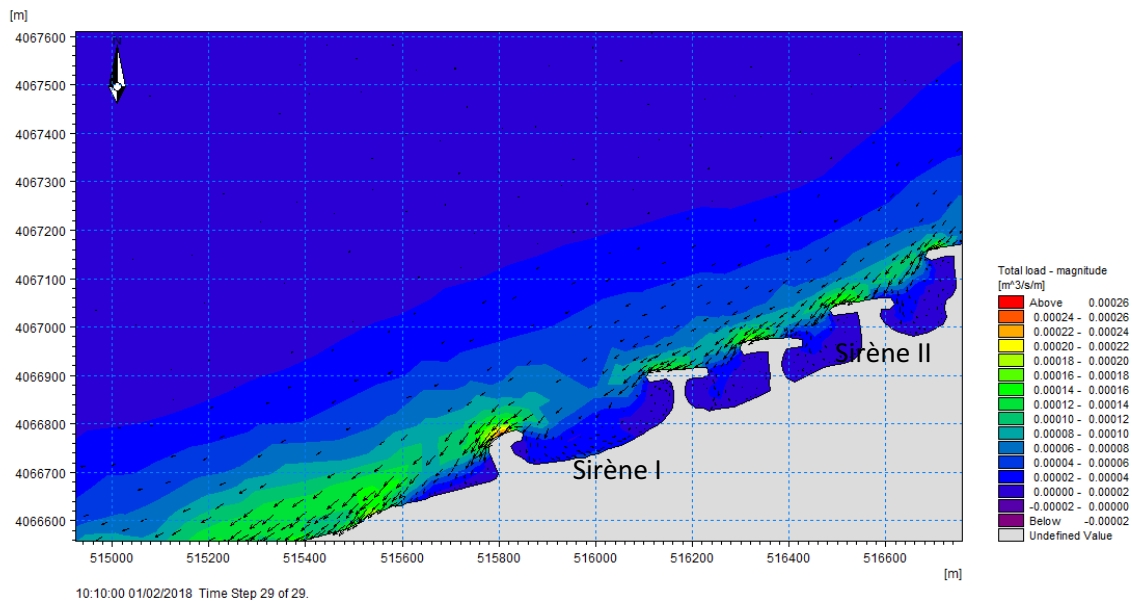


Figure IV.20 : Répartition du flux sédimentaire, MWD=360° ; H=2.67m ; T=8s

- **Commentaire :**

Dans cette direction, le transport sédimentaire est en faibles quantités avec une capacité d'ordre de $4099.68 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$.



**Figure IV.21 : Répartition du flux sédimentaire au niveau des ouvrages,
MWD=360° ; H=2.67m ; T=8s**

Le départ des sédiments au niveau des plages Sirène I et Sirène II est faible ($1576.8 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$) par rapport au gain sur le rivage.

3.2.3. Transport sédimentaire (Sand Transport, ST) de direction Nord-Nord-Est (30N°) :

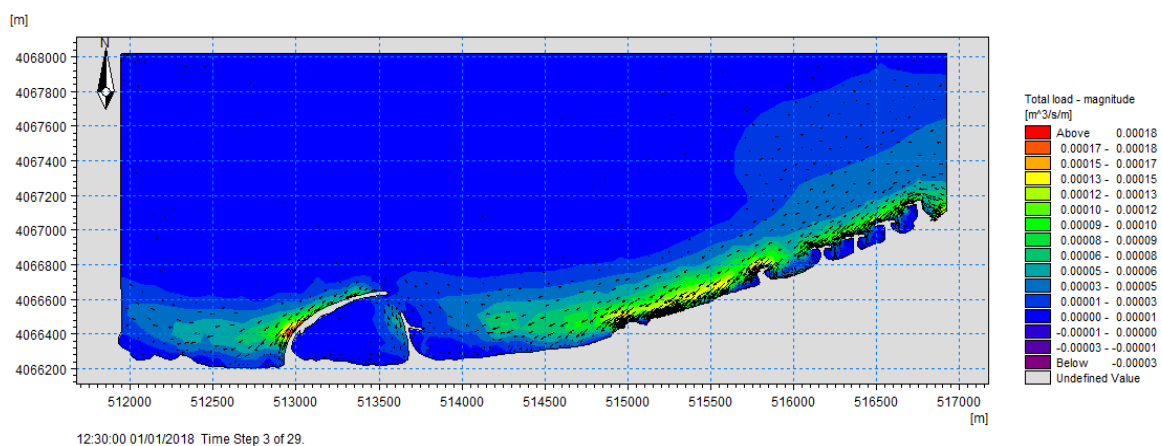
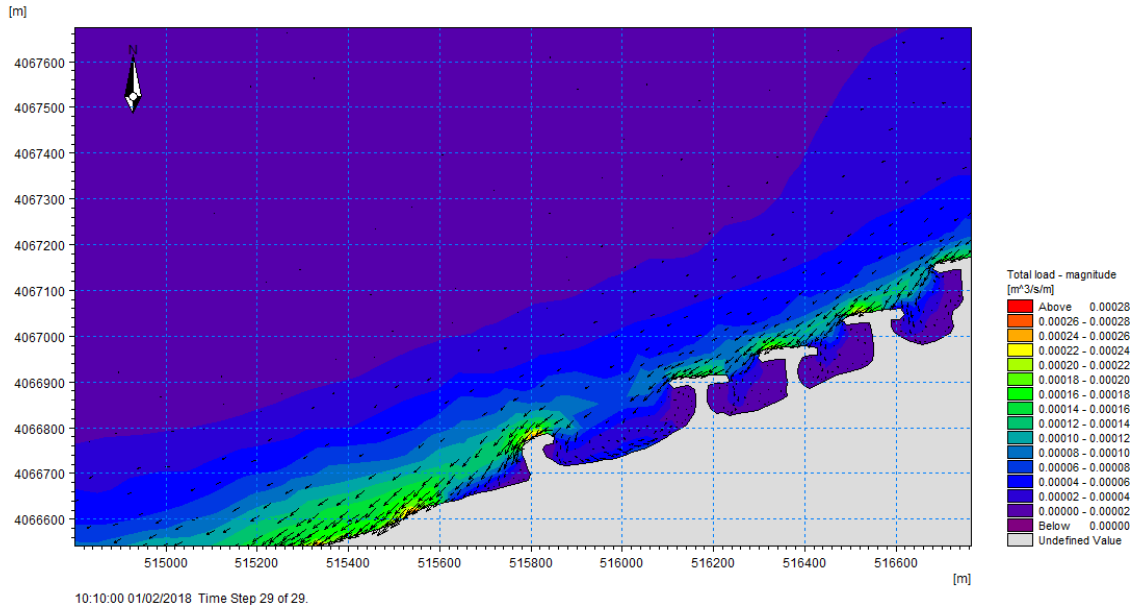


Figure IV.22 : Répartition du flux sédimentaire, MWD=30° ; H=2.56m ; T=8s

- **Commentaire :**

La quantité de charriage des sédiments dans cette direction est plus importante que celle produite par les courants de la direction Nord, elle atteint une valeur de $5676.48 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$. La quantité de sédiments déposée entre les ouvrages est presque la même.



**Figure IV.23 : Répartition du flux sédimentaire au niveau des ouvrages, MWD=30° ;
H=2.56m ; T=8s**

Nous remarquons aussi que le courant de la dérive ramène les sédiments de l'extrémité Est vers les autres sites ce qui va créer un plan d'équilibre gain/déficit.

Conclusion :

Les résultats obtenus de la simulation du transport sédimentaire montrent un sens de transit dominant qui est d'Est en Ouest ce qui est probablement induit par la houle dominante (secteur Nord-Nord-Est) et aux apports de Oued El-Hamiz.

Le profil calme entre les ouvrages génère un mouvement des particules les plus fines ce qui prouve les valeurs de l'indice de classement (S_0) et du coefficient d'asymétrie (S_k) qui indiquent un sédiment bien classé avec un classement maximum vers les particules fines.

**Chapitre V : Impacts de l'implantation
des ouvrages de protection sur la zone
d'étude**

Introduction :

Afin de déterminer l'impact de l'implantation des ouvrages sur la zone d'étude, nous allons décliner dans le présent chapitre l'impact sur l'évolution du linéaire côtier, sur l'évolution bathymétrique, sur la dynamique sédimentaire et sur l'aspect esthétique.

1. Impacts sur l'évolution du linéaire côtier :

Pour connaître les impacts des ouvrages sur l'évolution du linéaire côtier, nous allons comparer cette évolution durant les trois phases : avant, pendant et après l'implantation de ces derniers.

1.1. Avant l'implantation des ouvrages :

Durant la période 1980-2003, la partie Est a été caractérisée par une accrétion moyenne de l'ordre de 0.24 m/an, cependant dans la partie Ouest l'érosion a pris l'avantage sur l'accumulation avec un recul moyen estimé à -0.12 m/an. Ces évolutions de la côte sont d'une part, le résultat de la manifestation des forçages hydrodynamiques et d'autre part, l'intervention du facteur humain par la forte urbanisation du rivage et de son anthropisation. (AOUDJ et al, 2018).

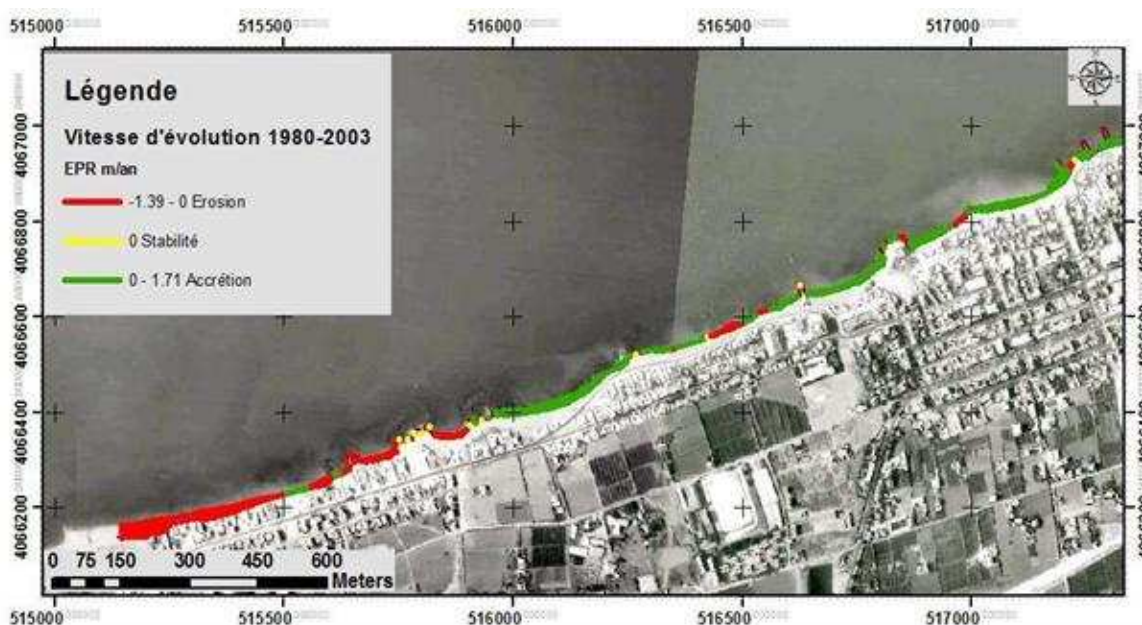


Figure V.1: Vitesse d'évolution du trait de côte entre 1980 et 2003 dans la zone de Bordj El Kiffan (AOUDJ et al, 2018)

1.2. Pendant l'implantation des ouvrages :

Durant une période de 4 ans (entre 2003 et 2007), notre zone d'étude a été marquée par une alternance de zone d'érosion et d'accrétion. L'érosion a été déclenchée au niveau du secteur Est et a été accentuée au niveau du secteur Ouest avec un taux moyen de -1.17m/an. Nous remarquons que les zones d'accumulation se situent en amont des épis avec une évolution moyenne de 2.73m/an. Ces bouleversements à court terme sont dus à la combinaison de deux facteurs naturels et artificiels, par l'hydrodynamisme et par

l'implantation de quatre épis en T qui favorisent l'érosion en aval et la pro gradation en amont de la dérive littorale. (AOUDJ et al, 2018). Un autre facteur a causé l'accentuation de l'érosion qui est le rasage de tous les ensembles dunaires qui existaient au niveau de l'arrière plage.



Figure V.2: Vitesse d'évolution du trait de côte entre 2003 et 2007 dans la zone de Bordj EL Kiffan (AOUDJ et al, 2018)

1.3. Après l'implantation des ouvrages :

Pendant la période 2012 jusqu'à 2017, l'érosion s'est déclenchée à nouveau dans le secteur Est en amont du dernier brise-lames et au niveau du Lido avec une vitesse moyenne de - 0.72 m/an. La pro gradation au niveau du secteur Ouest continue avec une moyenne de 3.45 m/an. La poursuite de l'accumulation dans la plage Lido est artificielle et est causée par un rechargement artificiel ainsi que la mise en place d'un épi en L pour le maintenir. (AOUDJ et al, 2018)



Figure V.3: Vitesse d'évolution du trait de côte entre 2012 et 2017 dans la zone de Bordj EL Kiffan (AOUJ et al, 2018)

Des changements importants sur la ligne de rivage au niveau de la zone d'étude ont été le résultat de l'installation des ouvrages (brise-lames en T et en L, cordons d'enrochements, promenade et rechargement artificiel) et cela se traduit par les taux importants de l'accrétion qui a pris l'avantage sur le recul (faibles taux d'érosion).

2. Impacts sur l'évolution bathymétrique :

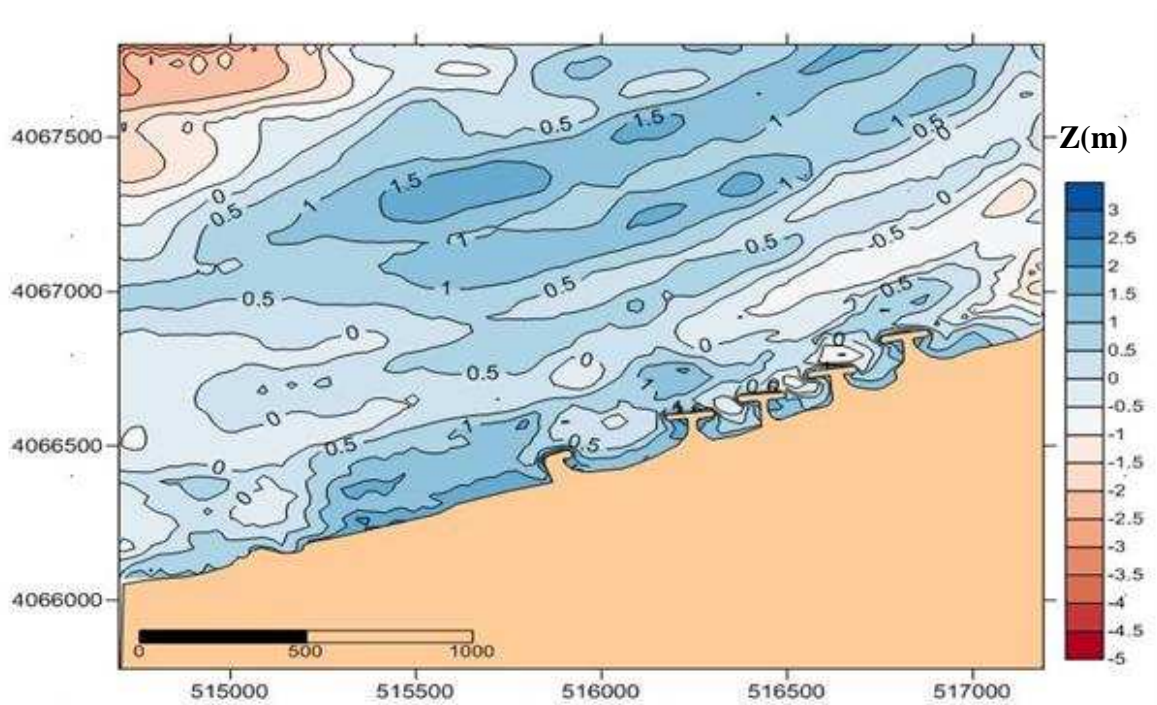


Figure V.4: Différentiel bathymétrique de la zone de Bordj El Kiffan de 1921 à 2017 (KADRI, 2017)

Nous observons une évolution des fonds par une accumulation jusqu'à -12 m de profondeur et des soulèvements qui atteignent 1.5 m (dunes hydrauliques). On remarque aussi une érosion au large et du côté Est (zone Verte Rive) qui est peut-être dû au sens du transit sédimentaire dominant qui est d'Est en Ouest. La formation de clapots et l'existence d'un chantier en cours peut aussi perturber le transit sédimentaire.

3. Impacts sur la dynamique sédimentaire :

Les ouvrages mixtes ont induit un freinage du transport sédimentaire de direction Est vers l'Ouest ce qui génère par la suite un piégeage des sédiments à l'abri de ces derniers. Les sédiments piégés sont beaucoup plus sous forme de particules grossières ce qui explique les valeurs de l'indice de classement (S_0) et le coefficient d'asymétrie (S_K) qui montrent un maximum vers les particules fines.



Photo V.1 : Evolution de la plage Sirène II entre 2007 et 2018

La (Photo V.1) montre un dépôt sédimentaire important au niveau de la plage Sirène II (création de plage en poche) et cela entre la période 2007 correspondant à l'année de l'implantation des ouvrages et l'année 2018.

4. Impacts sur l'aspect esthétique :

Une artificialisation du haut de plage de la frange côtière de Bordj El Kiffan a été causée par les cordons d'enrochements et la promenade. Cela a contribué la réduction de la surface des plages abritées par ces derniers.



Photo V.2 : Réduction de la surface de la plage Lido après l'installation du cordon d'enrochement et de la promenade

L'impact visuel des ouvrages se traduit par une distorsion des paysages, cela d'une part et d'autre part, ils réduisent le champ de visibilité vers le large.



Photo V.3 : Ouvrages mixtes de la protection de la frange côtière de Bordj El Kiffan

Conclusion :

L'étude d'impact sur l'évolution du linéaire côtier et la bathymétrie nous a montré un impact local positif des différents ouvrages installés et une légère érosion au niveau des zones adjacentes.

Des petites plages ont été créées suite aux dépôts sédimentaires ce qui indique que l'influence des ouvrages sur la dynamique sédimentaire été le freinage du transit.

Des impacts paysagers ont été constatés sur la zone d'étude qui se traduit par une mal insertion de ces derniers dans le paysage.

Conclusion Générale

Ce travail a pour objectif de déterminer l'impact de l'implantation des ouvrages sur la frange côtière de Bordj El Kiffan, pour cela nous avons effectué notre étude sur deux parties, la partie aérienne et la partie sous-marine.

Nous avons réalisé deux sorties, une sur terrain et une deuxième en mer où des échantillonnages ont été effectués et aussi un levé bathymétrique. Ces derniers nous ont servi comme données input pour les outils de la modélisation numérique où on a suivi toutes les étapes nécessaires pour emmener notre étude à l'objectif attendu.

Le suivi des résultats obtenus de l'étude granulométrique de la partie aérienne pendant la période estivale a montré un taux de fraction fine plus ou moins important par rapport à la période hivernale et cela peut être expliqué par la diminution de l'intensification de l'hydrodynamisme. La répartition de la médiane a indiqué la dominance d'un sable très grossier avec un diamètre moyen de 750 μm et une distribution régulière d'Est en Ouest.

Quant à la partie sous-marine, les résultats de la répartition de la médiane reflètent la dominance des particules fines au large et l'augmentation du diamètre des grains en allant vers la côte ; ce qui appuie les valeurs de l'indice de classement et du coefficient d'asymétrie qui ont donné le résultat d'un sédiment bien classé avec un classement maximum vers les particules fines.

Les résultats de la simulation du transport sédimentaire montrent un sens de transit dominant qui est d'Est en Ouest, cela peut s'expliquer par le sens de la houle et des courants dominants qui est du secteur Nord-Nord-Est.

En collaboration avec les résultats de l'évolution du linéaire côtier déjà obtenus, on a remarqué une accrétion importante (formation des plages en poche entre les ouvrages) dans la zone d'étude avec une légère érosion dans les zones adjacentes.

Au final, les ouvrages de protection implantés dans notre zone d'étude ont un impact positif localement à savoir sur l'évolution du linéaire côtier, l'évolution des petits fonds et sur la dynamique sédimentaire. Cependant, l'érosion dans les zones adjacentes a été accentuée (on a l'exemple de la plage Verte Rive), cela nous appelle à trouver des solutions pour y remédier en adoptant des solutions souples dont on peut citer le rechargement artificiel et l'élaboration des outils fiables de prédiction de l'évolution morphologique des plages, composantes primordiales du système « côte sableuse » à différentes échelles du temps et cela par une approche déterministe basée sur l'utilisation et le développement des modèles numériques simulant la circulation hydrodynamique et le transport sédimentaire.

On peut aussi faire recours au processus de la gestion intégrée des zones côtières (GIZC) qui présente un outil incontournable pour le développement durable des littoraux Algériens et qui sera appliqué dans ce cas à l'échelle locale. Ce processus fera l'objectif d'un suivi de l'évolution des ouvrages par la mise en place d'un réseau de surveillance dirigé par une commission intégrant tous les acteurs concernés.

Références bibliographiques

Références bibliographiques :

ADJAL, M. (2014). Modélisation physique de la dynamique hydro-sédimentaire de la plage Ouest de Boumerdes. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Dely brahim : ENSSMAL, 71 p.

ANRH, (2014). Caractéristiques de Oued EL Harrach et Oued El Hamiz. Document non publié : ANRH.

AOUDJ, C. et al. (2018). Conséquences de l'implantation des ouvrages de protection sur la frange côtière de Bordj El Kiffan (Algérie). XV^{èmes} Journées Nationales Génie Côtier - Génie Civil, Revue Paralia, La Rochelle FRANCE, p 147-156. [En ligne]. [Consulté en mai 2017] disponible sur le web : DOI:10.5150/jngcgc.2018.017

APPL, (2015). Plage Sirène I, Agence de Promotion et de Protection du Littoral de la Wilaya d'Alger. Document non publié : APPL.

BACHOUCHE, S. (2003). Mesure des paramètres physico-chimiques et analyse des sels nutritifs dans le littoral algérois. Mémoire de DEUA. Environnement marin. Dely brahim : ISMAL, pp. 49.

BOURGOU, M, MIOSSEC, JM. (2010). Les littoraux : Enjeux et dynamique. 1^{ère} édition. France : Presses Universitaires de France. Chapitre n°3, Type et dynamique morphologique des littoraux, pp. 33.

CERTAIN, R. (2002). Morphodynamique d'une côte sableuse microtidale à barre: le Golf du Lion. Thèse de doctorat. Océanologie-Géologie. France : Université de PERPIGNAN, 315 p.

DESMAZES, F. (2005). Caractérisation des barres sableuses. [En ligne]. [consulté le 23/3/2018]. Disponible sur le web: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00432041>.

DEHOUCK, A. (2006). Morphodynamique des plages sableuses de la mer d'Iroise. [En ligne].[consulté le 9/4/2018]. Diponible sur le web: <https://tel.archives-ouvertes.fr>.

DE VRIEND, HJ. (1991). Mathematical modelling and large-scale coastal behavior, Part I: Physical processes. In: *Journal of hydraulic research* 29. pp. 727-740.

DHI (2014) a. MIKE21 Spectral Wave Module Scientific Documentation. Denmark:Hørsholm, pp. 385.

• **DHI (2014) c.** MIKE 21/3 Coupled Model FM. Scientific Documentation.

• **DHI (2014).** MIKE ZERO: Creating 2D Bathymetries. Bathymetry Editor & MeshGenerator. Denmark: Hørsholm, pp. 114.

Grasso, F. (2009). Modélisation physique de la dynamique hydro-sédimentaire des plages. Océan, Atmosphère. [En ligne]. [consulté le 27/4/2018]. Disponible sur le web: <http://www.ulg.ac.be>.

Hamon, K. (2014). Étude de la morphodynamique et du profil d'équilibre d'une plage de poche macrotidale. [En ligne]. [consulter le 17/5/2018]. Disponible sur le web: <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01020013>.

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

KADRI, I. (2017). Impacts de l'implantation des ouvrages de protection sur la frange côtière de Bordj El Kiffan. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Dely brahim : ENSSMAL.

LEM, (1997). Etude de protection de la station de Bordj El Kiffan, Dossier d'Appel d'Offres. Document non publié : LEM.

LEM, (2009). Etude de protection du site de "Lido" commune de Mohammadia, Collecte et analyses des données de base (wilaya d'Alger). Document non publié : LEM.

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

ONM, (2017). Statistiques des données météorologiques de la station de Dar EL Beida de la période (2006-2016). Données non publié : ONM.

OTHMANI, H. (2014). Impact des infrastructures maritimes sur le littoral : Cas du port de Cap Djinet. Thèse de magister. Aménagement du littoral. Dely brahim : ENSSMAL, 107 p.

PASKOFF, R. (1998). *La crise des plages : pénurie de sédiment*. France : Mapped Monde. pp. 11-15.

SCHWARTZ, M.L. (2005). Encyclopedia of coastal science. In: *Department of Geology. USA: Western Washington University*. pp. 251-253.

STIVE, M.J.F. et al. (1990). Large-scale coastal evolution concept. *Delft Hydraulics: The Netherlands*. Vol. 116, pp. 148.

TAIEB ERRAHMANI, Dj. (2009). Etude de la pollution et de la géochimie par les métaux traces et les radioéléments dans les sédiments de la baie d'Alger. Mémoire d'ingénieur. Environnement marin. Dely brahim : ENSSMAL. pp. 18-19.

THAN, V. (2015). Modélisation d'érosion côtière : application à la partie Ouest du tombolo de Giens. Thèse de doctorat. Ingénierie côtière. Marseille: l'université d'Aix-Marseille, 165 p.

THORNTON, P. et al. (2000). The impacts of climate changes on livestock and livestock systems in developing countries. *What we know and what we need to know*. Vol. 15, pp. 117.

VAN DER MEER, J.W. (1990). Static and dynamic stability of loose material. In: *Coastal Protection*. pp. 157–195.

Annexes

Annexe I

Annexe I.1. Tableau des poids cumulés et des taux de pélites pour les échantillons de la plage aérienne :

Tamis(mm)	T1. St1	T1. St2	T2. St1	T2. St2	T3. St1	T3. St2	T4. St1	T4. St2	T5. St1	T5. St2	T6. St1	T6. St2	T6. St3	T7. St1	T7. St2	T7. St3
2	172.41	177.53	3.71	32.68	174.57	53.81	0.36	5.04	0.11	0.07	0	0.05	2.33	0.75	8.19	0.3
1.6	3.39	0	8.87	3.63	2.43	11.08	0.13	0.56	0.08	0.01	0	0.02	1.97	0.23	1.1	0.11
1.4	0.6	0	9.36	1.59	0.17	9.49	0.11	0.25	0.04	0.01	0	0	2.6	0.13	0.82	0.06
1.025	0.36	0	12.47	1.32	0.07	10.16	0.07	0.37	0.04	0	0	0.01	3.4	0.15	0.97	0.2
1	0.26	0	23.4	2.62	0	16.26	0.18	0.83	0.14	0.02	0	0.01	9.19	0.23	2.25	0.71
0.8	0.09	0	26.52	2.96	0	14.15	0.36	2.02	0.38	0.02	0.04	0.01	19.41	0.55	4.87	2.49
0.63	0.05	0	25.53	4.77	0	14.25	0.86	6.18	1.01	0.09	0.04	0.09	30.74	1.58	10.25	5.3
0.5	0.03	0	24.3	7.9	0	13.2	1.71	13.13	2.51	0.045	0.26	0.35	29.78	4.86	17.27	5.39
0.4	0.02	0	20.61	13.93	0	11.63	4.23	23.38	5.75	2.53	1.64	1.83	21.01	10.14	28.01	6.15
0.315	0.02	0	16.42	43.02	0	13.51	20.9	54.07	17.51	24.44	17.21	17.09	21.23	67.63	53.84	23.58
0.25	0.01	0	3.56	19.19	0	3.29	18.25	24.11	14.72	29.22	30.34	27.31	10.15	39.5	20.23	26.41
0.2	0.02	0	1.53	26.43	0	1.86	42.06	27.92	38.57	66.42	83.19	73.77	15.59	40.08	20.63	60.87
0.18	0.01	0	0.16	5.29	0	0.18	19.73	5.63	22.24	20.58	21.9	22.29	3.6	3.36	3.2	15.61
0.16	0	0	0.13	4.57	0	0.05	26.26	6.49	34.57	19.74	14.52	19.93	2.76	1.4	2.32	14.06
0.14	0	0	0.1	3.19	0	0.04	26.24	2.56	21.59	9.41	4.8	8.93	1.21	0.3	1.01	8.29
0.1	0	0	0.13	2.1	0	0.02	12.54	1.99	15.47	4.13	1.29	4.9	0.6	0.1	0.68	3.47
0.08	0	0	0.02	0.25	0	0	0.21	0.22	0.23	0.1	0.03	0.24	0.08	0	0.08	0.36
0.063	0	0	0.03	0.7	0	0	0.09	0.41	0.11	0.04	0.02	0.27	0.09	0	0.07	0.82
0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0.03	0	0	0.18	0.08	0	0.05	0
<0,05 (g)	22.73	22.47	23.1	24.15	22.87	26.71	26.06	25	24.86	22.53	24.8	22.64	23.57	24.1	23.63	26.09
Poids initial (g)	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Poids analysé (g)	177.27	177.53	176.9	175.85	177.13	173.29	173.94	175	175.14	177.5	175.2	177.36	176.4	175.9	176.37	173.91
% pélites	22.73	22.47	23.1	24.15	22.87	26.71	26.06	25	24.86	22.53	24.8	22.64	23.57	24.1	23.63	26.09

Annexe I.2. Tableaux des poids cumulés et des taux de pélites pour les échantillons de la plage sous-marine :

Tamis(mm)	AR1	AR2	AR3	AR4	AR5	AR6	AR8	AR9	Hi1	Hi2	Hi3	Hi4	Hi5	Hi6	Hi7	Hi8	Hi9	Hi10
2	0.48	0	1.14	2.86	0.1	1.1	0	0	0.06	0.17	3.55	0.03	0.04	1.03	0.12	1.09	2.99	0.03
1.6	0.33	0.02	0.42	2.18	0.27	0.7	0.03	0	0.03	0.05	0.51	0	0	0.11	0.13	0.24	0.26	0.03
1.4	0.2	0.02	0.45	1.49	0.25	0.5	0.01	0	0.07	0.17	0.3	0	0	0.04	0.08	0.14	0.16	0.04
1.25	0.44	0.03	0.49	2.96	0.27	0.6	0.01	0	0.01	0.05	0.24	0	0	0.07	0.06	0.08	0.07	0.02
1	1.77	0.03	1	5.27	0.44	0.9	0.03	0	0.05	0.08	0.54	0	0	0.05	0.1	0.18	0.121	0.02
0.8	3.3	0.04	1.3	2.44	0.5	1.1	0.01	0.03	0.04	0.19	0.71	0	0.01	0.04	0.18	0.18	0.29	0.09
0.63	3.1	0.08	1.48	2.3	0.63	0.9	0.02	0.03	0.06	0.38	0.87	0	0.03	0	0.19	0.21	0.51	0.31
0.5	1.7	0.06	0.74	1.5	0.24	0.6	0.01	0.08	0.04	0.59	0.78	0	0.02	0.01	0.13	0.19	0.5	0.73
0.4	1.47	0.02	0.36	0.6	0.19	0.2	0.02	0.13	0.04	1.27	1.01	0	0.02	0	0.13	0.22	0.43	3.19
0.315	1.87	0.11	1.41	1.72	0.52	0.3	0.07	0.22	0.15	3.6	1.94	0.04	0.04	0.05	0.27	0.24	0.4	11.01
0.25	3.23	0.2	2.21	2.16	1.33	0.8	0.18	1.12	0.46	8.86	4.51	0.12	0.09	0.13	0.55	0.55	0.83	22.89
0.2	12.4	0.76	4.27	3.84	2.35	2.1	2.07	10.85	3.95	28.7	14.06	73	0.53	0.78	2.3	2.79	4.39	40.83
0.18	10.5	0.74	2.56	2.22	1.18	1.4	3.07	12.47	6.67	20.2	8.6	0.86	0.6	0.95	2.24	3.21	4.08	23.46
0.16	29.2	2.86	6.76	6.66	3.17	4.8	15.77	42.82	35.7	46.1	20.15	4.09	2.67	4.25	9.23	13.72	15.03	42.87
0.14	30.6	5.68	9.24	9.48	4.66	7.8	22.13	36.12	32.8	35.2	16.18	8.45	5.93	7.92	16.21	23.97	18.6	25.28
0.1	29.8	28.7	25.8	29.3	29.7	32	40.36	40.52	49.84	27.2	15.1	25.89	19.3	18.79	46.13	69.05	36.68	23.35
0.08	3.5	13.3	5.81	80.2	8.57	13	5.56	1.94	5.36	0.94	1.22	5.17	5.95	4.34	10.55	14.54	6.44	1.04
0.063	5.53	37.2	7.73	13.5	11	12	3.94	1.81	4.23	0.29	1.45	4.38	5.06	2.34	9.67	8.99	4.28	0.55
0.05	25.6	78.1	26.5	22.1	44.3	32	6.71	8.91	16.31	0.71	0.83	5.86	6.9	4.42	22.68	12.98	2.66	1.26
<0.05 (g)	34.2	30.6	60.1	84.3	83.2	86	5.2	28.47	7.42	25.5	1.37	3.39	9.36	9.42	35.72	34.03	2.39	2.9
Poids initial (g)	200	200	159	200	194	200	105.4	186	163.9	200	94.04	59.27	57	55.5	157.65	187.5	101.3	200
Poids analysé (g)	166	169	98.9	116	111	114	100.2	157.5	156.4	175	92.67	55.88	47.64	46.08	121.93	153.47	98.95	197.1
%pélites	17.1	15.3	37.8	42.1	42.8	43	4.935	15.31	4.528	12.7	1.457	5.72	16.42	16.973	22.658	18.149	2.358	1.45

Tamis(mm)	Ov1	Ov2	Ov3	Ov4	Ov5	Ov7	Ov8	Ov9	Ov10	Ov11	Ov12	Ov13	Ov14	Ov15	Ov16	Ov17
2	0.07	0.49	0.03	0.03	0.19	0.6	0.1	0.08	0.07	0.02	0.04	0	0.2	0.45	0.03	0
1.6	0.06	0.04	0.02	0.02	0.01	0.1	0.04	0.06	0.07	0.03	0.02	0	0.03	0.03	0.04	0.03
1.4	0.03	0.03	0	0	0	0.1	0.02	0.06	0.05	0	0.02	0	0.02	0.04	0.03	0.05
1.25	0.08	0.02	0.04	0	0.04	0.1	0.04	0.04	0.05	0.04	0.03	0	0	0.02	0.04	0
1	0.09	0.05	0.02	0	0.02	0.2	0.06	0.09	0.11	0.04	0.08	0	0.06	0.08	0.04	0.03
0.8	0.18	0.11	0.01	0.02	0.07	0.3	0.19	0.15	0.17	0.05	0.3	0	0.07	0.12	0.09	0.07
0.63	0.41	0.15	0.05	0.03	0.04	0.4	0.031	0.34	0.24	0.08	1.11	0	0.07	0.18	0.27	0.17
0.5	0.74	0.17	0.02	0.01	0.05	0.6	0.52	0.73	0.34	0.07	3.32	0	0.05	0.25	0.75	0.74
0.4	2.2	0.28	0.04	0.04	0.07	1.3	0.99	2.6	0.66	0.11	11.84	0.1	0.14	0.85	3.06	5.83
0.315	5.78	0.73	0.13	0.09	0.11	3.9	2.59	7.92	1.65	0.23	35.69	0.88	0.36	4.52	10.15	33.19
0.25	34.6	2.29	0.28	0.22	0.33	9.7	6.34	16.14	3.72	0.62	39.54	5.62	0.93	19.42	21.29	59.57
0.2	13.7	13	1.56	1.52	2.96	27	19.84	31.99	12.19	3.47	40.35	29.23	4.85	58.13	46.84	50.35
0.18	21.7	14.4	1.77	1.81	3.72	20	13.19	18.35	8.84	4.22	11.05	23.87	5.18	22.39	22.34	11.49
0.16	48.5	46.3	8.56	8.81	16.7	46	34.07	46.1	23.51	20.8	15.7	54.53	24.43	32.03	37.57	16
0.14	33	41.9	17.7	16.2	27.1	36	30.08	34.46	23.91	34.6	10.47	34.25	35.74	20.15	27.94	10.04
0.1	31.4	52.4	55.2	65	72.3	34	26.5	32.49	21.44	84.9	4.85	26.45	83.91	14.53	14.37	6.14
0.08	2.85	6.77	9.79	14.5	14.1	2	1.13	0.95	1.84	10.6	0.11	0.65	12.16	0.99	0.54	0.34
0.063	0.78	2.9	5.69	7.65	6.78	0.8	0.71	0.25	0.39	6.95	0.06	0	7.24	0.32	0.09	0.14
0.05	0.78	2.95	4.91	5.38	4.83	0.9	1.02	0.15	0.54	6.84	0.09	0.34	5.47	0.73	0.29	0.34
<0.05 (g)	3.11	14.5	16.6	78.3	4.77	3.2	2.4	7.01	14.65	25.9	25.14	23.69	4.29	24.72	17.49	5.51
Poids initial (g)	200	200	123	200	155	188	140.5	200	114.5	200	200	200	185.5	200	200	200
Poids analysé (g)	197	185	106	122	151	185	138.1	193	99.85	174	174.9	176.3	181.2	175.28	182.51	194.49
%pélites	1.56	7.27	13.6	39.2	3.07	1.7	1.709	3.505	12.79	12.9	12.57	11.85	2.313	12.36	8.745	2.755

Annexe I.3. Tableau des coordonnées des stations de prélèvement de la plage aérienne

stations	X	Y
T1St1	515837,96E	4066733,40N
T1St2	515847,47E	4066723,35N
T2St1	515962,24E	4066717,09N
T2St2	515977,07E	4066642,08N
T3St1	516151,40E	4066828,13N
T3St2	516172,32E	4066810,56N
T4St1	516203,35E	4066832,13N
T4St2	516198,73E	4066822,68N
T5St1	516405,66E	4066888,16N
T5St2	516389,14E	4066886,70N
T6St1	516629,51E	4066992,72N
T6St2	516641,72E	4066870,91N
T6St3	516637,69E	4066927,44N
T7St1	516823,40E	4067097,52N
T7St2	516883,76E	4067027,19N
T7St3	516819,77E	4067054,51N

Annexe I.4. Tableaux des coordonnées et profondeurs des points de prélèvement de la plage sous-marine :

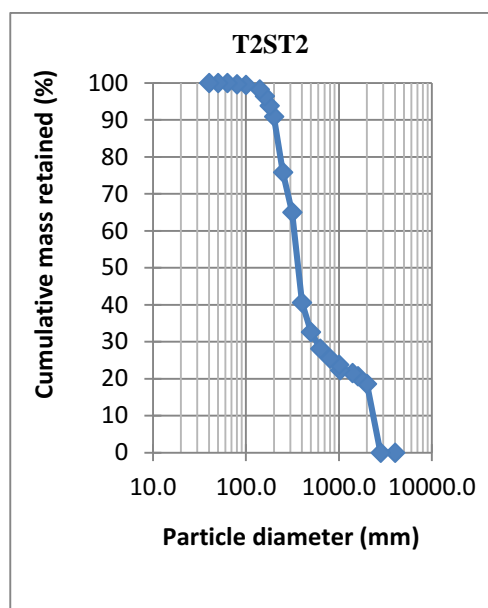
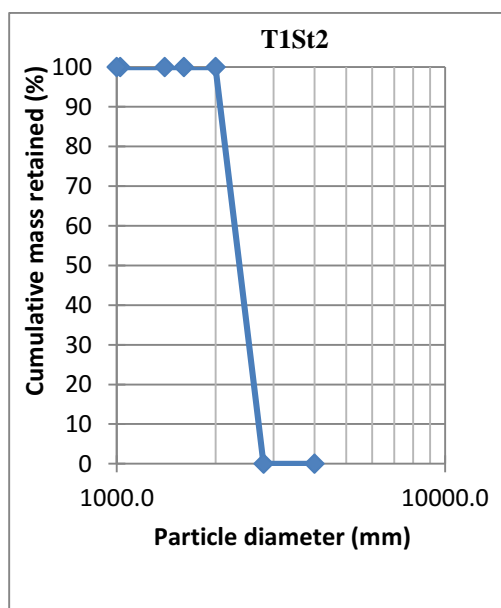
N° station	Code	X	Y	Profondeur (m)
1	AR1	512307.389	4066599.56	5.5
2	AR2	512450.264	4067052	8.6
3	AR _a	512552.31	4067409.96	12.3
4	AR3	512540.71	4067483.28	13
5	AR4	512606.28	4067927.81	16.9
6	AR5	512861.85	4067889.31	17.1
7	AR6	512959.61	4067638.91	15.5
8	AR7	513218.33	4067144.23	10.2
9	AR8	513357.56	4066905.44	8.3
10	AR9	513325.97	4066686.11	6.3
11	AR _b	513341.83	4066650.91	5.8
12	Hi1	518316.98	4066668.87	6
13	Hi2	513828.06	4066409.69	3.2
14	Hi3	514180.26	4066499.56	3.8
15	Hi _a	514169.77	4066741	6.4
16	Hi4	514155.84	4066758.54	6.8
17	Hi5	514184.89	4066814.96	8.3
18	Hi6	514204.37	4066976.63	10.7

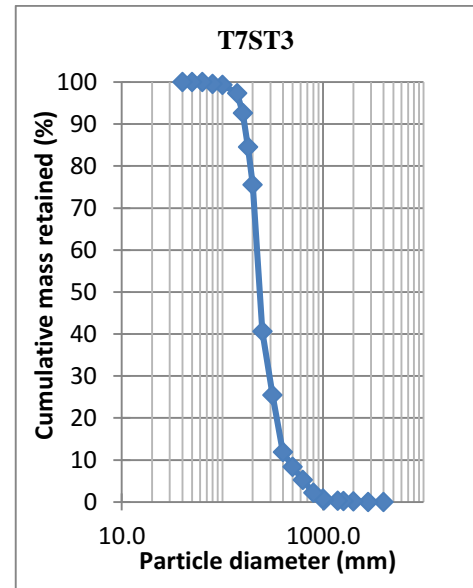
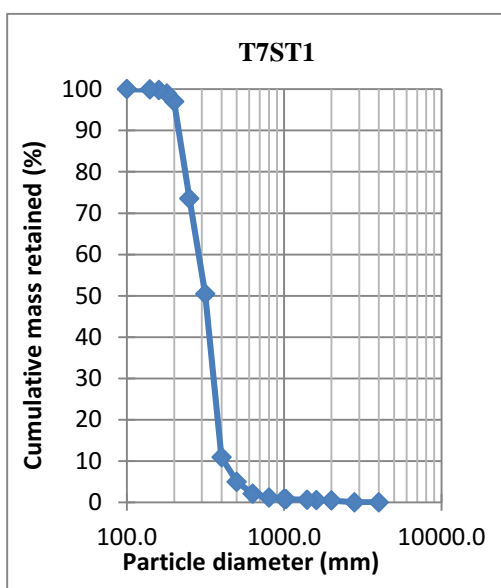
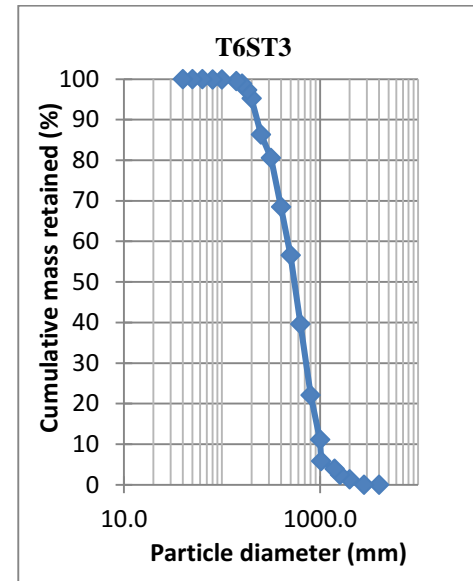
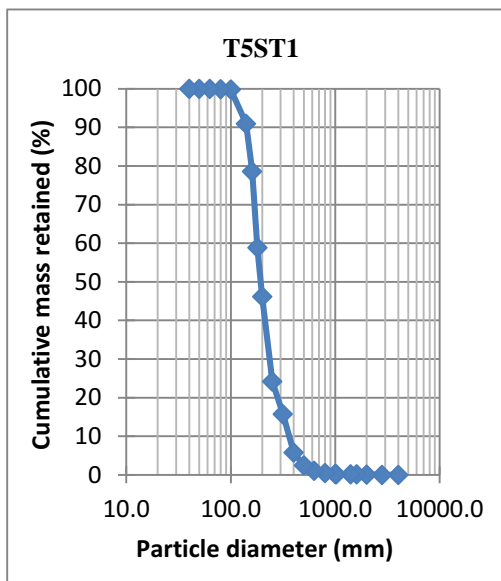
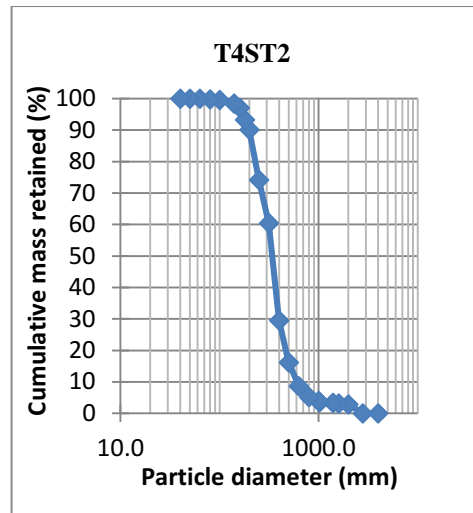
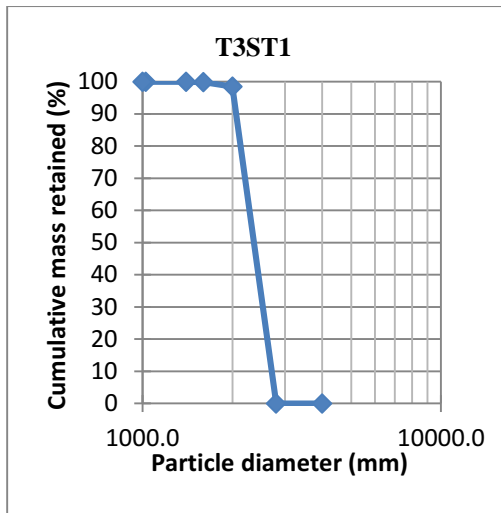
N° station	Code	X	Y	Profondeur (m)
19	Hi7	514202.25	4067244.83	15.3
20	Hi8	514228.32	4067673.65	13.8
21	Hi _b	514811.02	4067042.98	8.4
22	Hi9	514824.82	4067024.44	6
23	Hi _c	514860.75	4066756.53	3
24	Hi _d	515038.71	4066593.05	2.9
25	Hi _e	515084.84	4066604.94	3.2
26	Hi _f	515266.06	4066673.15	3.5
27	Hi10	515395.34	4066704.16	3.1
28	Hi _g	515520.33	4066738.21	2.3
29	Hi _h	515746.32	4066730.7	1.6
30	Ov1	515766.91	4066732.41	4
31	Ov2	515738.48	466940.46	5.3
32	Ov3	515738.61	4067051.24	6.5
33	Ov4	515732.41	4067184.21	7.7
34	Ov _a	515724.36	4067331.29	8.9
35	Ov5	416740.11	4067374.32	9.2
36	Ov _b	515747.46	4067378.3	9.5
37	Ov6	513883.37	4067345.11	8.5
38	Ov7	515881.97	4067260.57	4
39	Ov8	515988.17	4066813.19	2.3
40	Ov9	516053.94	4066863.2	2.2
41	Ov _c	516075.52	4066863.2	3.1
42	Ov10	516088.71	4067024.16	4
43	Ov11	516085.3	4067128.01	5.9
44	Ov _d	516088.07	4067129.45	5.4
45	Ov _e	516305.43	4067150.72	5.3
46	Ov _f	516416.1	4067093.36	3.4
47	Ov _g	516441.46	4066997.24	1.6
48	Ov _h	516432.57	4066949.66	1.2
49	Ov12	516410.22	4066928.7	0.7
50	Ov13	516506.78	4067006.04	1.2
51	Ov _i	516476.48	4067025.62	2.2
52	Ov _j	516469.03	4067134.94	3.9
53	Ov _k	516443.42	4067203.28	5.2
54	Ov _l	516425.04	4067254.65	5.7
55	Ov14	516515.82	4067284.4	5.6

N° station	Code	X	Y	Profondeur (m)
56	Ov _m	516620.21	4067138.4	3.2
57	Ov _n	516635.76	4067072.27	2.5
58	Ov15	516633.89	4067035.16	13
59	Ov _o	516687.6	4067104.97	2.7
60	Ov16	516703.39	4067125.53	1.5
61	Ov _p	516673.28	4067139.3	3.4
62	Ov _q	516672.36	4067213.02	3.4
63	Ov _r	516650.48	4067293.14	5.2
64	Ov _s	516768.6	4067325.02	4.9
65	Ov _t	416802.2	4067268.35	3.3
66	Ov _u	516826.48	4067205.88	2.6
67	Ov17	516817.05	4067145.78	1.5
68	Ov _w	516890.1	4067194.68	1.7

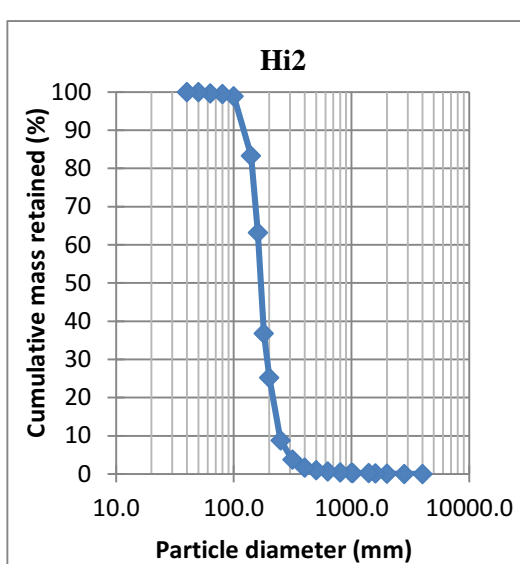
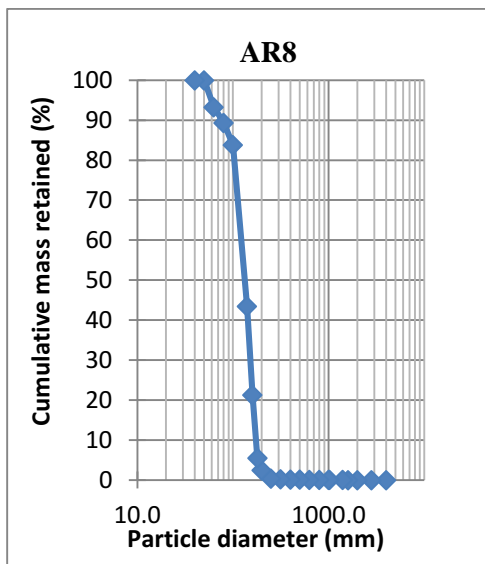
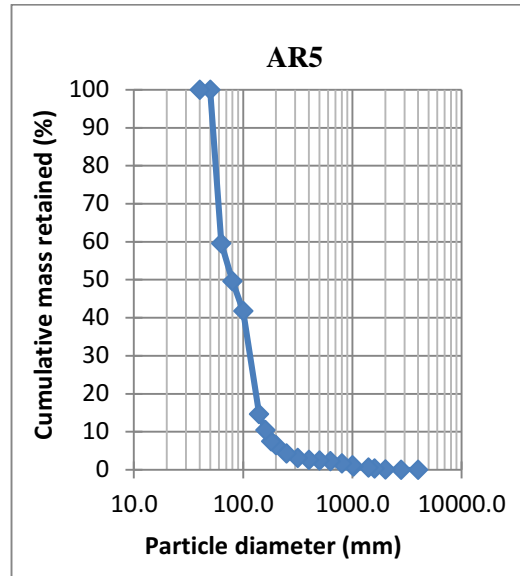
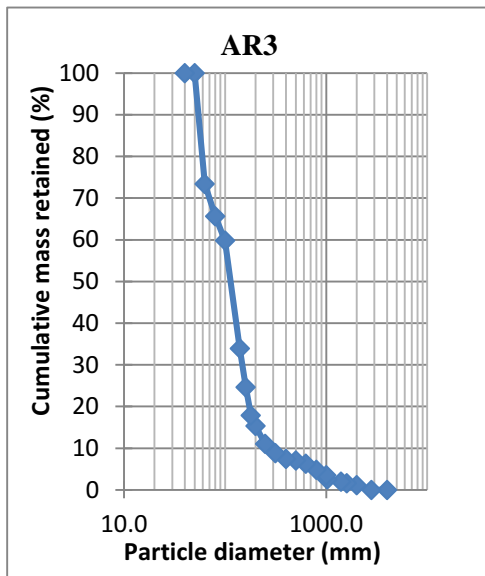
Annexe II

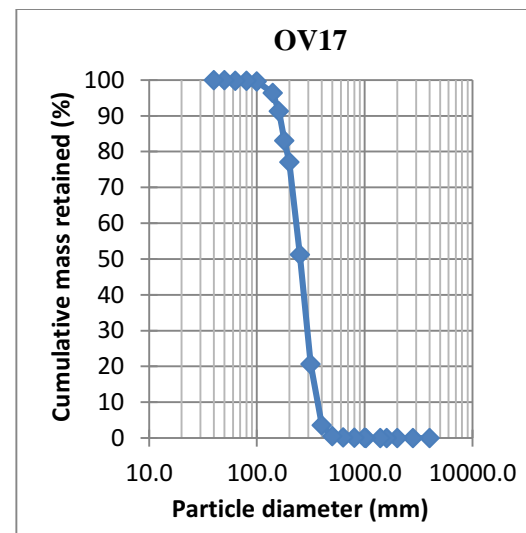
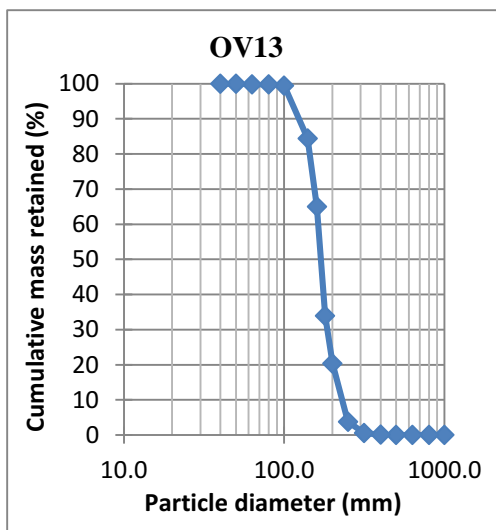
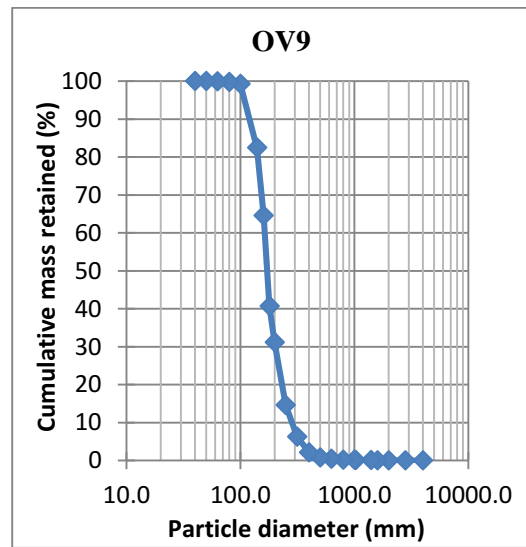
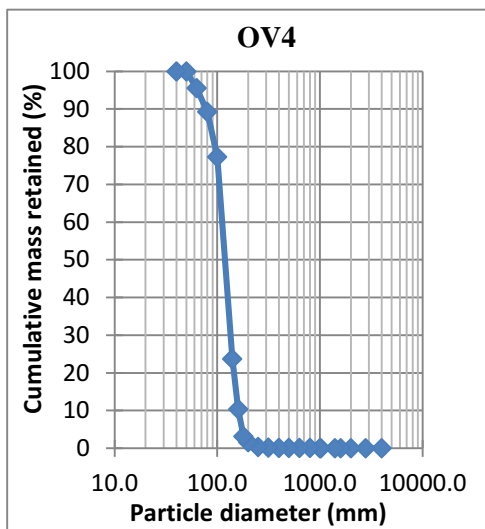
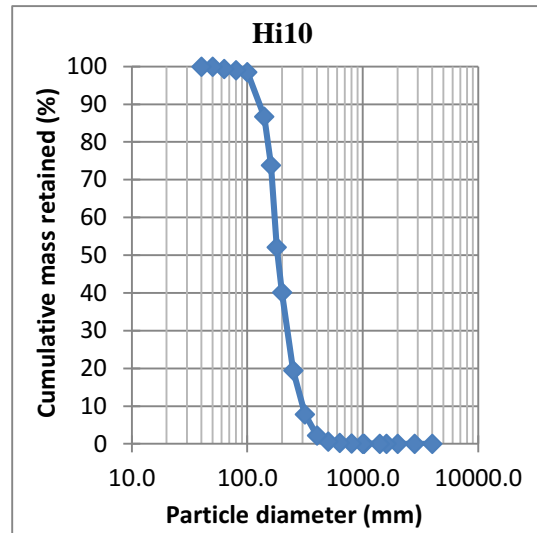
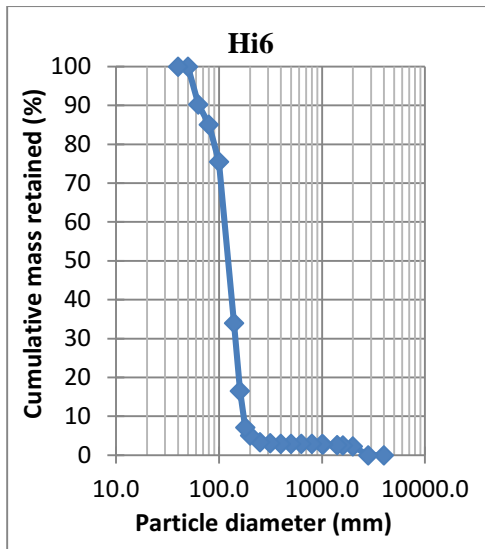
Annexe II.1. Exemple des courbes cumulatives des échantillons de la plage aérienne :





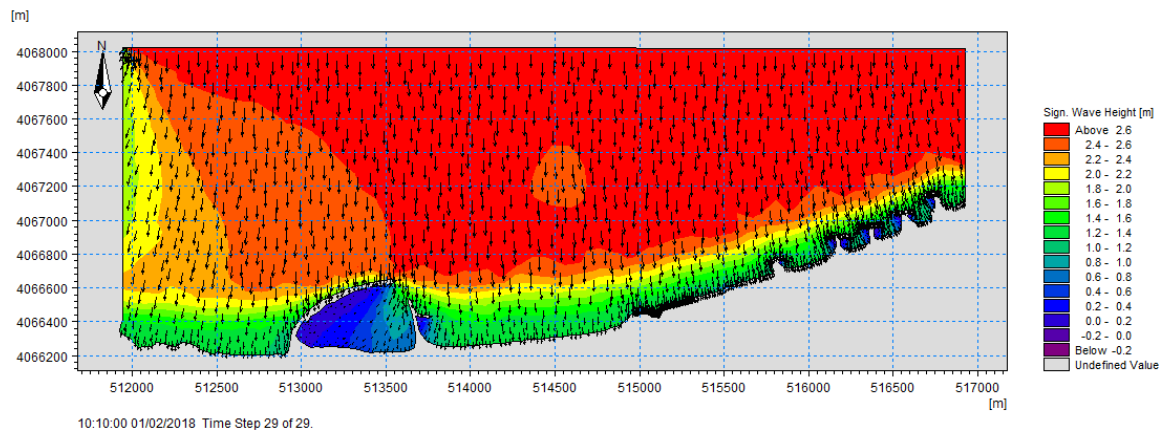
Annexe II.2. Exemple des courbes cumulatives des échantillons de la plage sous-marine :



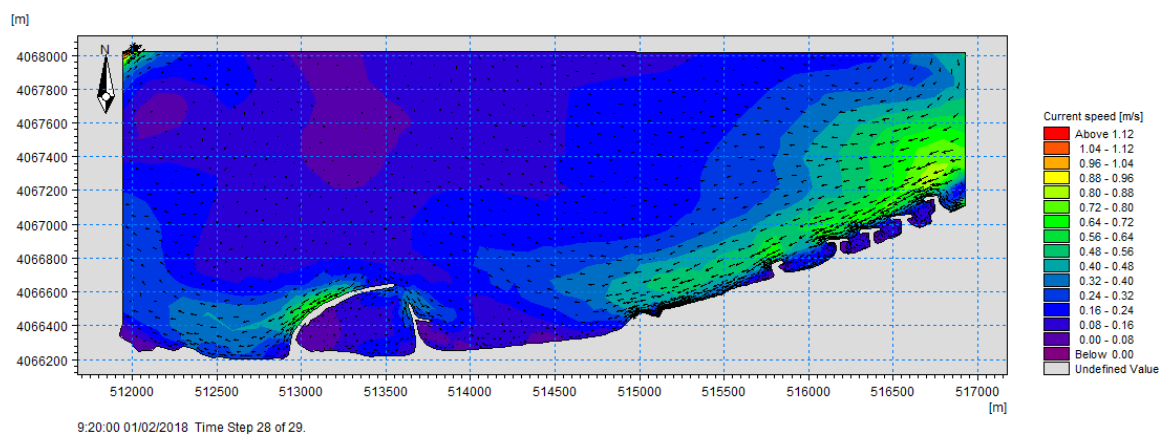


Annexe III

Annexe III.1. Répartition du champ de réfraction de la houle, MWD=360° ; H=2.67 ; T=8s :



Annexe III.2. Répartition du champ de courant de la houle, MWD=360° ; H=2.67 ; T=8s :



Annexe IV

Annexe IV.1 : Photos des étapes d'analyses au laboratoire (LGA)



Annexe IV.2 : Photos prises lors des sorties sur terrain et en mer (Frangé côtière de Bordj El Kiffan, 2018)



Résumé :

Ce travail porte sur l'évolution morpho-dynamique des profils transversaux des plages sableuses soumis à l'action de houles. L'étude s'appuie sur la modélisation du transport sédimentaire à partir des outils. L'interaction entre l'atmosphère, la mer et le littoral représente un milieu multiphasique très complexe encore mal compris. Depuis de nombreuses années, la communauté scientifique s'attache à caractériser les processus hydrodynamiques et sédimentaires responsables de la dynamique des plages. L'objectif est de modéliser et prédire correctement l'évolution des côtes afin de mieux les gérer et les protéger.

Pour répondre à cela, cette étude s'appuie sur l'observation des plages naturelles et sur la modélisation de ces plages par des modèles physiques en laboratoire ou numériquement.

L'analyse porte sur les réponses morphologiques, hydrodynamiques et granulométriques de la plage. Le transport sédimentaire associé à l'évolution morphologique des plages est analysé en fonction de différents paramètres caractéristiques des processus hydro-sédimentaire. Utilisation des outils de modélisation pour déterminer l'évolution des paramètres hydrodynamiques et le transport sédimentaire sur le littoral Algérois.

Mots clés :

Transport sédimentaire, modélisation numérique, MIKE 21, ArcGis, granulométrie, bathymétrie, ouvrages de protection, évolution morpho-dynamique, plages sableuses, Bordj El Kiffan.

Abstract:

This work deals with the morphodynamic evolution of transverse profiles of sandy beaches subjected to the action of swells. The study is based on the modeling of sedimentary transport using tools. The interaction between the atmosphere, the sea and the coastline represents a very complex multiphasic environment still poorly understood. For many years, the scientific community has focused on characterizing the hydrodynamic and sedimentary processes responsible for beach dynamics. The goal is to correctly model and predict coastal evolution in order to better manage and protect them.

To answer this, this study focuses on the observation of natural ranges and the modeling of these ranges by physical models in the laboratory or numerically.

The analysis concerns the morphological, hydrodynamic and granulometric responses of the beach. The sedimentary transport associated with the morphological evolution of the beaches is analyzed according to various parameters characteristic of the hydro-sedimentary processes. Use of modeling tools to determine the evolution of hydrodynamic parameters and sedimentary transport on the Algerian coast.

Keywords:

Sedimentary transport, numerical modeling, MIKE 21, ArcGis, granulometry, bathymetry, protective structures, morphodynamic evolution, sandy beaches, Bordj El Kiffan

ملخص:

يتناول هذا العمل التطور المورفوديناميكي للظهور العرضي للشواطئ الرملية الخاضعة لتأثيرات الامواج. تعتمد الدراسة على نمذجة النقل الرسوبي باستخدام أدوات. يمثل التفاعل بين الغلاف الجوي والبحر والسواحل بيئة متعددة الأبعاد معقدة للغاية لا تزال غير مفهومة. لسنوات عديدة ، ركز المجتمع العلمي على وصف العمليات الهيدوديناميكية والرسوبية المسؤولة عن ديناميات الشاطئ. والهدف هو وضع نموذج للتطور الساحلي والتنبؤ به بشكل صحيح من أجل إدارة هذه الأنواع وحمايتها بشكل أفضل.

للإجابة على هذا، تركز هذه الدراسة على ملاحظة النطاقات الطبيعية و نمذجة هذه النطاقات من خلال النماذج المادية في المختبر أو بشكل عددي.

ويتعلق التحليل بالاستجابات المورفولوجية والهيدودينامية والحبيبية للشاطئ. يتم تحليل النقل الترسبي المرتبط بالتطور الصرفي للشواطئ وفقاً لمعايير مختلفة مميزة للعمليات المائية الرسوبية. استخدام أدوات النمذجة لتحديد تطور المعالم الهيدوديناميكية والنقل الرسوبي على الساحل الجزائري.

المصطلحات :

النقل الرسوبي، النمذجة العددية، MIKE 21، ArcGis، قياس الحبيبات، قياس الأعماق، الهياكل الواقية، التطور المورفوداني، الشواطئ الرملية، برج الكيفان.