

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

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

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل
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 ET GRADE DE MASTER EN SCIENCES DE LA MER

OPTION : AMÉNAGEMENT DU LITTORAL

**Apport de la modélisation physique et numérique dans l'étude de
l'hydrodynamisme sédimentaire : cas de l'aménagement d'une
plage artificielle au niveau des Sablettes**

Présenté par :

- BOUDAB Chahra zed
- HADJ DJILANI Abla

Soutenu le 25/07 /2019 devant le jury suivant :

M^{me}. MAHDID. S	Maître assistante A	(ENSSMAL)	Présidente
M. BELKESSA. R	Professeur	(ENSSMAL)	Promoteur
M^{me}. MOUHOUBI. N I	Ingénieur Projet	(LEM)	Co-promotrice
M. OTMANI. H	Maître assistant A	(ENSSMAL)	Examineur
M^{me}.BOUDOUMA. Z	Ingénieur en chef	(LEM)	Examinatrice

Promotion : 2019

Remerciements

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

Nous adressons nos remerciements en particulier à nos familles d'abord, ensuite à notre promoteur Mr BELKESSA Rabah, professeur à l'ENSSMAL pour ses grandes qualités humaines, de nous avoir encadrés pendant la période de la réalisation de ce travail, sa disponibilité et ses orientations nous ont permis de mener à merveille ce travail.

Nous exprimons nos sincères remerciements à Mme MAHDID Sonia, Maitre Assistante A l'ENSSMAL qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury.

Nous tenons à remercier M. OTMANI Housseyn, maître assistant A à l'ENNSMAL et M^{me} BOUDOUMA Zahia Ingénieur en chef (LEM) qui vont évaluer, mitiger et commenter notre travail afin qu'il puisse être un produit complet.

Nos remerciements spéciaux s'adressent à M^{me} MOUHOUBI Nour el-Imène, Ingénieur projets (LEM) d'avoir accepté d'être notre Co-promotrice et pour sa présence continue, son aide, ses conseils, ses recommandations et ses réponses à toutes les questions, elle nous a fait bénéficier, de son expérience et de ses connaissances.

Nous tenons aussi à remercier du fond du cœur tous les enseignants(es) qui nous ont tant appris tout le long de notre cursus, le personnel de la bibliothèque de l'Enssmal, mais aussi le service documentation et tout le personnel du LEM pour leur précieuse aide.

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

Une fois encore, merci à tous.

DÉDICACE

Je dédie ce modeste travail à :

*A celle qui m'a transmis la vie, l'amour, le courage, à toi ma chère **Maman**, aucune dédicace ne serait exprimer l'amour l'estime le dévouement et le respect que j'ai toujours pour toi, que dieu te procure bonne santé et longue vie.*

*A mon très chère **Père Hocine** : vos prières et votre bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études.*

A mes grands-parents, qui m'ont accordé un foyer plein de gaité et de paix.

A mes sœurs : Manel, Nessrine, Fatima, Aya, Omayma et Wissem.

A mes nièces : Serine, Chiraze, sans pour autant oublier ma meilleure Malak

A mes neveux : Idrisse, Yacine, Jihad, Ayoub et Ramzi.

*A mon très amour **Mon mari Yasser** : aucun mot ne saurait l'exprimer mon profond attachement et ma reconnaissance pour ton soutien, tes encouragements, la tendresse dont tu m'as toujours entouré.*

*A ma binôme **Abla** et toute **ma promotion 5^{ème} année Aménagement et environnement.***

A mes chères amies : Bouchra Abir, Oum el-kheir, Hadjer, Manel, Nessrine, Samira.

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

Chahrazed

DÉDICACE

Le fameux jour est enfin arrivé, après des années de durs labeurs et d'efforts, ce jour ne serait jamais arrivé sans la présence de ces personnes chers à mon cœur.

*Je dédie ce modeste travail, à ma chère et tendre **Maman Assia**, qui n'a jamais cessé de croire en moi, de m'encourager, tes prières m'ont accompagnés à chaque étape de ma vie, et à mon chère **Papa Abdelkader**, ta bénédiction et tes conseils m'ont toujours aidé pour aller de l'avant et réussir dans la vie.*

*A mon adorable frère **Nassim**, à qui je souhaite beaucoup de succès et de bonheur.*

*Une dédicace très spéciale à mon cher mari **Houssam** : merci d'avoir été là dans mes moments de stresses, de fatigues et de doutes, merci pour ton affection et tes encouragements.*

Je dédie ce travail aussi à toute ma belle-famille « BENALI » merci pour vos prières et encouragements.

*A ma chère amie **Kahina**, qui m'accompagne toujours avec son sourire et sa sincérité, ainsi qu'à tous mes amis.*

A tous mes collègues : du Centre des Travaux sur Sites au LEM, notamment monsieur BOUHENICHE.D, Mme BATATA.S et monsieur FERRAS.S merci pour votre aide et vos encouragements

*A ma binôme **Chahra zed** et tous les étudiants de la promotion **Aménagement et environnement 2019**.*

A la mémoire de ma douce grand-mère « Fatima », qui a rejoint le tout puissant cette année, ton amour et ta bonté resteront gravés en moi à jamais.

Abla

Table des matières

Liste des acronymes

Liste des Tableaux

Liste des Figures

Introduction générale

Introduction générale..... 2

Chapitre I : Généralités

I.1. Situation géographique 5

I.1.1. Baie d'Alger..... 5

I.1.2. Site d'étude (Promenade des Sablettes) 5

I.2. Caractéristiques géographiques de la région d'Alger 5

I.3. Cadre touristique 6

I.4. Cadre géologique et morphologique 6

I.4.1. Cadre géologique 6

 I.4.1.1. Géologie régionale 7

 I.4.1.2. Géologie locale 7

I.4.2. Cadre géomorphologique..... 8

 I.4.2.1 Géomorphologie régionale..... 8

 I.4.2.2. Morphologie sous-marine du plateau continental 8

I.5. La sédimentologie 8

I.5.1. Sédimentologie régionale..... 8

I.6. Cadre climatique et océanographique 9

I.6.1. Données climatologiques 9

 I.6.1.1. Températures 9

 I.6.1.2. Précipitations..... 10

 I.6.1.3. Les vents 10

I.6.2. Données océanographiques 11

 I.6.2.1. Les houles 11

 I.6.2.2. La marée 15

 I.6.2.3. Les courants..... 15

I.7. Le réseau hydrographique 16

I.7.1. Oued EL Harrach..... 17

I.7.2. Oued EL Hamiz 17

Chapitre II : Matériel et Méthode

II.1. Introduction	19
II.2. Etude bathymétrique.....	19
II.2.1. Point de contrôle.....	20
II.2.2. Calibrage de l'échosondeur.....	20
II.2.3. Traitement des données bathymétriques.....	20
II.2.4. Description du logiciel Surfer 15.....	20
II.2.4. Manipulation des données	21
II.3. Analyse granulométrique des sédiments	21
II.3.1. Objectif.....	21
II.3.2. Prélèvements d'échantillons	21
II.3.3. Etude granulométrique	22
II.3.4. Traitement des données	23
II.3.5. Les paramètres de position	23
II.3.6. Les paramètres de dispersion	24
II.3.6.1. L'indice de Trask ou Sorting-Index (So)	24
II.3.6.2. Le coefficient d'asymétrie (Sk, Trask).....	24
II.3.7. Définitions granulométriques et classes de taille	24
II.4. La modélisation numérique hydrodynamique	24
II.4.1. Définition	24
II.4.2. Principe de la modélisation	25
II.4.3. Objectifs de la modélisation.....	25
II.4.4. Etude de la réfraction de la houle.....	25
II.4.5. Simulation numérique de la zone des Sablottes par Mike-21	26
II.4.5.1. Principe de la simulation par Mike21-Dhi	26
II.4.5.2. Présentation du modèle	26
c). Le module Sédimentologique (ST.....	27
II.4.5.3. Etape de la modélisation par le Mike21.....	27
II.5. Modélisation physique.....	30
II.5.1. Introduction	30
II.5.2. Nécessité de la modélisation.....	30
II.5.3. Notions fondamentales.....	30
II.5.4. Principe et types de modèles.....	30
II.5.5. Fondement des modèles réduits physiques	31
II.5.6. La simulation physique	31

II.5.6.1. Loi de similitude	31
II.5.6.2. Distorsions	32
<i>II.5.7. Types d'étude sur les modèles réduits physiques.....</i>	<i>33</i>
II.5.7.1. Etude à deux dimensions	33
II.5.7.2. Etude à trois dimensions	33
II.5.7.3. Etude des évolutions des fonds : modèles sédimentologiques	33
<i>II.5.8. Les échelles</i>	<i>34</i>
II.5.8.1. Analyse dimensionnelle et système d'unités	34
II.5.8.2. Echelle non-distordue	34
II.5.8.3. échelle distordue	34
II.5.8.4. Choix de l'échelle.....	34
II.5.8.5. Choix des matériaux de l'ouvrage	35

Chapitre III : Résultat et discussion

III.1. Etude bathymétrique.....	37
<i>III.1.2. Etude des profils bathymétriques</i>	<i>37</i>
III.2. La sédimentologie	39
<i>III.2.1. Paramètre de position</i>	<i>39</i>
III.2.1.1. Le grain moyen D50 (μm)	39
III.2.1.2. Analyse modale	40
<i>III.2.2. Indices granulométriques :</i>	<i>41</i>
a) Indice de dispersion ou de classement	41
b) Coefficient d'asymétrie	41
III.3. Aménagement et dimensionnement de la grande plage artificielle des sablettes.....	43
<i>III.3.1. Introduction</i>	<i>43</i>
<i>III.3.2. Définition du rechargement artificiel.....</i>	<i>43</i>
<i>III.3.3. Classification des plages artificielles.....</i>	<i>43</i>
A. Les plages semi artificielles	43
B. Les plages artificielles à éléments meubles naturels	43
C. Les plages artificielles à éléments meubles artificiels.....	44
<i>III.3.4. Différents profils de plages artificielles</i>	<i>44</i>
a. Profil sans ouvrages de pieds	44
b. Plage à butée de pieds	44
c. Plage suspendue.....	45
d. Plage protégée par un brise lame continu ou discontinu	45
<i>III.3.5. Exposition des plages artificielles à la houle</i>	<i>45</i>

III.3.6. Dimensionnement de la plage.....	46
III.3.7. Caractéristiques du sable d'emprunt.....	46
III.3.8. Description de l'ouvrage.....	46
III.3.8.1. Epi en arc.....	46
III.3.8.2. Deux épis Est et Ouest.....	47
III.3.8.3. Le musoir.....	47
III.3.8.4. Enracinement (60ml pour l'épi Ouest et épi Est).....	48
III.3.8.5. Rechargement Grande plage (Plage artificielle).....	49
III.4. Modélisation numérique de la dynamique hydro sédimentaire.....	53
III.4.1. 1 ^{ère} étape : Données de base pour la modélisation numérique de la houle dans la Baie d'Alger.....	53
III.4.2. Données bathymétriques.....	53
III.4.3. Climats de houle.....	53
III.4.3.1. Choix du secteur et données de houle.....	53
III.4.3.2. Données de houle au large.....	54
III.4.4. Données relatives au niveau de la mer et au marnage.....	54
III.4.5. Simulation numérique sur Mike 21 coupled model/FM (Modèle d'ensemble-1 ^{er} étape).....	54
III.4.6. Résultat de simulation.....	55
III.4.7. 2 ^{ème} étape.....	58
III.4.7.1. Points d'extraction de la réfraction de la houle.....	58
III.4.7.2. Action des houles de direction Nord Nord-Ouest (340°N).....	59
A. Réfraction de la houle (Spectral Wave, SW).....	59
B. Courantologie (Hydrodynamic, HD).....	60
C. Transport sédimentaire (Sand Transport, ST).....	62
D. Bed Level change.....	63
III.4.7.3. Action des houles de direction Nord (360°N).....	65
A. Réfraction de la houle (Spectral Wave, SW).....	65
B. Courantologie (Hydrodynamic, HD).....	66
C. Transport sédimentaire (Sand Transport, ST).....	67
D. Bed level change.....	68
III.4.7.4. Action des houles de direction Nord Nord-Est (20°N).....	70
A. Réfraction de la houle (Spectral Wave, SW).....	70
B. Courantologie (Hydrodynamic, HD).....	71
C. Transport sédimentaire (Sand Transport, ST).....	73
D. Bed Level change.....	74

III.5. Modélisation physique	75
III.5.1. Introduction	75
III.5.2. Conditions de houles	75
III.5.3. Conditions hydrographiques	75
III.5.4. Choix de l'échelle	76
III.5.5. Résultats des essais.....	76
III.5.6. Construction des fonds	76
III.5.6.1. Choix des matériaux	76
III.5.6.2. Calibration (réglage hydraulique du modèle)	76
III.5.6.3. Les houles	76
III.5.6.4. Génération de la houle	77
III.5.6.5. Techniques de mesure et définitions	77
III.5.7. Observations effectuées et moyens mis en œuvre	77
III.5.7.1. Observations hydrauliques.....	77
III.5.7.2. Observation des dégâts	77
III.5.8. Critères de stabilité	77
III.6. Corrélation entre le modèle numérique et physique.....	78

VI : Chapitre VI : Gestion intégrée de zone côtier

VI.I . Approche du programme GIZC dans la zone d'étude	83
1. Port d'Alger :	83
2. Littoralisation, station de dessalement et rejets domestiques et industrielles :	84
3. Plage et promenade des Sablettes	84
4. Oued El Harrach.....	84
5. Marina D'Alger.....	84
6. Promenade du Lido et brises lames de Bordj El Kifane	84

Conclusion générale

Conclusion générale	86
---------------------------	----

Références bibliographiques

Bibliographies	88
----------------------	----

Liste des acronymes

µm : micromètre

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydriques.

APPL : Agence de Promotion et de Protection du Littoral

Cm : Centimètre

D : dimension caractéristique

DHI : Danish Hydraulic Institute

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

F.M : Flexible Mesh

H0 : Hauteur de la houle au large

HD : Hydrodynamique

Hs: Hauteur significative

JICA : Agence Japonaise de Coopération Internationale

Km : Kilomètre

LEM : Laboratoire des Etudes Maritimes

m : mètre

m/an : mètre par an

m³ : mètre cube

ml : Mètre linéaire

mm : millimètre

mn : minute

NNE : Nord Nord-Est

NNO : Nord Nord-Ouest

NW : Nord-Ouest

ONM : Office National de la Météorologie

S: seconde

S0 : Indice d'asymétrie

SKI : Coefficient d'asymétrie

SSMO: Summary of Synoptic Meteorological Observation

ST: Sand Transport

SW: Spectral Wave

UTM: Universal Time Mercator

V: volume

V : vitesse caractéristique (vitesse orbitale célérité)

WGS : World Géoïde System

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

ZH : Zéro Hydrographique

v : Viscosité cinématique de fluide.

Liste des Tableaux

Tableau n°01: Fréquence d'apparition du vent par vitesse et par direction au large d'Alger (LEM, 1999).....	11
Tableau n°02: Fréquence mensuelle de la houle au large par direction en pourcentage % (SSMO, 1963-1970)	12
Tableau n°03: Statistique de la houle au large (SSMO 1963-1970)	13
Tableau n°04: Répartition des états de mer par période (SSMO, 1963-1970).....	14
Tableau n°05: Relation état de mer – Hauteur de l'agitation.....	14
Tableau n°06: Probabilités d'apparition de la houle associée aux périodes de retour (SSMO, 1963-1970).....	15
Tableau n°07: Caractéristique générales d'Oued EL-Harrach et EL Hamiz (ANRH, 2014).....	17
Tableau n°08: classes granulométriques adoptées par l'OHI.....	24
Tableau n°09: Interprétation des valeurs de S_o	41
Tableau n°10: Interprétation des valeurs de S_k	42
Tableau n°11: Caractéristiques de la houle annuelle et ciquantennale au large (LEM, 2016).....	54
Tableau n°12: caractéristique de la houle annuelle de période $T=8s$ après réfraction	58
Tableau n°13: Conditions de houles retenues pour les essais de stabilité de l'ouvrage	75
Tableau n°14: les valeurs de HS dans les modèles numérique et physique a 6-m (Avant aménagement)	80
Tableau n°15: les valeurs de HS (360°N) dans les modèles numérique et physique a 6-m (Après aménagement)	80
Tableau n°16: tableau comparatif regroupant les valeurs de H_s pour les deux modèles	80

Liste des Figures

Figure n°01: Localisation de la zone d'étude (Google Earth, 2019).....	5
Figure n°02: Plan d'aménagement de la baie d'Alger -site Sablettes (LEM, 2018).....	6
Figure n°03: Carte géologique de la région d'Alger (JICA, 2006)	7
Figure n°04 : Carte de répartition des sédiments superficiels dans la baie d'Alger (LEM, 2009).....	9
Figure n°05: Variations des températures maximales, moyennes et minimales de la station de Dar El Beida période (1996-2016) (ONM, 2017).....	10
Figure n°06 : Cumuls mensuels des précipitations de la station de Dar El Beida période 2006-2016 (ONM, 2017).....	10
Figure n°07: Rose des houles annuelles au large d'Alger (AMIS, 2008)	12
Figure n°08 : Bilan des courants de dérive et dynamique sédimentaire dans la baie d'Alger (LEM, 1998).....	16
Figure n°09: Echosondeur OdomHydratrac I	Figure n°10: Radio modem
19	19
Figure n°11: Positionnement des stations de prélèvements des échantillons de sédiment dans la région de Sablette (LEM, 2014)	22
Figure n°12 : Modalité d'analyse granulométrique.....	23
Figure n°13: Organigramme explicatif de l'approche méthodologique adoptée pour la modélisation numérique du transport sédimentaire par le logiciel Mike-21.....	29
Figure n°14: Carte bathymétrique de la zone d'étude (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21).....	37
Figure n°15 : Carte bathymétrie et le tracé des profils dans la zone d'étude (Surfer 15).....	38
Figure n°16: profil sous-marin n°1	Figure n°17: profil sous-marin n°2.....
38	38
Figure n°18: profil sous-marin n°3.....	38
Figure n°19 : carte de la répartition des médianes (D_{50}) dans la région des « Sablettes» (LEM, 2014)	39
Figure n°20: Classes Modales	40
Figure n°21: Représentation graphique de l'indice de classement So	41
Figure n°22 : Représentation graphique de l'indice d'asymétrie Sk	42
Figure n°23: Profil sans ouvrages de pieds	44
Figure n°24: Plage à butée de pieds	44
Figure n°25: Plage suspendue	45
Figure n°26: Plage protégée par un brise lame continu ou discontinu	45
Figure 27: Profil partie courante des deux épis Ouest et Est.....	47
Figure 28: Profil musoir des deux épis Ouest et Est.....	48
Figure 29: Profil enracinement des deux épis	48
Figure n°30: Profil en long de la grande plage artificielle	49
Figure n°31 : Schéma représentant le plan de masse de la grande plage artificielle des Sablettes	50
Figure n°32 : Images illustrant la maquette de la construction de la plage artificielle en bassin à houle	51
Figure n°33: Mesh file utilisé pour la simulation à l'état initial (Réalisé par Mike21).....	54
Figure n°34 : Carte représentant la réfraction de la houle (spectral wave, SW N315. T8) dans le secteur Nord-Ouest.....	55
Figure n°35: Carte représentant la réfraction de la houle (Spectral Wave, SW N360.T8) dans le secteur Nord.....	56
Figure n°36: Carte représentant la réfraction de la houle (Spectral Wave, SW N45.T8) dans le secteur Nord-Est	57
Figure n° 37: Mesh file de notre zone d'étude avec les nouvelles directions de houle après la réfraction	58
Figure n°38: Carte de répartition du champ de réfraction de la houle avant ouvrage, $MWD=340^\circ$; $H=1.39$; $T=8s$ dans le secteur Nord Nord-Ouest.....	59

Figure n°39: Carte de répartition du champ de réfraction de la houle au niveau de Partie Grande Plage (Sablette), MWD=340° ; H=1.39m ; T=8s.....	59
Figure 40 : Carte de répartition du champ des courants, MWD=340° ; H=1.39 ; T=8s dans le secteur Nord Nord-Ouest.....	60
Figure n°41: Carte de répartition du champ des courants avec aménagement, MWD=340° ; H=1.39 ; T=8s dans le secteur Nord Nord-Ouest	61
Figure n°42: Carte de répartition du flux sédimentaire, MWD=340° ; H=1.39m ; T=8s dans le secteur Nord Nord-Ouest.....	62
Figure n°43: Carte de répartition du flux sédimentaire avec aménagement, MWD=340° ; H=1.39m ; T=8s, dans le secteur Nord Nord-Ouest	62
Figure n°44 : Carte de répartition de L'évolution des fonds des houles, MWD=340° ; H=1.39 ; T=8s, dans le secteur Nord Nord-Ouest	63
Figure n°45: Carte de répartition du l'évolution des fonds des houles avec aménagement, MWD=340° ; H=1.39 ; T=8s, dans le secteur Nord Nord-Ouest.....	63
Figure n°46: Carte de répartition du champ de réfraction de la houle, MWD=360° ; H=2.47 ; T=8s dans le secteur Nord	65
Figure n°47 : Carte de répartition du champ de réfraction de la houle avec aménagement, MWD=360° ; H=2.47 ; T=8s, dans le secteur Nord.....	65
Figure n°48 : Carte de répartition du champ des courants avec aménagement (Sablette), MWD=360° ; H=2.47 ; T=8s, dans le secteur Nord.....	66
Figure n°49 : Carte de répartition du champ des courants (Sablette), MWD=360° ; H=2.47 ; T=8s, dans le secteur Nord	66
Figure n°50: Carte de répartition du flux sédimentaire, MWD=360° ; H=2.47m ; T=8s, dans le secteur Nord.....	67
Figure 51: Carte de répartition du flux sédimentaire avec aménagement, MWD=360° ; H=2.47m ; T=8s, dans le secteur Nord.....	67
Figure n°52 : Carte de répartition de L'évolution des fonds des houles, MWD=360° ; H=2.47 ; T=8s, dans le secteur Nord	68
Figure n°53: Carte de répartition de L'évolution des fonds des houles avec aménagement, MWD=360° ; H=2.47 ; T=8s, dans le secteur Nord.....	69
Figure n°54: Carte de répartition du champ de réfraction de la houle, MWD=20° ; H=2.20 ; T=8s, dans le secteur Nord Nord-Est.....	70
Figure n°55 : Carte de répartition du champ de réfraction de la houle avec aménagement, MWD=20° ; H=2.20 ; T=8s, dans le secteur Nord Nord-Est	70
Figure n°56 : Carte de répartition du champ des courants, MWD=20° ; H=2.20 ; T=8s, dans le secteur Nord Nord-Est.....	71
Figure n°57: Carte de répartition du champ des courants avec Aménagement, MWD=20° ; H=2.20 ; T=8s, dans le secteur Nord Nord-Est	72
Figure n°58: Carte de répartition du flux sédimentaire, MWD=20° ; H=2.20 ; T=8s, dans le secteur Nord Nord-Est.....	73
Figure n°59: Carte de répartition du flux sédimentaire avec ouvrage, MWD=20° ; H=2.20 ; T=8s, dans le secteur Nord Nord-Est.....	73
Figure n°60: Carte de répartition du Bed Level MWD=20° ; H=2.20 ; T=8s, dans le secteur Nord Nord-Est	74
Figure n°61 : Carte de répartition du Bed Level avec aménagement, MWD=20° ; H=2.20 ; T=8s, dans le secteur Nord Nord-Est.....	74
Figure n°62 : Points d'extraction de H _S à l'isobathe -6m (Etat initial)	78
Figure n°63: Points d'extraction de H _S à l'isobathe -6m avec aménagement (Model numérique)	79
Figure n° 64 : Positionnement des sondes au niveau du bassin à houle (Model physique)	79

Figure n°65 : Courbe de corrélation entre la modélisation physique et numérique	80
Figure n°66: Impacts des différentes pressions au niveau de la zone étudiée	83

Introduction Générale

Introduction générale

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

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. (**Hamon, 2014**). 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, 2002**).

Il apparait clairement qu'une meilleure connaissance de l'environnement littoral doit permettre un développement plus harmonieux, plus durable et plus sûr des activités humaines dans ces zones frontalières, c'est pour cela que la modification des plages naturelles ou la création des plages artificielles sont des opérations délicates dans la mesure où il existe un équilibre fragile entre les différents paramètres du littoral.

La modélisation est une étape clef et un préalable indispensable dans la stratégie de gestion, et la pertinence (ou non) de l'aménagement projeté.

Il existe de nombreux modèles pour analyser et prédire le transport sédimentaire, la propagation de la houle ainsi que le champ de courant (qui sera traité dans ce mémoire). Les méthodes de modélisation peuvent prendre la forme physique ou numérique (**Bellou, 2012**).

La côte algéroise n'est pas à l'abri du changement. Elle est actuellement siège à de nombreux travaux d'aménagement qui s'inscrivent dans le cadre du projet de l'aménagement de la baie d'Alger (2009-2029). Ceci dit, on ne se rend compte de l'impact de cette artificialisation qu'après fait accompli.

Notre travail porte principalement sur la comparaison et la corrélation des résultats de la modélisation numérique et physique, afin de faire ressortir l'importance de ces études dans le suivi de l'hydrodynamisme côtier, et pour mieux cerner les interactions entre les paramètres hydrauliques et les réponses structurelles des ouvrages maritimes.

Le choix du site de notre étude s'est porté sur la partie occidentale de la baie d'Alger qui est le linéaire côtier des « Sablettes », où la création d'une grande plage artificielle y est prévue.

Cette zone est fortement anthropisée et rentre dans un projet dont les travaux s'étalent sur des dizaines d'années, un nombre important d'ouvrages est réalisé, ou prévu dans la région, ce qui suscite une nécessité d'étude perspective.

Ce présent mémoire portant sur l'étude de l'aménagement d'une plage artificielle au niveau de la promenade des Sablettes comprend quatre 04 principaux chapitres divisés comme suite :

Le premier chapitre présente un état des connaissances sur la zone d'étude, à savoir, l'énumération de ses principales caractéristiques géomorphologiques, sédimentologiques, météorologiques et océanographiques.

Le deuxième chapitre est destiné à la méthodologie sur laquelle ce travail est basé, ce chapitre énumère donc les différentes méthodes de l'étude sédimentologique, le principe de la modélisation numérique avec le logiciel Mike-21 et physique.

Dans le Troisième chapitre de résultats et discussion, nous présenterons, d'une part, les résultats de l'étude sédimentologique, le type de plage artificielle choisie ainsi que l'aménagement de l'ouvrage de protection. Dans ce chapitre également nous interprétons les résultats de la modélisation numérique dont l'étude de la houle, des courants ainsi que le transport sédimentaire, avec une analyse comparative entre les résultats obtenus avant et après l'installation de l'ouvrage. D'autre part, nous présenterons les résultats de la modélisation physique en bassin à houle et l'interprétation des résultats obtenus avec photos à l'appui. Et dans la dernière partie de ce chapitre on va effectuer une comparaison et une calibration des résultats obtenus par les deux modélisations numériques et physiques réalisés dans ce chapitre (chapitre III).

Le dernier chapitre concernera la mise en place d'une Gestion Intégrée des Zone Côtières « GIZC » pour la partie centrale de la baie d'Alger.

Enfin, nous terminerons par une conclusion générale.

Chapitre I : Généralités

I.1. Situation géographique

I.1.1. Baie d'Alger

La baie d'Alger s'inscrit en creux et au centre du littoral Algérien, aux débouchés de la Mitidja. Elle se caractérise par sa forme semi-circulaire dont l'ouverture est de l'ordre de 18km de largeur et de 7km du nord au sud. Cette dernière est bordée par le cap Matifou à l'Est et par le Cap Caxine à l'Ouest.



Figure n°01: Localisation de la zone d'étude (Google Earth, 2019)

I.1.2. Site d'étude (Promenade des Sablettes)

La bande côtière des Sablettes s'étend sur 4,5 km, de l'embouchure d'Oued El Harrach (commune de Mohammedia) à l'est jusqu'à la station de dessalement d'eau de mer d'El Hamma (Commune de Sidi M'Hamed).

Ses coordonnées géographiques sont : $36^{\circ} 44' 50''$ et $36^{\circ} 44' 50''$ de latitude Nord
 $3^{\circ} 04' 40''$ et $3^{\circ} 05' 20''$ de longitude Est

I.2. Caractéristiques géographiques de la région d'Alger

La côte orientée sensiblement O-N-O à E-S-E, fait face principalement aux agitations venant du nord et du secteur Nord-Est. Le secteur Nord-Ouest affecte peu la côte dans cette partie de la baie, compte tenue de la configuration morphologique et la proximité des ouvrages maritimes du port d'Alger, la présence de l'embouchure de Oued El Harrach représente avec l'Oued El Hamiz plus à l'Est, les principales sources pour l'alimentation de la baie en matériaux meubles. (LEM, 2009)

I.3. Cadre touristique

L'aménagement de la promenade des Sablettes, rentre dans le cadre du "projet métropolitain d'aménagement de la baie d'Alger", lequel, s'inscrit dans le Plan Stratégique de la Wilaya d'Alger, avec comme objectif de redonner à Alger, l'attractivité et le rayonnement qu'elle mérite, à travers sa façade maritime.

Après l'achèvement des travaux d'aménagement, cette zone est appelée à devenir un pôle d'attraction touristique, et sera dotée d'infrastructures et d'équipements de loisirs (Restaurants, théâtre de plein air, terrains de jeux, espaces publics et parking etc.) qui rapprochent le citoyen de la mer.

Depuis l'ouverture d'une partie du projet, un flux touristique très important est observé au niveau des Sablettes; on enregistre entre 10 000 à 15 000 visiteurs/jour en basse saison, et pas moins de 40 000 estivants en haute saison avec des pics pouvant atteindre les 60 000 personnes/j.(LEM,2018)

Notre projet d'aménagement d'une plage artificielle est mis en place afin de répondre aux besoins de la population en la création d'une zone balnéaire au centre d'Alger.

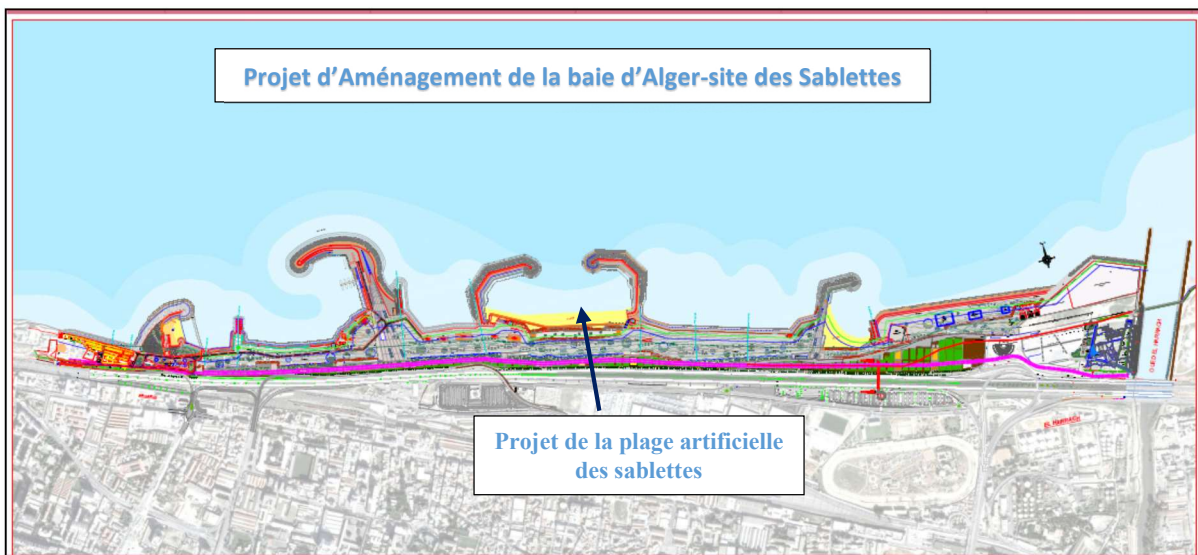


Figure n°02: Plan d'aménagement de la baie d'Alger -site Sablettes (LEM, 2018)

I.4. Cadre géologique et morphologique

I.4.1. 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 du synclinal de la Mitidja.

I.4.1.1. Géologie régionale

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. (LEM, 2009)

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'alluvion caillouteuse d'El Mohammadia qui occupent la superficie au 2/3 dans sa partie Nord et sa partie centrale ; ils sont composés de cailloutis, de sable 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 occupant la partie centrale et septentrionale de la baie.

I.4.1.2. Géologie locale

La bande des Sablettes se situe à l'extrémité occidentale de la plaine de la Mitidja qui est une zone de subsidence continue. Cette dernière a donnée naissance à une sédimentation active dont les éléments proviennent des reliefs de l'Atlas Blidéen. A la fin du Pliocène et du Quaternaire, deux réservoirs aquifères se sont individualisés, il s'agit de l'Astien formé par des calcaires et des grès d'origine continentale. Le Quaternaire alluviale constitué essentiellement de galets et graviers.

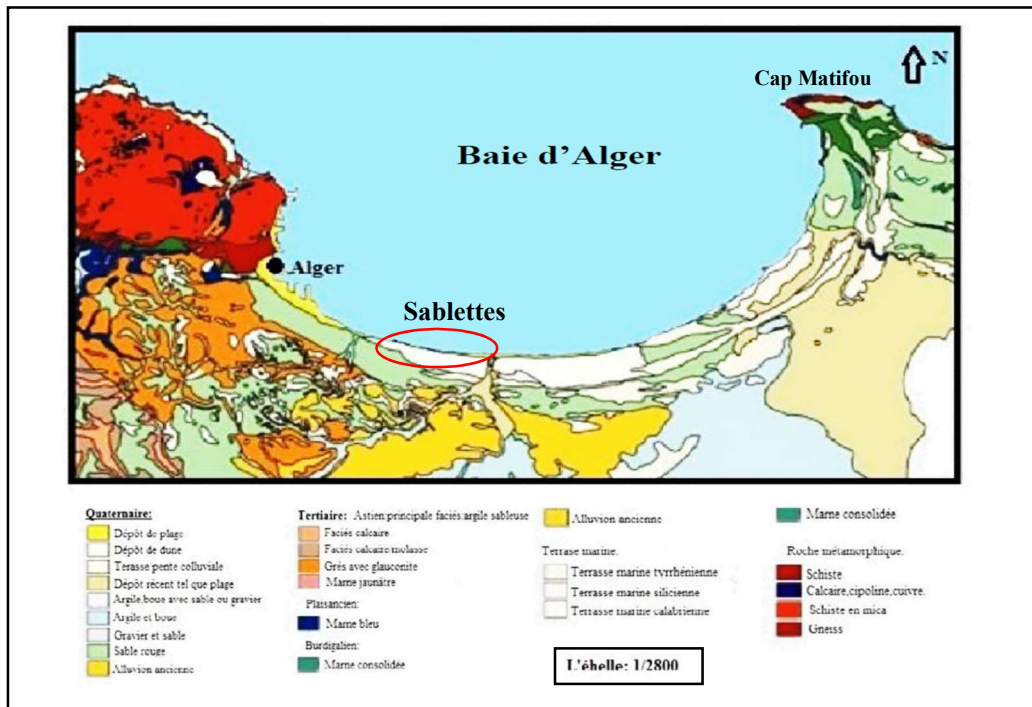


Figure n°03: Carte géologique de la région d'Alger (JICA, 2006)

I.4.2. Cadre géomorphologique

I.4.2.1 Géomorphologie régionale

La côte algéroise généralement, et la baie d'Alger spécifiquement, se divise sur le plan géomorphologique en deux grandes parties :

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

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

I.4.2.2. Morphologie sous-marine du plateau continental

Le plateau continental est très étroit au niveau des extrémités de la baie, mais il s'élargit au centre d'environ 12.5 km vu la présence des cours d'eau (Oued El Herrach). Il est caractérisé par une pente assez douce. Les dépôts d'Oued El Harrach à 9 m de profondeur forment une zone deltaïque suite aux dépôts terrigènes importants au niveau des caps qui sont assez accidentés avec l'apparition des zones rocheuses. En effet, l'isobathe 50m est à 4.1km de la cote (*PAC, 2004*).

I.5. La sédimentologie

La sédimentologie permet de connaître la constitution fréquentiel des différentes fractions qui composent le stock sédimentaire d'une part et de définir les paramètres de la dynamique : mouvement des sédiments (zone d'accumulation, zone d'érosion, sens du transit sédimentaire) d'autre part.

I.5.1. Sédimentologie régionale

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

Les principales sources continentales d'apports de sédiments dans la zone d'étude sont Oued El Harrach et Oued El Hamiz.

La répartition spatiale des sédiments dans la Baie d'Alger (figure ci-après n°I.4) 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'Etablissement de la Carte Sédimentaire du Littoral Algérien (1ère Tranche). (LEM, 2009).

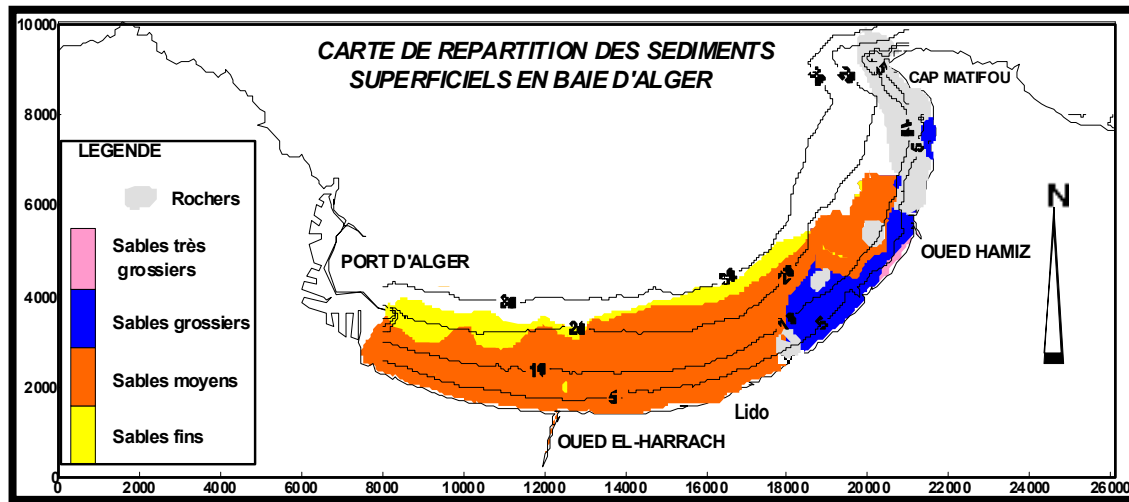


Figure n°04 : Carte de répartition des sédiments superficiels dans la baie d'Alger (LEM, 2009)

I.6. Cadre climatique et océanographique

I.6.1. Données climatologiques

La détermination du caractère de climat est très importante pour mieux apprécier les régimes hydrodynamique se déployant dans notre zone d'étude et qui sont responsables de toute transformation morpho-sédimentaire. (Otmani, 2014).

La zone d'étude est caractérisée par un climat de type méditerranéen avec des étés chauds et secs et des hivers tempérés, doux et humides.

I.6.1.1. Températures

D'une manière générale, les températures dans les régions côtières connaissent un adoucissement dû à la proximité de la mer, c'est le cas de notre zone d'étude.

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

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.

Apport de la modélisation physique et numérique dans l'étude de l'hydrodynamisme sédimentaire : cas de l'aménagement d'une plage artificielle au niveau des sablettes

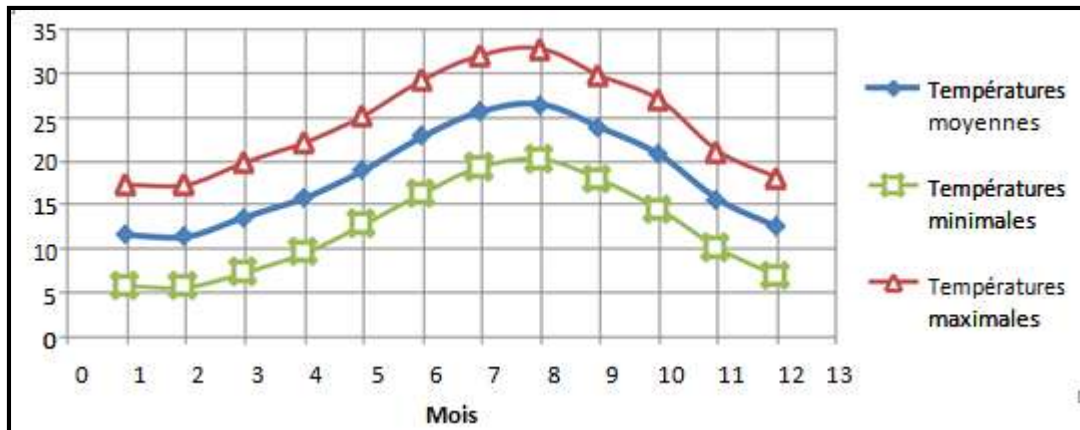


Figure n°05: Variations des températures maximales, moyennes et minimales de la station de Dar El Beida période (1996-2016) (ONM, 2017)

I.6.1.2. Précipitations

Les précipitation sur la région varient de 600 à 1000 mm et tombent en 80 jours en moyenne. Elles sont très irrégulièrement réparties à l'échelle annuelle. On observe une croissance rapide de la pluviosité de septembre à décembre puis une décroissance plus lente jusqu'en juillet et enfin des pluies quasiment nulles en juillet et en Août (LEM, 2006).

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.

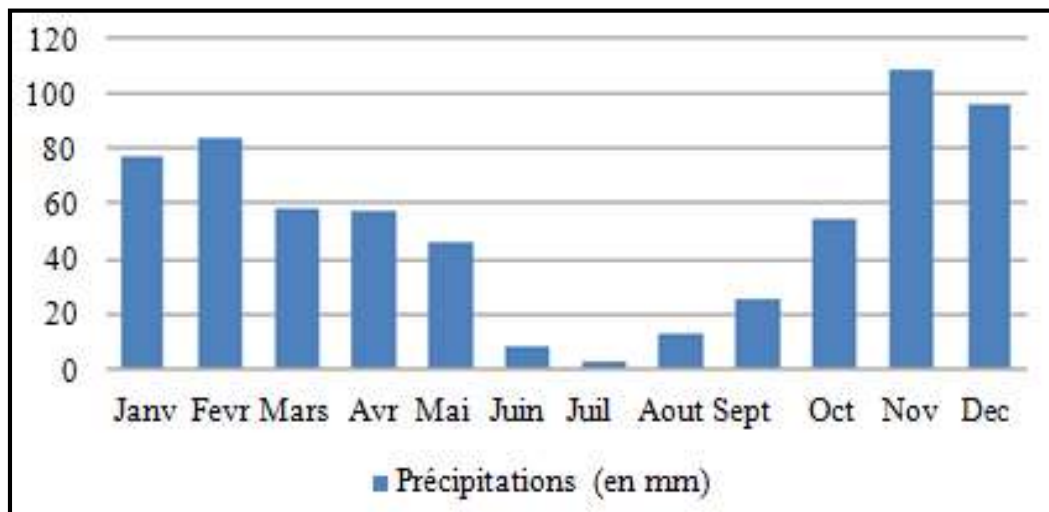


Figure n°06 : Cumuls mensuels des précipitations de la station de Dar El Beida période 2006-2016 (ONM, 2017)

I.6.1.3. Les vents

Pour une région côtière, la connaissance des régimes des vents est d'une extrême importance. En effet, le vent est un générateur de vagues et de courants superficiels, son impact croît avec sa vitesse. Il joue donc un rôle important dans l'évolution géomorphologique des milieux littoraux d'une part, surtout les cotes basses d'accumulation des régions à climat sec (Boutiba, 2009) et d'autre part dans l'évolution des forçage hydrométéorologiques responsables de la mobilité des sédiments le long des côtes (Boutiba, 2009).

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

Vitesse (m/s)	Direction				
	W	NW	N	NE	E
0.5 - 1.5	1.0%	0.7%	1.1%	1.0%	1.4%
2.0 - 5.1	10.4%	6.1%	4.8%	6.5%	9.1%
5.6 - 10.7	13.2%	6.1%	2.4%	2.8%	5.6%
11.2 - 17.1	5.3%	2.7%	0.6%	0.5	0.5%
17.3 - 24.0	1.1%	8%	0.1%	0.0%	0.1%
>25.0	0.0%	0.1%	0.0%	0.1%	0.0%

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

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

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

I.6.2. Données océanographiques

La dynamique sédimentaire littorale est étroitement dépendante de l'hydrodynamisme ainsi que de l'environnement hydrographique.

Une connaissance approfondie des facteurs majeurs à savoir les houles, les courants et les débits des cours d'eau est donc nécessaire, pour déterminer leur action et leur intervention dans le remaniement des sédiments. **(Otmani, 2014).**

I.6.2.1. Les houles

La houle est le facteur le plus important dans la dynamique sédimentaire des petits fonds. La direction de propagation de la houle est liée à celle du vent et à la longueur d'onde de la houle **(Bonnefille, 1992).**

Le littoral algérois est soumis à un régime de houles dominantes de direction Nord-Ouest et Nord en hiver et de direction Nord-Est en été. Ces houles génèrent des courants particulièrement actifs du point de vue érosion. **(P.G.Marios & all, 1997).**

La côte algéroise est soumise sous des perturbations d'Ouest, Nord-Ouest, elle subit principalement les influences des perturbations méditerranéennes (Baléares et Golfe de Gènes). **(Nadir, 2016).**

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.

A. Principe de l'analyse de données du SSMO

Le principe de l'analyse de la houle au large est basé sur les observations faites à bord de navires. Les données sont reprises d'un document de l'U.S Naval Weather Command intitulé « Summary of Synoptic Meteorological Observation ». Ces données s'étalent sur une période de huit (8) années (1963-1970).

Une analyse statistique de ces données permet de définir les secteurs de la houle prédominant et leurs amplitudes respectives. (LEM, 1996).

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

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

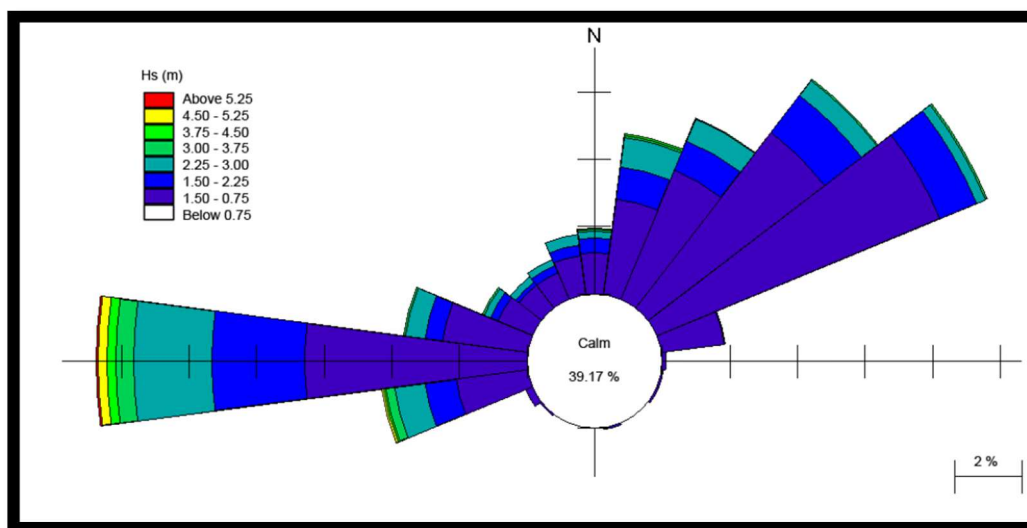


Figure n°07: Rose des houles annuelles au large d'Alger (AMIS, 2008)

Tableau n°2: Fréquence mensuelle de la houle au large par direction en pourcentage % (SSMO, 1963-1970)

Direction	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Mois								
Janvier	8,1	12,9	18,2	18,2	6,5	13,2	28,8	7,3
Février	8,8	10,3	10,3	12,6	6,1	16,9	35,6	5,8
Mars	11,3	12,6	12,6	15,8	4,5	12,3	30,5	9,2
Avril	11,7	15,4	15,4	16	4,4	13,7	26,7	10,2
Mai	8,2	26,3	26,3	31,9	3,3	7,2	13,9	5,2
Juin	9,2	29,1	29,1	29,8	1,4	8,2	16,4	4,2
Juillet	5,9	32,5	32,5	35,1	1	5,9	16,3	2
Août	8,8	27,7	27,7	37,3	1,1	5	13,4	4,9
Septembre	6,7	26,4	26,4	40,5	2,3	4,6	14,8	2,5
Octobre	7,8	14,1	14,1	20,3	4,2	14,8	28,8	6,8
Novembre	5,5	5,8	5,8	10	8	15,9	40,4	9,4
Décembre	10,2	6,2	6,2	9,4	7,5	15	37,1	10
moyenne	8,52	18,28	18,72	23,08	4,19	11,06	25,23	6,46

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.

a. Direction de la houle au large

L'analyse du tableau des fréquences d'apparitions des houles par direction et par mois permet de constater ce 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 tempêtes.
- 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-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, 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).**

b. Les houles extrêmes du large

Les caractéristiques des houles extrêmes sont citées, par secteur de provenance et pour toutes directions confondues, dans le tableau suivant :

Tableau n°3: Statistique de la houle au large (SSMO 1963-1970)

Période de retour	Est 90	Nord-Est 45	Nord N360	Nord-Ouest N315	Ouest 270	Toutes Directions
annuelle	2,53m	2,56m	2,67m	2,64m	2,67m	
Biannuelle	4,12m	4,93m	4,90m	4,16m	7,63m	7,44m
Quinquennale	4,70m	5,67m	5,75m	4,87m	6,43m	8,34m
Décennale	5,14m	6,23m	6,38m	5,40m	9,22m	9,02m
Vingtennale	5,59m	6,79m	7,02m	5,94m	10,02m	9,70m
Cinquantennale	6,17m	7,53m	7,87m	6,65m	11,08m	10,60m
centennale	6,62m	8,08m	8,50m	7,18m	11,88m	11,27m

Les données du tableau n° 2 concordent avec celles observées auparavant (tableau n°1), pour les périodes de retour biennales on observe que ce sont les houles essentiellement de direction Ouest qui sont les plus énergétiques avec une valeur de 7,36m. Par contre les houles de direction Est sont les plus faibles avec des valeurs même centennales ne dépassant pas 7m.

c. Relation amplitude-période de la houle au large

La répartition des périodes de la houle est donnée par état de la mer dans le tableau ci-dessous :

Tableau n°4: Répartition des états de mer par période (SSMO, 1963-1970)

Etat de la mer	Périodes de la houle					
	< à 6s	6-7s	8-9s	10-11s	11-12s	13s
Calme	5,2	0,1	-	-	-	-
0	20,8	1,9	0,4	-	-	-
1	24,6	13,1	2,7	0,5	0,2	-
2	2,6	5,4	3,1	0,9	0,2	-
3	0,4	1,1	1,00	0,6	0,2	-
4	0,1	0,5	0,3	0,3	0,3	-
Totale (%)	53,7	22,1	7,5	2,3	0,9	-

Les houles observées ont pour la majorité une période courte (pour 75% la période est ≤ 7s), seul 3% des houles ont une période compris entre 10 et 13s.

Tableau n°5: Relation état de mer – Hauteur de l’agitation

Degré	Amplitude (m)	Etat de la mer
Calme	< 0.26	Ridée ou belle
0	0.25-0.75	Ridée ou belle
1	0.75-1.75	Modérée
2	1.75-2.75	Agitée
3	2.75-3.75	Forte
4	>3.75	Très forte ou supérieure

d. Caractéristique de la houle au large

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

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

$$P_n = 1 / (3*365*n) \quad \dots\dots(I.1)$$

Où, n : période de retour

Les résultats sont donnés dans les tableaux suivants :

Tableau n°6: Probabilités d'apparition de la houle associée aux périodes de retour (SSMO, 1963-1970)

Période de retour	Probabilités associées
Biannuelle	$4,56 \cdot 10^{-4}$
Quinquennale	$1,82 \cdot 10^{-4}$
Décennale	$9,13 \cdot 10^{-5}$
Vingtennale	$4,56 \cdot 10^{-5}$
Cinquantennale	$1,82 \cdot 10^{-5}$
centennale	$9,13 \cdot 10^{-6}$

I.6.2.2. La marée

La marée est un mouvement périodique qui affecte le niveau général des océans et des mers. Combinée à la force d'inertie générée par les mouvements orbitale de la terre. (Meddlt, 2010). Pour les marées en Algérie, le port de référence est Alger. La marée astronomique à Alger est de type semi-diurne micro-tidale. En moyenne, la marée de pleine lune est de 25 à 30cm (marrée de vives-eaux) et celle de la nouvelle lune de 5 à 15 cm (marée de mortes eaux). Elle est masquée le plus souvent par les surélévations ou l'abaissement du niveau de la mer du aux conditions climatiques (pression atmosphérique, ravale des vents.... Etc). (Sogreah, 2010). Le long des côtes algériennes, l'amplitude moyenne des marées astronomiques est de l'ordre de 6cm. (LEM, 1996).

I.6.2.3. Les courants

Un courant est un déplacement d'une masse d'eau, c'est le moteur principal de la morpho dynamique côtière. (Miossec, 2009).

Les courants le long d'une côte sont en général de quatre types : les courants généraux, les courants de marée, les courants de dérive dus au vent et les courants générés par la houle. Les trois premières types peuvent être considérés comme négligeables le long du littoral de la wilaya d'Alger : (Egis eau, Iau-Idf, Brgm, 2013).

- Ils sont liés à la circulation de grandes masses d'eau océaniques et ne se font sentir qu'au de large.

- Les courants de marée sont faibles.

- Les courants dus au vent ne dépassent pas 15 à 20cm/an et ne concerne que la partie superficielle de la masse d'eau.

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

Seuls les courants dus à la houle sont susceptibles d'agir sur le transit littorale dont :

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).

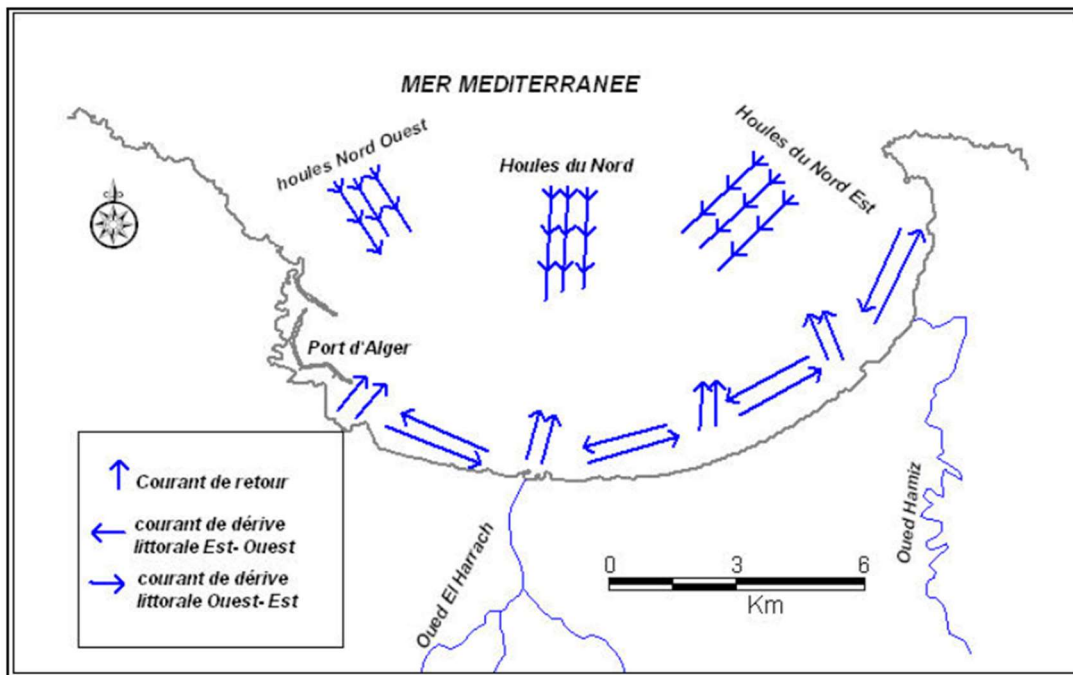


Figure n°08 : Bilan des courants de dérive et dynamique sédimentaire dans la baie d'Alger (LEM, 1998)

I.7. Le réseau hydrographique

Le réseau hydrographique dans la baie d'Alger se caractérise par la présence d'Oueds à régime temporaire et irrégulier tels qu'Oued El Harrach, et Oued EL Hamiz. En été, les lits des Oueds sont quasiment à sec ou se réduisent à de simples filets d'eau, par contre ils connaissent des crues très violentes pendant la saison hivernale (LEM, 2018).

Les oueds EL Harrach et EL Hamiz drainent respectivement les parties centrales et orientales de la Mitidja avant de se jeter dans la mer, dont le plus important est celui d'Oued El Harrach qui vient se jeter directement à la limite orientale de notre zone d'étude.

Ces deux oueds ainsi que leurs affluents sont des torrents à débit irréguliers. Dans leur cours inférieurs, ils présentent une direction générale du sud vers nord (LEM, 1996). Ces Oueds sont utilisés comme récepteur des eaux usées des quatre agglomérations secondaires à travers un réseau communal sans traitement préalable. (APPL, 2015).

I.7.1. Oued EL Harrach

Le régime hydrographique de l’oued El Harrach se caractérise par un long étiage de six (6) mois et des crues d’Hiver et de printemps soudaines et rapide.

L’Oued El Harrach est formé par la confluence de deux Oueds principaux, l’Oued Akka et l’Oued Mekka sur une longueur de 67Km, il est alimenté également par six affluents (Oued Djemaâ, Oued Baba Ali, Oued Terrou, Oued Kerma, Oued Smar et Oued Oouchaïh).

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

I.7.2. Oued EL Hamiz

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

Tableau n°7 : Caractéristique générales d’Oued EL-Harrach et EL Hamiz (ANRH, 2014)

Oueds	EL-Harrach	EL-Hamiz
Communes traversées	Mohamadia-Moradia-HuseinDey-EL Harrach-Sidi Moussa-Birtouta-Saoula-Ouled chbal-Ouled Fayat-Bir MouradRais- GuideConstantine-Echefa-Blida....	Ruiba-Dar El Baida-Oued essamar-Bourdj El Bahri-El Hamiz-Eucalyptus-Bab Ezouar-Bourdj El Kiffan-Ain taya...
Orientations	Nord-Est	Nord-Ouest
Superficies (Km²)	378	86
Apports liquides Al (Hm³)	53	11
Apports solides As (m³/an)	107114	100226

Chapitre II : Matériel et Méthode

II.1. Introduction

Avant la réalisation de tout projet, la connaissance et la maîtrise des données et de leur traitement, sont primordiaux. En effet, suivre une bonne méthodologie en se basant sur des données d'entrées fiables, converge vers un résultat exploitable, qui économisera du temps et de l'argent.

Dans ce présent chapitre, nous exposeront la méthodologie suivie dans notre travail, ainsi que la présentation des logiciels et du matériel utilisé.

II.2. Etude bathymétrique

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

Le levé bathymétrique consiste à déterminer les coordonnées tridimensionnelles des points du fond marin dans le système géodésique WGS84 à l'aide d'un récepteur GPS et d'un échosondeur. (LEM, 2014)

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



Figure n°09: Echosondeur OdomHydrotrac I



Figure n°10: Radio modem

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

- Une antenne GPS, qui reçoit les données des satellites, est fixée sur le point de référence. Le récepteur 5700 émet ces données par liaison radio au récepteur mobile à l'aide d'un modem externe Pacific Crest et une antenne UHF.

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

L'embarcation est équipée d'une caisse métallique et d'un support vertical fixé sur le côté, qui maintient à la base le transducteur de l'échosondeur et en tête l'antenne GPS. Quel que soit la variation du plan d'eau, la longueur du support est constante, par conséquent tous les échos mesurés sont référencés par rapport à l'antenne GPS. La partie immergée du support ainsi que celle située hors de l'eau sont mesurées avant le début des levés. (LEM, 2014)

Ce dispositif est interfacé par un micro-ordinateur et le logiciel de navigation et d'acquisition de données « Hypack ».

Le logiciel reçoit du récepteur GPS les coordonnées du point au niveau du plan d'eau, l'échosondeur calcule la profondeur à partir des mesures effectuées par le transducteur, le résultat de ces deux opérations aboutit à la connaissance des coordonnées du point bathymétrique mesuré.

II.2.1. Point de contrôle

Un point de contrôle est implanté à terre, il est mesuré avant le début de chaque levé. Les coordonnées affichées sur Hypack » sont comparées avec les coordonnées réelles. Afin de pouvoir entamer les levés, l'écart tolérable obtenu suite à cette comparaison doit être inférieur à cinq centimètres (< 5 cm).

II.2.2. Calibrage de l'échosondeur

Le calibrage de l'échosondeur s'effectue en utilisant une plaque métallique suspendue à l'aide d'une chaîne graduée.

La plaque est immergée à une profondeur choisie par rapport au niveau du plan d'eau.

Le calibrage se fait en agissant sur la valeur de célérité (vitesse de propagation du signal dans l'eau), afin d'obtenir la profondeur affichée sur l'échosondeur égale à celle lue sur les graduations de la chaîne.

L'opération est répétée sur plusieurs profondeurs, avant d'entamer les levés. (LEM 2014)

II.2.3. Traitement des données bathymétriques

Après l'acquisition des données topo bathymétriques qui sont effectuées par les techniques précédemment mentionnées (LEM, 2014), ces dernières ont été exploitées à l'aide du logiciel Surfer 15, pour créer les cartes bathymétriques.

II.2.4. Description du logiciel Surfer 15

Surfer est un logiciel open source conçu par Golden Software, il permet de réaliser des modèles numériques de terrain (MNT) issus des données récoltées sur le terrain ou résultantes d'un calcul.

Son principe c'est de créer des grilles qui vont interpoler les données irrégulières de nos points X, Y, Z, afin de les ordonner, c'est à partir de ces grilles qu'on pourra créer plusieurs types de cartes : basemap, contourMap, 3Dsurfer, vector et bien d'autres....

Parmi les fonctionnalités de ce logiciel :

1. Création d'une grille (x,y,z);
2. Création des différents types de cartes, les superposer ainsi que leur mise en forme ;
3. Réalisation des profils de plage ;
4. Réalisation des calculs de volume ;
5. Calcul des longueurs et des surfaces. (Source : **tutoriel d'utilisation de surfer 11**)

II.2.4. Manipulation des données

Le traitement de l'information passe par plusieurs étapes qui sont :

- a. Mise en forme du fichier Excel : préparer les données bathymétriques et topographiques dans une feuille Excel dans un tableau à 3 colonnes : latitudes, longitudes et profondeurs, respecter les valeurs négatives pour la bathymétrie et positives pour la topographie, ainsi que le format (mettre des virgules non pas des points) et surtout s'assurer de la compatibilité entre la version utilisée de l'Excel avec celle du Surfer.
- b. Préparation de la grille : la grille de calcul est préparée à partir du fichier de bathymétrie obtenu précédemment, en allant dans : Grid →Data et parcourir le fichier Excel puis cliquer sur ok.
- c. Vérifier le choix des colonnes, de sorte que le X pour les latitudes, Y pour les longitudes et Z pour la profondeur. On doit aussi vérifier le choix de la méthode d'interpolation.
- d. Une fois la grille créé, aller dans « Toolbar options ».
- e. Pour obtenir les cartes d'isobathes en 2D cliquer sur l'icône (Contour) et là on doit parcourir le fichier Excel directement et les stations apparaissent.

II.3. Analyse granulométrique des sédiments

II.3.1. Objectif

L'analyse granulométrique des sédiments meubles a pour but de connaître la répartition quantitative pour chaque classe dimensionnelle des particules élémentaires constituant l'échantillon. Et aussi, connaître la nature du fond marin.

II.3.2. Prélèvements d'échantillons

Au total deux cents (200) points de prélèvement d'échantillons de sédiments marins ont été retenus et répartis sur l'ensemble de la zone d'étude. Ces points de prélèvement se situent principalement dans la zone allant de la profondeur zéro jusqu'à la profondeur de -20m, (**LEM 2014**)

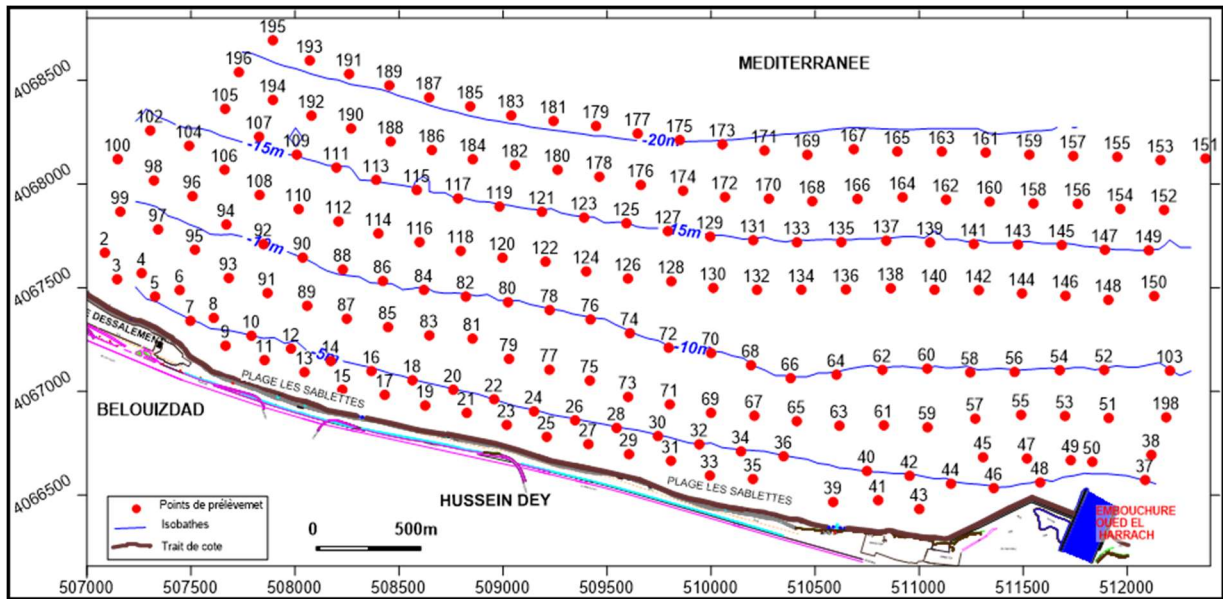


Figure n°11: Positionnement des stations de prélèvements des échantillons de sédiment dans la région de Sablette (LEM, 2014)

II.3.3. Etude granulométrique

L'étude des sédiments est réalisée par granulométrie sur une colonne de tamis Afnor. La granulométrie est définie sur le matériel brut simplement débarrassé, par tamisage à 40 µm sous l'eau de la fraction fine. Cette dernière opération conduit à caractériser chaque sédiment par un indice de teneur en fraction inférieure à 40 µm : l'indice pélitique. Par complémentarité à 100 % on peut, par cet indice, connaître la teneur en sable (fraction supérieure à 40 µm) : l'indice arénique.

Il sera ensuite procédé à un tamisage à sec de la fraction grossière (> 40 µm) sur une série de tamis de type «Afnor ». Les diamètres du tamis varient entre 40µm et 8000µm.

Pour chaque échantillon, il est établi une courbe granulométrique sur un diagramme semi-logarithmique dans lequel l'ordonnée représente le pourcentage cumulé de refus et l'abscisse le diamètre correspondant.

L'analyse granulométrique, résumée graphiquement, est présentée ci-après :

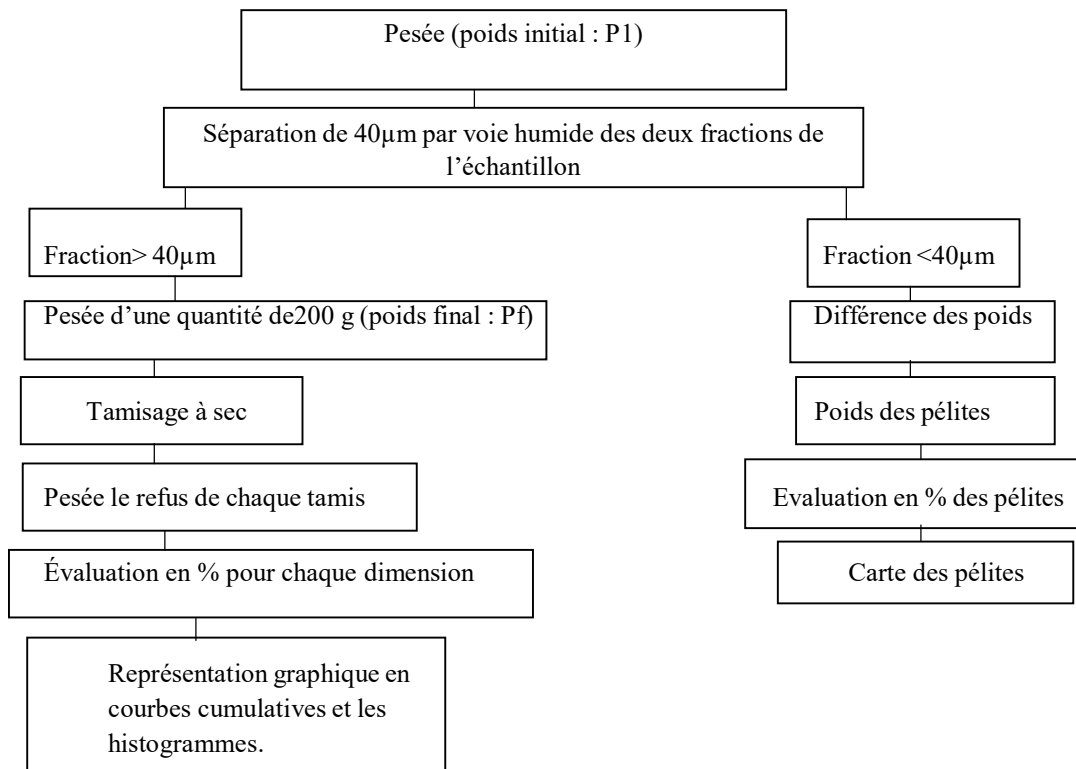


Figure n°12 : Modalité d'analyse granulométrique

II.3.4. Traitement des données

Le traitement graphique ou numérique des résultats bruts fournis par le tamisage a pour but de définir, par l'emploi de paramètres spécifiques (position, dispersion, asymétrie et acuité), l'échantillon étudié.

La courbe cumulative permet de mettre en évidence une première série de paramètres, de laquelle tous les autres découlent. Ce sont les percentiles Q_x , points correspondants à des mailles de tamis hypothétiques sur lesquelles $x\%$ en poids du sédiment est de dimension plus grande (ou plus petite). Les valeurs d'abscisses les plus fréquemment utilisées sont 1, 5, 16, 25, 50, 75, 84, 95, 99.

II.3.5. Les paramètres de position

- La médiane ou Q_{50} est l'indice de position le plus fréquemment employé car il donne en intégrant toutes les classes granulométriques une estimation de la grossièreté moyenne du sédiment,

- Le mode qui 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) uni modale : dominance d'un seul stock sédimentaire ;
- Courbe (ou histogramme) bimodale : dominance de deux stocks sédimentaires ;
- Courbe (ou histogramme) plurimodale : dominance de plusieurs stocks sédimentaires.

II.3.6. Les paramètres de dispersion

Le plus ou moins bon classement d'un échantillon peut être connu en observant la pente de la courbe cumulative ou l'étalement de la courbe de fréquence.

Des indices permettent de mesurer ce classement, parmi eux :

II.3.6.1. L'indice de Trask ou Sorting-Index (So)

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.

Cet indice peut être exprimé comme suit :

$$S_0 = [(\phi_{84} - \phi_{16}) / 4] + [(\phi_{95} - \phi_5) / 6.6]$$

II.3.6.2. Le coefficient d'asymétrie (Sk, 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.

$$SKI = ((\phi_{16} + \phi_{84} - 2 \phi_{50}) / 2(\phi_{84} + \phi_{16})) + ((\phi_5 + \phi_{95} - 2 \phi_{50}) / 2(\phi_{95} + \phi_5))$$

II.3.7. Définitions granulométriques et classes de taille

Parmi les nombreuses classifications existantes, nous prenons en considération la classification de Folk, adoptée par l'Organisation Hydrographique Internationale (OHI) reprise dans le tableau ci-après.

Tableau n°8 : classes granulométriques selon FOLK

Galets grossier	64 mm- 256 mm
Cailloux et galets	4 mm - 64 mm
Graviers	2 mm- 4mm
Sable très grossiers	1 mm - 2 mm
Sable grossiers	0.5 mm -1 mm
Sable moyens	0.25 mm -0.5 mm
Sable fins	0.125 mm -0.25 mm
Sable très fin	0.063 mm -0.125 mm
Silts	0.004 mm -0.063 mm
Argiles	Inférieur à 0.004 mm

II.4. La modélisation numérique hydrodynamique

II.4.1. Définition

La modélisation numérique est une représentation virtuelle des phénomènes réels à partir d'algorithmes et 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 cote (mouvements dans le profile, limites d'action des houles) et parallèles à la cote (transit littoral).

II.4.2. 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 équation, 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 : caractéristique des sédiments) et des facteurs en jeu (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.

II.4.3. 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.
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.

II.4.4. Etude de la réfraction de la houle

L'étude de la réfraction de la houle a pour objet l'exploitation des caractéristiques de la houle au large pour définir les caractéristiques de la houle à la côte (direction et hauteur).

La connaissance des caractéristiques de la houle (Direction, amplitude, période) permet d'apprécier et de comprendre les phénomènes qui se produisent dans la zone de déferlement et serviront de données d'entrée pour le dimensionnement des ouvrages maritimes. **(Dahmani, 2016).**

II.4.5. Simulation numérique de la zone des Sablettes par Mike-21

II.4.5.1. Principe de la simulation par Mike21-Dhi

Le modèle numérique utilisé dans le cadre de cette étude est le **Mike21-Dhi de l'Institut Hydraulique Danois** qui est un puissant système de modélisation numérique des phénomènes physiques (houle, courant et transport sédimentaire), il permet de faire des simulations à grande échelle et d'augmenter la résolution des mailles de calculs à certains endroits du domaine simulé à l'aide de grilles imbriquées.

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

II.4.5.2. Présentation du modèle

II.4.5.2.1. Description du logiciel de calcul Mike21

Mike21 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**).

a). Le module 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 dû à l'action de la houle dans la zone de déferlement (**DHI, 2014**). Simule les variations du niveau d'eau et des écoulements en réponse à divers types de forçages. Ce modèle est utilisé principalement pour simuler de nombreux phénomènes hydrauliques dont la marée, les courants induits par le vent et la houle ainsi que les surcotes. Les courants sont calculés à partir des contraintes de radiation issues du modèle SW. Le niveau d'eau aux frontières latérales est modifié localement afin de prendre en compte la surélévation du plan d'eau dans la zone de déferlement. Les gradients de contraintes de radiations vont être à l'origine de la surélévation du plan d'eau dans la zone de déferlement et des courants de dérive littorale.

b). Le module 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, 2014**) 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, 2014).

c). Le module Sédimentologique (ST)

Le modèle du transport sédimentaire ST Simule le transport du sable sur le fond et en suspension sous l'action combinée des courants et de la houle. Dans la zone de déferlement, les courants de retour sont inclus. Le modèle est déterministe et demande un minimum de calage. Les taux initiaux de sédimentation/érosion sont calculés à l'aide de l'équation de conservation de la masse sédimentaire. Ce modèle est utilisé pour l'optimisation morphologique des ouvrages portuaires, l'impact de protection côtière et la stabilité des estuaires. Ce modèle n'utilise que le modèle STPQ3D en cas de houle et des courants combinés, il est couplé au modèle hydrodynamique Mike21/3-HD et au modèle de vagues Mike21-SW.

Les transports de sables sont déterminés par l'interpolation dans les tableaux de transport (DHI, 2014). Ces tableaux doivent être générés au préalable par « Mike 21 Toolbox » avec le choix de « génération of Q3D sédiment tables ». Ils doivent intégrer une condition quelconque de bathymétrie, courant, houle, ou sédiment prédite par le module intégré (DHI, 2014)

d). Mike21/3 FM

Le modèle couplé Mike21/3 FM comprend différents modules tels que HD, ST, et SW, etc.

Nous pouvons les choisir dans la simulation. Le modèle comprend également un couplage dynamique entre les modules HD et SW.

II.4.5.3. Etape de la modélisation par le Mike21

A l'aide du module « Mesh Generator » dans le Mike21, nous pouvons :

- Importer le trait de côte à partir des données transformées précédemment (XYZ) ;
- Importer les données bathymétriques (fichier XYZ) dans le fichier de maillage.

Système de projection : il faut choisir le système de projection pour la conception du maillage. Ce choix influence le format de l'affichage sur la carte. Les systèmes de projection des données de trait de côte et de bathymétrie peuvent être différents. Il nous faut uniformiser ces données par rapport au système choisi lors de l'importation des données dans le Mike21 (Thanos, 2015).

Système utilisé et coordonnées :

- Système géode.
- Ellipsoïde : WGS84
- Projection : UTM zone 31 Nord

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.

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 renseigne 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 qu'à la fin de chaque heure, on obtient un résultat (Output) ;
- Puis on effectue la prédiction des séries temporelles des hauteurs de marées (ou niveaux d'eau) en utilisant l'outil du Mike 21-Toolbox, cette prédiction est basée sur les constituants dérivés d'un modèle global de la marée, le fichier du résultat obtenu est utilisé comme données d'entrées pour le modèle hydrodynamique (Mike 21-HD) ;
- Puis on génère la table sédimentaire (Q3D Sediment Transport Table) qui permet de calculer les taux de transport des sédiments non cohésifs ($m^3/s/m$) en utilisant l'effet combiné des vagues et du courant, ceci pour le modèle numérique de transport de sable Mike 21-ST ;
- Enfin on termine la préparation des données de simulation en insérant la hauteur, la direction et la période des différentes houles au niveau du modèle numérique Spectral Waves (Mike 21-SW).

L'organigramme ci-après illustre l'approche méthodologique de la simulation des trois modules intégrés :

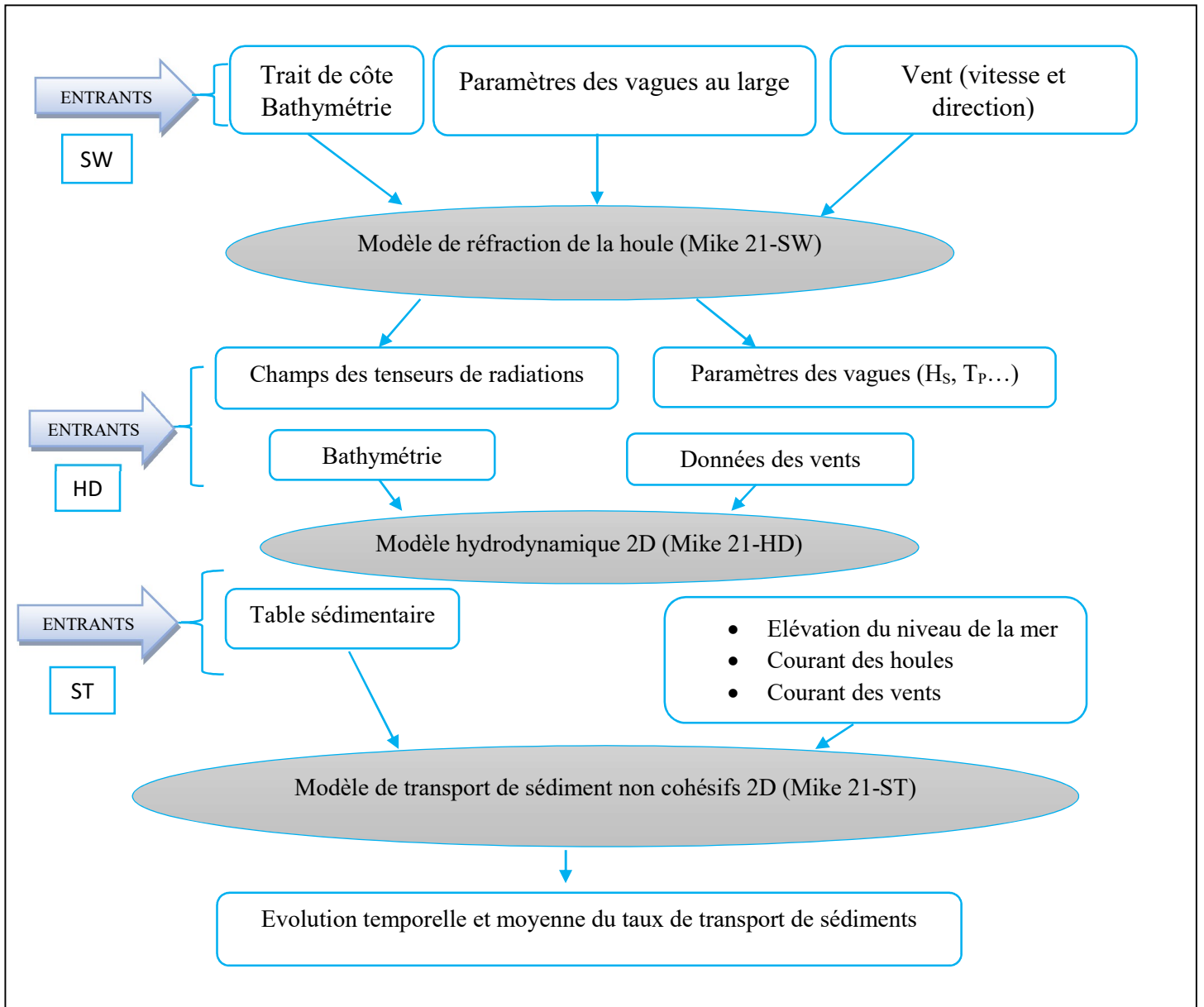


Figure n°13: Organigramme explicatif de l'approche méthodologique adoptée pour la modélisation numérique du transport sédimentaire par le logiciel Mike-21.

II.5. Modélisation physique

II.5.1. Introduction

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

II.5.2. Nécessité de la modélisation

Les ouvrages et aménagements maritimes sont généralement très coûteux, il est donc nécessaire, avant de les réaliser, de bien prévoir leur fonctionnement (**Viguié, 1992**). Lors de la mise au point du projet, il faut :

- S'assurer que les objectifs visés seront atteints (bassin portuaire bien abrité, pérennité d'une plage et / ou de l'urbanisation située en arrière par un aménagement du littoral, etc....)
- S'assurer que les ouvrages seront capables de bien résister aux actions de la mer.
- Prévoir les risques d'ensablement (et/ou d'envasement) d'un port, définir les impacts sur les fonds et littoraux avoisinants et proposer des mesures compensatoires si besoins, c'est-à-dire optimiser le projet tant au point de vue économiques, que technique, que de son impact sur l'environnement.

Les phénomènes en jeu étant très complexes, des outils ont été développés pour améliorer la connaissance des processus hydrodynamiques et sédimentologiques et pouvoir mieux étudier la conception et les impacts des aménagements maritimes. Les modèles constituent l'essentiel de ces outils. (**Al Sid Chikh, 2011**).

II.5.3. Notions fondamentales

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

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

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

II.5.4. Principe et types de modèles

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

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

A la base, les modèles reposent donc nécessairement sur une analyse des facteurs en présence et une évaluation de l'importance de chacun d'eux dans le processus général à étudier

Apport de la modélisation physique et numérique dans l'étude de l'hydrodynamisme sédimentaire : cas de l'aménagement d'une plage artificielle au niveau des sablettes

(Dalrymple, 1985). Cela est fondamental pour définir les facteurs à simuler correctement et ceux qui peuvent, dans une certaine mesure, être négligés. En effet, un modèle est forcément restrictif, il ne peut reproduire toute la complexité des phénomènes naturels. Parmi les types de modèles, on distingue **(Viguié, 1992)** :

- Les modèles réduits physiques.
- Les modèles mathématiques.
- Les modèles hybrides qui sont la combinaison des deux précédents.

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

II.5.5. Fondement des modèles réduits physiques

La définition que donne **Hugues, 1993** : un modèle physique est la reproduction d'un système physique (généralement à taille réduite) conçue de telle sorte que les forces prépondérantes qui agissent sur le système sont représentées sur le modèle en proportion convenable par rapport au système physique lui-même **(Caude, 2003)**.

Pour résumer, on rappelle que le modèle réduit physique vient au secours du concepteur pour valider son projet, vérifier les problèmes, mais aussi mettre en évidence les éventuels points faibles. Ces points concernent essentiellement l'implantation et le dimensionnement des ouvrages de protection contre l'action de la houle et des courants marins **(Al Sid Chikh, 2011)**.

II.5.6. La simulation physique

Dans le domaine de la construction, la simulation physique est appliquée pour la résolution des problèmes de type **(Samat, 2007)**

- Hydraulique des barrages : dimensionnement des évacuateurs de crue, ouvrages annexes, ouvrages de vidange de fond, de dérivation...
- Hydraulique fluviale : stabilité des berges, impact d'ouvrages sur les lits des rivières...
- Hydraulique maritimes : optimisation d'aménagements portuaires, stabilité des ouvrages de protection contre la houle et les courants.

II.5.6.1. Loi de similitude

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

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

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

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

$$F = V/\sqrt{gD}$$

Avec :

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

g : accélération de la pesanteur

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

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

Vitesse, temps : $\sqrt{\lambda}$

Volumes, masse, poids : λ^3

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

II.5.6.2. Distorsions

II.5.6.2.1. Distorsion due à la viscosité

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

$$Re = V*D/\nu$$

Avec :

V : vitesse caractéristique (vitesse orbitale célérité)

ν : Viscosité cinématique de fluide.

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

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

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

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

II.5.6.2.2. Distorsion due à la densité de l'eau

L'eau utilisée dans le modèle est douce ($\delta_w = 1000 \text{ kg/m}^3$) alors qu'elle est salée en nature, donc plus dense, dans la réalité ($\delta_w = 1025 \text{ kg/m}^3$). La masse spécifique de l'eau intervient directement dans les forces de nature inertielle, proportionnelle aux volumes et aux accélérations, ainsi que dans les poussées d'Archimède.

En fait, cette caractéristique intervient globalement sur la stabilité suivant une relation empirique (formule de stabilité d'Hudson) qui traduit les conditions d'apparition d'un certain degré de dommage.

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

$$(Q_s/Q_w - 1)$$

Avec :

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

II.5.7. Types d'étude sur les modèles réduits physiques

De très nombreuses études expérimentales ont permis d'observer les processus d'action de la houle sur différents types d'ouvrages et de dégager des formules utilisables pour pré-dimensionner un ouvrage au stade d'avant-projet. Ces formules empiriques sont insuffisantes pour optimiser le dimensionnement des ouvrages. Aussi, le coût élevé de ces ouvrages maritimes justifie-t-il toujours le recours à une modélisation qui, étant donné la complexité des interactions houle-ouvrage, est pour l'instant et probablement pour longtemps en cours du domaine des modèles réduits physiques (Caude, 2003).

II.5.7.1. Etude à deux dimensions

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

II.5.7.2. Etude à trois dimensions

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

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

II.5.7.3. Etude des évolutions des fonds : modèles sédimentologiques

Le modèle physique sédimentologique présente la particularité d'être établi sur fonds mobiles, afin de simuler la dynamique hydro-sédimentaire d'un site donné. Il produit à la fois les phénomènes hydrauliques (houles, marées, courants) et les phénomènes sédimentologiques (la reprise, le transport et le dépôt des sédiments). C'est un type qu'on peut insérer dans l'étude à 3 dimensions puisqu'il se fait exclusivement en bassin à houle.

La reproduction des mouvements de grains conduit inévitablement à l'usage d'un modèle distordu.

Un choix préalable se fait en se basant uniquement sur les dimensions du bassin, cependant les deux échelles horizontale et verticale peuvent être ajustées en comparant les données naturelles du prototype et celles théoriques du modèle.

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

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

Une étude sur modèle réduit sédimentologique comprend les phases successives suivantes : (**Viguié, 1992**) :

- Construction du modèle.
- Réglage hydraulique : reproduction des phénomènes hydrodynamiques du site (houle, marées, courants,...).
- Réglage sédimentologique : mise au point d'un cycle annuel qui est la succession schématisée des houles naturelles (hauteurs, périodes et directions) telle qu'elle a pu être observée sur le site lors d'une année moyenne, c'est-à-dire avec des périodes de tempête et des périodes de beau temps.
- Reproduction des évolutions des fonds observées par le passé (méthode historique). Cette phase est la plus importante, car elle va valider le modèle quant à sa capacité à reproduire la dynamique du site.
- Essai finaux et l'exécution du modèle.

II.5.8. Les échelles

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

II.5.8.1. Analyse dimensionnelle et système d'unités

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

II.5.8.2. Echelle non-distordue

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

II.5.8.3. échelle distordue

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

II.5.8.4. Choix de l'échelle

Le choix de l'échelle est une étape décisive qui oriente la suite de la démarche de modélisation, il doit être entrepris avec un maximum de rationalisme afin de nous rapprocher le plus possible

de la réalité. Pour cela il faut que toutes les conditions hydrauliques importantes soient prises en considération.

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

II.5.8.5. Choix des matériaux de l'ouvrage

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

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

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

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

Chapitre III : Résultats et Discussion

III.1. Etude bathymétrique

Les données des levés bathymétriques issues de la campagne de reconnaissances du LEM (2014), sont exploitées par le progiciel Mike 21, afin de réaliser la carte bathymétrique suivante :

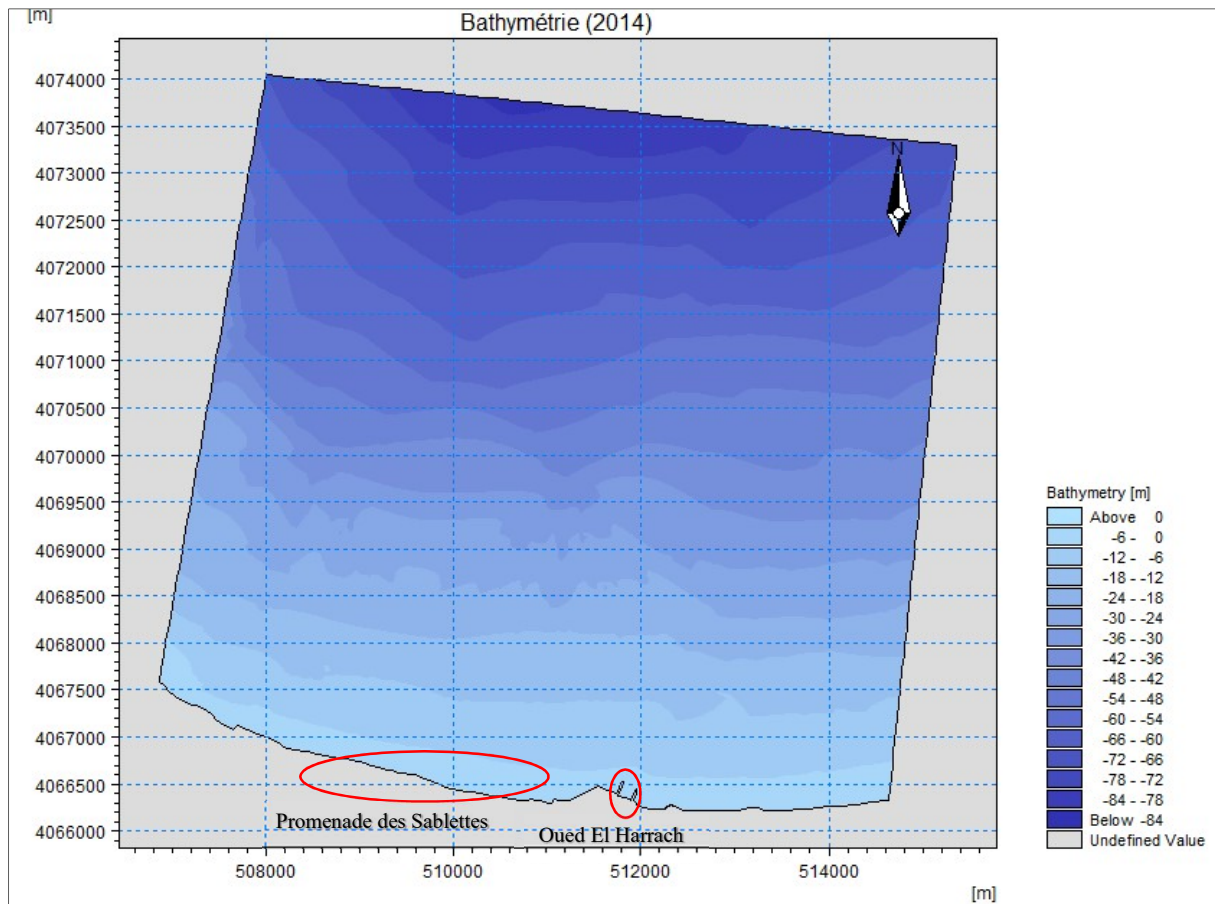


Figure n°14: Carte bathymétrique de la zone d'étude (Réalisée à l'aide du logiciel Mike21)

L'analyse de la carte bathymétrique (**Figure n°14**) révèle une morphologie sous-marine régulière dans l'ensemble, les isobathes sont parallèles à la côte, elles sont serrées à l'ouest ce qui montre une pente raide contrairement à l'est où la pente est plus ou moins douce.

III.1.2. Etude des profils bathymétriques

L'étude des profils bathymétriques consiste à étudier au mieux la géomorphologie sous-marine ce qui permet de donner une idée sur la forme du plateau continental, pour cela on a réalisé 3 profils perpendiculaires à la côte (**Figure n° 15**). Pour chaque profil, une courbe illustre respectivement les observations de l'année 2014.

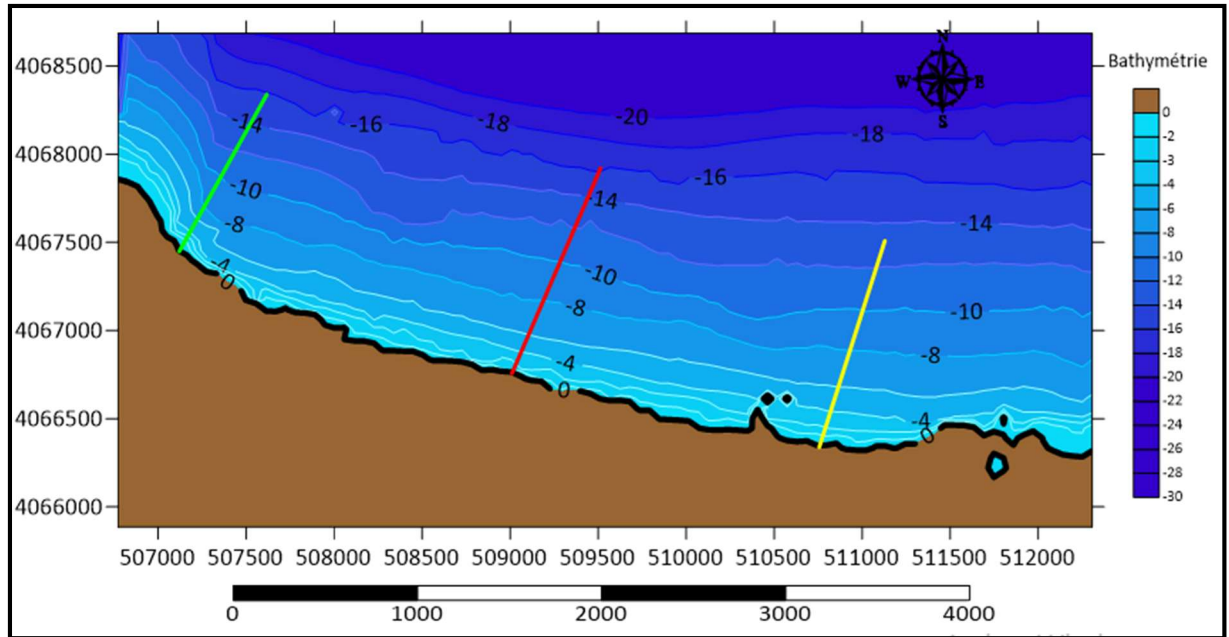


Figure n°15 : Carte bathymétrique et le tracé des profils dans la zone d'étude (Surfer 15)

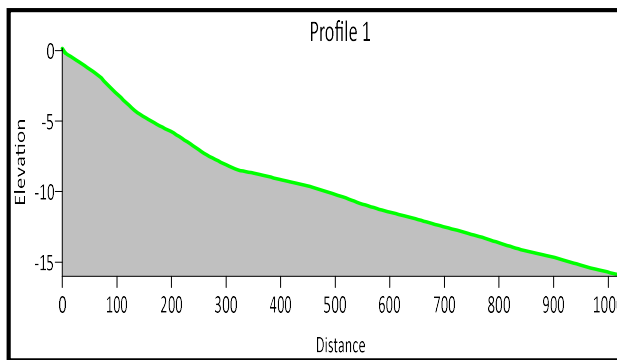


Figure n°16: profil sous-marin n°1

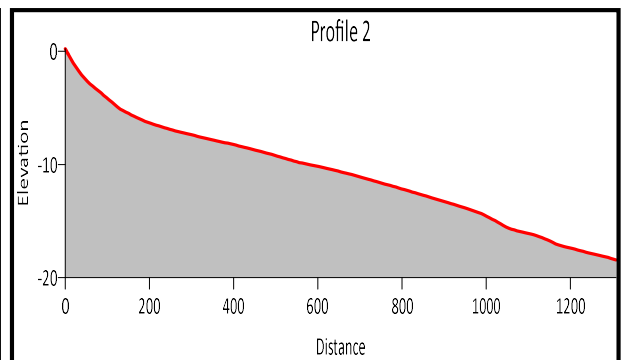


Figure n°17: profil sous-marin n°2

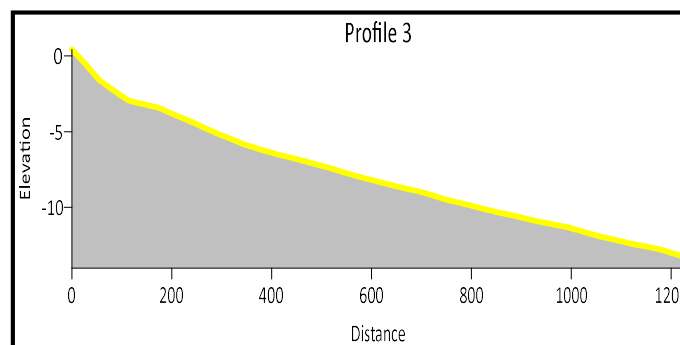


Figure n°18: profil sous-marin n°3

Commentaire

D'une manière générale, le fond marin de notre zone d'étude se caractérise par un relief régulier et étagé par endroits. L'étude des profils a mis la lumière sur une morphologie particulière caractérisée par une pente très douce à partir de -10 m de profondeur.

Profil 01 : Représente la partie Ouest du site, caractérisée par une pente raide, ce tracé semble plus ou moins régulier traduit par des courbes de niveau serrées.

Profil 02 : Représente la partie centre du site, formé par une pente abrupte jusqu'à -5m puis continue en pente douce jusqu'au large.

Profil 03 : Représente l'extrémité Est, le profil montre une pente abrupte entre zéro et -2.50m et présente une petite barre sableuse à -3.00m. Le profil dans sa partie offshore descend en pente douce vers le large.

III.2. La sédimentologie

III.2.1. Paramètre de position

III.2.1.1. Le grain moyen D₅₀ (µm)

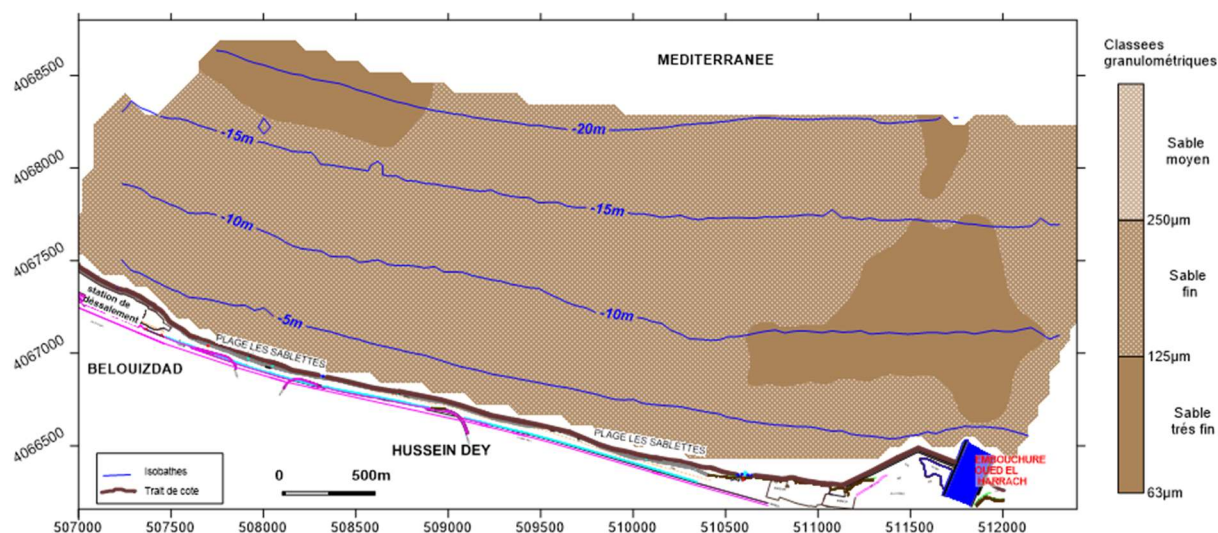


Figure n°19 : carte de la répartition des médianes (D₅₀) dans la région des « Sablettes» (LEM, 2014)

La carte ci-dessus (**Figure n°19**) représente la répartition spatiale du diamètre moyen **D₅₀** obtenue sur l'ensemble des 200 échantillons, notre zone suit une répartition relativement classique :

- Près de la côte et principalement dans la zone centrale, les grains avec le diamètre le plus grossier se concentrent.
- Vers le large la taille des grains diminue graduellement.
- Vers l'Oued El-Harrach, la carte illustre une diminution du diamètre du grain (sable très fin) à la périphérie de l'embouchure.

Le faciès sédimentaire sur l'ensemble de la zone prospectée montre une dominance des sables fins dont le diamètre moyen est de 147µm.

III.2.1.2. Analyse modale

Les histogrammes de fréquence des répartitions dimensionnelles des refus cumulés permettent de donner des indications sur le mode ou le diamètre des grains le plus rencontré dans notre zone d'étude. L'Analyse des 200 échantillons a permis de distinguer deux modes qui se répètent soit dans le même échantillon, ou bien dans des échantillons différents comme indiqué dans les échantillons témoins, N° 12 N° 88 et N° 102

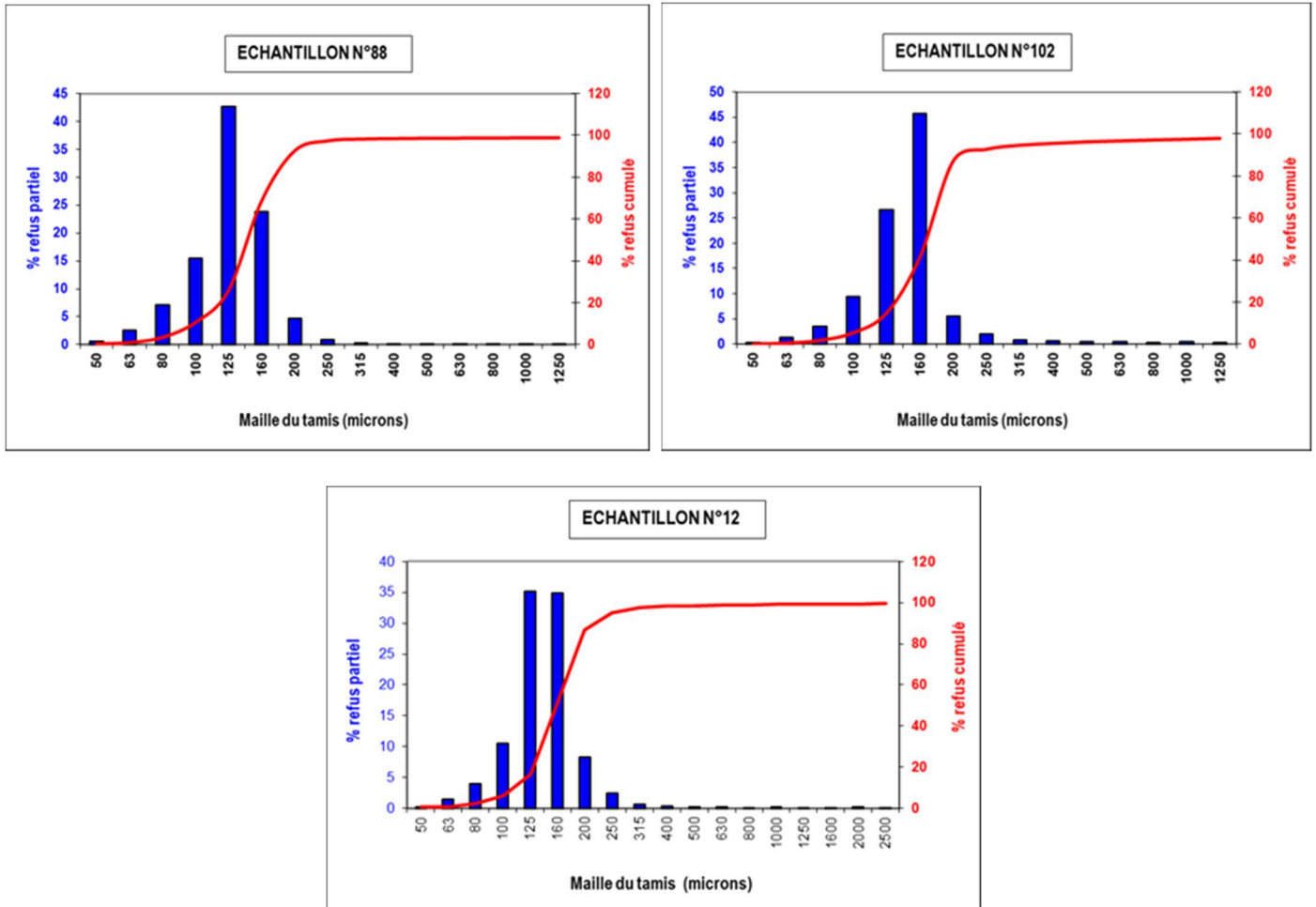


Figure n°20: Classes Modales

- Mode M1 : Il représente majoritairement la classe granulométrique 125 μm . Le mode M1 occupe un nombre important de prélèvements, en effet, on dénombre 175 échantillons sur 200, Il représente le sable fin.
- Mode M2 : Le mode M2 160 μm , est moins fréquent que le premier mode, puisque on dénombre 15 échantillons sur 200 ; il représente du sable fin à moyen.

Conclusion

Notre zone d'étude représente en général un seul stock sédimentaire représenté par du sable fin.

III.2.2. Indices granulométriques :

a) Indice de dispersion ou de classement

Le calcul de l'indice de classement S_0 se fait selon la formule suivante, le résultat obtenu est expliqué selon les différentes classes mentionnées dans le tableau ci-dessous.

$$S_0 = [(\phi_{84} - \phi_{16}) / 4] + [(\phi_{95} - \phi_5) / 6.6]$$

Tableau n°9: Interprétation des valeurs de S_0

Valeur	Classement	Interprétation (courant)
$1.00 < S_0 < 1.20$	sédiment très bien classé (homogène)	très régulier
$1.20 < S_0 < 1.60$	sédiment bien classé	régulier
$1.60 < S_0 < 2.00$	sédiment moyennement classé	peu régulier
$S_0 > 2.00$	sédiment mal classé (hétérogène)	irrégulier

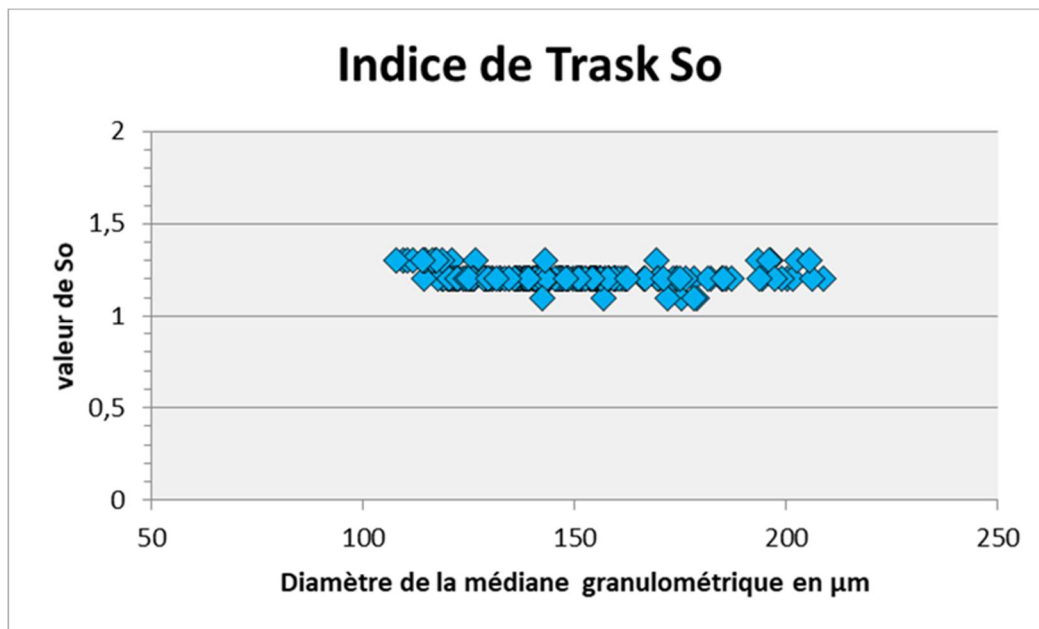


Figure n°21: Représentation graphique de l'indice de classement S_0 .

Commentaire

Dans notre cas d'étude, les valeurs de S_0 pour les échantillons traités varient entre 1 et 1.3 ce qui indique un bon à très bon classement du sédiment au niveau du site des Sablettes et donc un courant régulier selon la classification de Folk (1966).

b) Coefficient d'asymétrie

L'indice d'asymétrie S_k caractérise le degré de symétrie de la courbe par rapport à la médiane. Il indique la prépondérance, ou non, des particules fines ou grossières par rapport à la moyenne de l'échantillon. L'indice d'asymétrie (S_k) est défini par la relation suivante :

$$SK = ((\phi_{16} + \phi_{84} - 2 \phi_{50}) / 2(\phi_{84} + \phi_{16})) + ((\phi_5 + \phi_{95} - 2 \phi_{50}) / 2(\phi_{95} + \phi_5))$$

Tableau n°10: Interprétation des valeurs de Sk

Pour ce coefficient d'asymétrie ou de Skewness, les valeurs adoptées sont les suivantes :

Valeur	Asymétrie	Signification	Interprétation (intensité du courant)
Sk = 1	nulle	courbe à tendance symétrique	courant modéré
Sk < 1	positive	décalage et classement maximum vers les particules grossières.	courant fort
Sk > 1	négative	décalage et classement maximum vers les particules fines.	courant faible

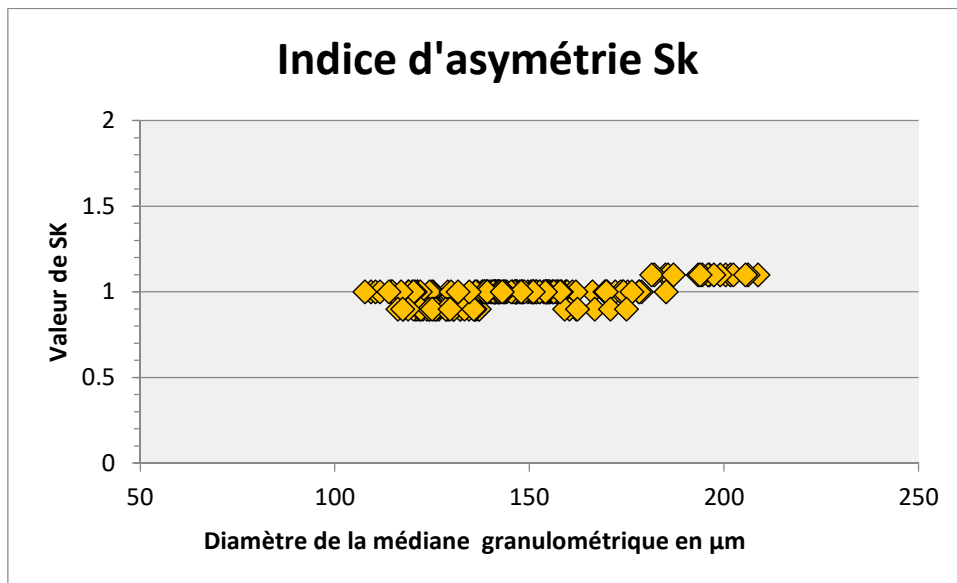


Figure n°22 : Représentation graphique de l'indice d'asymétrie Sk

Commentaire

Toutes les valeurs de Sk calculées pour les différents échantillons indiquent pratiquement les mêmes valeurs se rapprochant de 1, ce qui se traduit par un grano-classement régulier dans notre zone d'étude.

Les résultats des paramètres granulométriques rejoignent ceux de l'analyse modale, et confirment la nature du fond marin qui représente un fond régulier avec une bonne répartition des sédiments représentant du sable fin. Les résultats de cette expertise sédimentologique ont été utilisés comme données d'entrée dans notre modèle de calcul de transport sédimentaire ST de la suite logicielle de Mike 21 FM. Un sable de diamètre médian 0.322 mm, d'écart type δg 1.54 et de porosité 0.4 est considéré sur l'ensemble du modèle.

III.3. Aménagement et dimensionnement de la grande plage artificielle des sablettes

III.3.1. Introduction

L'étude de l'avant-projet Sommaire et notamment l'étude technico-commerciale permet de choisir la variante la plus adéquate, cependant, la conception de cette dernière est mise à l'épreuve lors des essais en modèle réduit physique, quant à sa stabilité, aux franchissements et l'**impact des houles sur la plage artificielle** (objet de notre étude).

En premier lieu, nous rappelons les principes de la création d'une plage artificielle, puis en deuxième lieu nous détaillons l'aménagement de l'ouvrage qui abritera la nouvelle grande plage des Sablettes.

III.3.2. Définition du rechargement artificiel

Le rechargement des plages ou d'avant-plages constitue une technique qui s'est largement développée depuis les années 1980 et qui est aujourd'hui considérée, comme une approche efficace de lutte contre l'érosion côtière ou la création de nouvelles plages pour promouvoir le tourisme balnéaire. Le rechargement consiste alors à compenser de manière artificielle le déficit sédimentaire du littoral.

La mise en œuvre de cette opération dépend étroitement des éléments suivants :

- Granulométrie et volumes des matériaux de rechargement ;
- Choix de la zone d'emprunt source des sédiments ;
- Méthode et Matériel requis pour la mise en œuvre.
- Fréquence des entretiens périodiques.

Le succès d'un rechargement dépend de la granulométrie du sédiment d'emprunt par rapport à la taille des grains du sédiment naturel de la plage, mais aussi du type de la plage et des ouvrages de protection conçus pour son aménagement.

Le volume à mettre en jeu dépend des caractéristiques locales du projet (pente de la plage, largeur et longueur de rechargement, etc.),

III.3.3. Classification des plages artificielles

Les plages artificielles peuvent être classées en trois grandes catégories :

A. Les plages semi artificielles

Ce sont des plages naturelles modifiées par la création d'ouvrages destinés à augmenter les dépôts de sédiments en certains endroits.

B. Les plages artificielles à éléments meubles naturels

Ce sont des plages créées de toute pièce avec des sédiments naturels provenant de sablières ou d'autres plages et maintenus en place par des ouvrages.

C. Les plages artificielles à éléments meubles artificiels

Ce sont des plages créées de toute pièce avec des sédiments obtenus par concassage de roche de dureté moyenne et maintenue en place par des ouvrages.

III.3.4. Différents profils de plages artificielles

Plusieurs familles de plages artificielles peuvent être distinguées en fonction de leur mode de création et de leurs conditions environnementales.

a. Profil sans ouvrages de pieds

C'est le profil le plus économique qui est à utiliser chaque fois que les fonds naturels ne descendent pas trop vite et qu'un soubassement en matériaux de petit calibre peut être édifié (généralement au bulldozer)

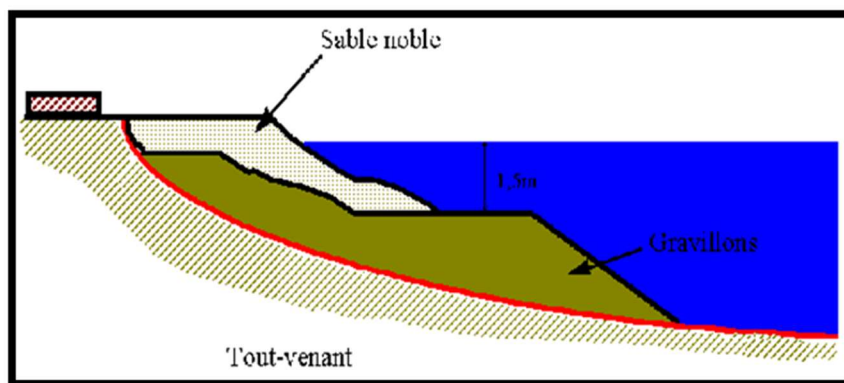


Figure n°23: Profil sans ouvrages de pieds

b. Plage à butée de pieds

Lorsque les fonds descendent rapidement, les matériaux rapportés doivent être buté par un cordon d'enrochement ; celui-ci, construit par le clappage de chaldans est arasé à -3 m environ. Ce type d'ouvrage nécessite un important équipement génie civil. Ce type de plage artificielle n'est pas économique.

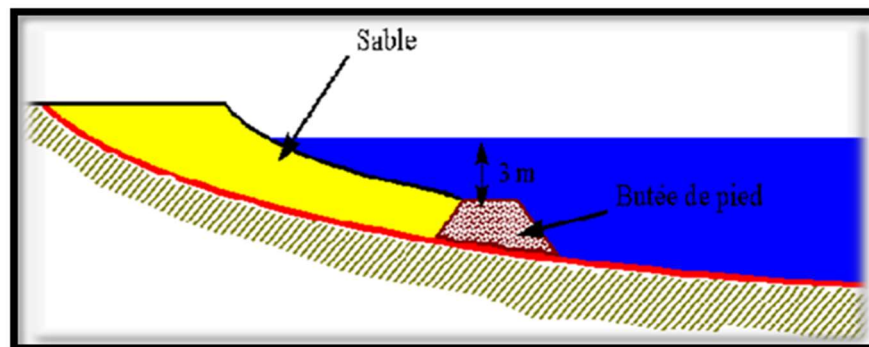


Figure n°24: Plage à butée de pieds

c. Plage suspendue

Lorsque la pente naturelle est trop importante, il convient de réaliser une plate-forme sous-marine en tout venant de carrière, butée en pied par un cordon d'enrochements. L'ensemble est arasé aux environs de 1.5 à 2 mètres au-dessous des plus basses mers. Il est recouvert d'un lit de sable fin en haut de plage et dans la zone intertidale.

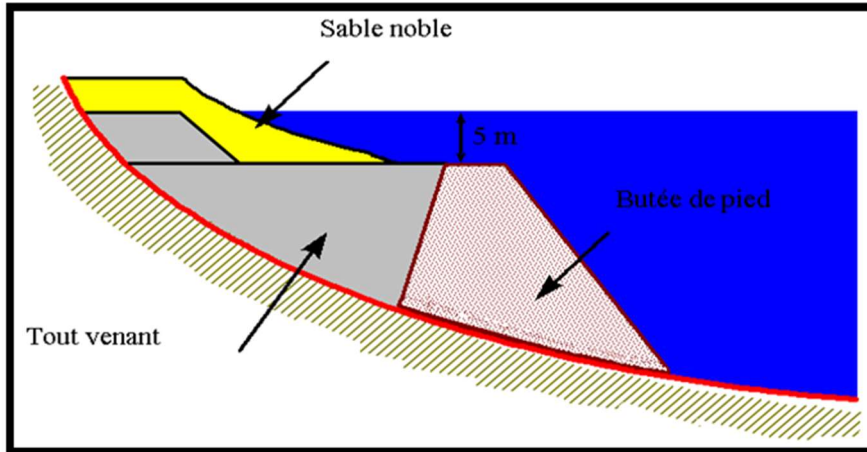


Figure n°25: Plage suspendue

d. Plage protégée par un brise lame continu ou discontinu

Dans les mers à marées, les plages artificielles peuvent être construites à l'abri d'un brise-lames qui arrête la houle. Il est arasé à la côte du mi marée afin d'arrêter la houle de basse mer et de faire déferler la houle de haute mer.

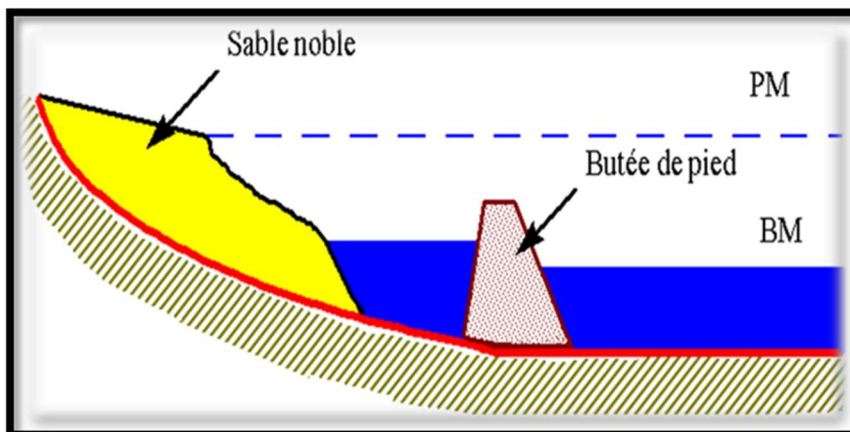


Figure n°26: Plage protégée par un brise lame continu ou discontinu

III.3.5. Exposition des plages artificielles à la houle

Le manque d'exposition à la houle engendre la déposition de matériaux fins sur le petits fonds et l'estran, et cela même dans les cas où les plages ont été créées à partir de sable propre. Au fil du temps, ceci entrainera le dépôt de sédiments vaseux, une mauvaise qualité des plages et apparition d'algues marines, ce qui rend ces plages très peu attractives.

III.3.6. Dimensionnement de la plage

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

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

$$L_m > 15 \text{ à } 20 \text{ m}$$

Les baigneurs ne doivent pas pouvoir entrer involontairement en contact avec le soubassement de la plage mais seulement avec le lit de sable. Ils doivent donc perdre pied avant d'arriver à l'extrémité du lit de sable qui se trouve à la hauteur **H_m**.

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

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

$$S > N s$$

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

III.3.7. Caractéristiques du sable d'emprunt

Caractéristiques des matériaux utilisés dans le rechargement des plages, sable d'emprunt :

- Qualité chimique bactériologique bonne semblable au sable local.
- Plus grossier de 0.3 mm
- Teneur en sable grossier et coquille < 3%
- Teneur en sable fin 1-2 %.

III.3.8. Description de l'ouvrage

La variante retenue comprend deux épis en arc et une plage artificielle (rechargement).

III.3.8.1. Epi en arc

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

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

Ainsi, ces ouvrages en forme d'Arc peuvent constituer une solution adéquate pour notre site d'étude.

Les tableaux ci-dessous résument les détails des dimensions de chaque partie de l'ouvrage :

III.3.8.2. Deux épis Ouest et Est

Les deux épis ont un linéaire différent, l'épi ouest se prolonge sur un linéaire de 175ml dont 115ml est la partie courante, et celui de l'est de 210ml dont 150ml partie courante, les deux épis sont composés de :

Coté plage	Coté large
<ul style="list-style-type: none"> Un talus intérieur en enrochement (1-3) t en deux couches arasées à -0.95m et un talus de 3/2, elle repose sur un tapis en TVC 1-500kg avec une berme de 5.00m ; Une berme en enrochement 3-6t arasée à +1.20m, cette dernière repose sur une couche filtre en enrochement 0.5-1t arasée à -0.20m. 	<ul style="list-style-type: none"> Filtre en 2 couches en enrochement 0.5-1t de 3/2 de pente, arasé à +1.20m Une carapace en enrochement (3-6) t en deux couches avec une berme de 12m, arasées à +3.30m et un talus de 3/2, elle repose sur un tapis en TVC 1-500kg avec une berme de 5.00m ; Une butée en enrochement 1-3t avec 5m de berme et une pente de 3/2, arasée à -1.90m Une dalle de roulement de 8.00m de largeur et 1.90m d'épaisseur qui repose sur le noyau avec une cote de +3.10m. Un muret de 0.5m d'épaisseur arasé à +3.90m.

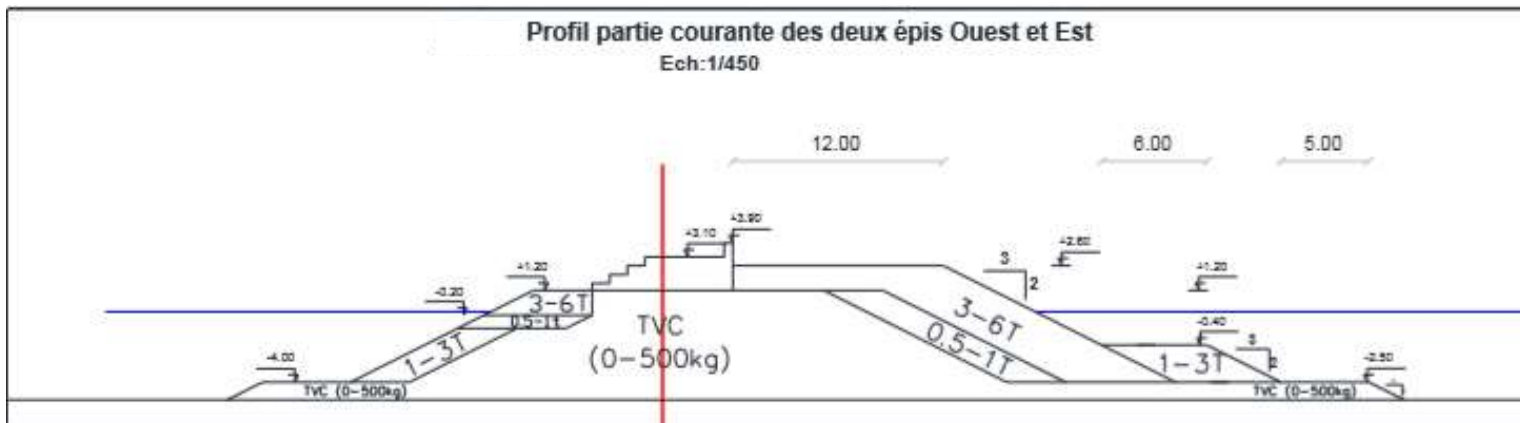


Figure 27: Profil partie courante des deux épis Ouest et Est

III.3.8.3. Le musoir

Constitué d'un noyau en TVC (1 - 500) kg arasé +1.20m protégé de part et d'autre, par :

- Filtre en 2 couches en enrochement 0.5-1t de 3/2 de pente, arasé à +1.20m ;
- Deuxième Filtre en 2 couches en enrochement 1-3t de 3/2 de pente, arasé à +3.30m ;
- Une carapace en enrochement (3-6) t en deux couches arasées à +3.30m avec une berme de 10.10m et un talus de 3/2, elle repose sur un tapis en TVC 1-500kg avec une berme de 5.00m ;
- Une butée en enrochement 1-3t et 5m de berme avec une pente de 3/2, arasée à -1.90m
- Une dalle de roulement de 8.00m de largeur et 1.90m d'épaisseur qui repose sur le noyau avec une cote de +3.10m.

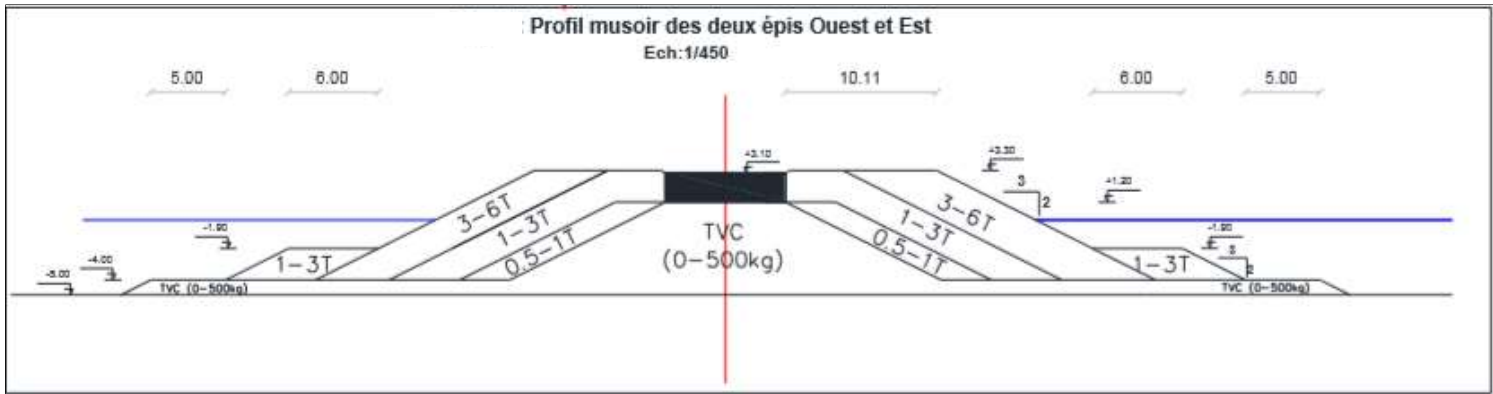


Figure 28: Profil musoir des deux épis Ouest et Est

III.3.8.4. Enracinement (60ml pour l'épi Ouest et épi Est)

Coté plage	Coté large
<ul style="list-style-type: none"> Un talus intérieur en enrochement (0.5-1) t en deux couches arasées à +1.20m et un talus de 3/2, il repose sur un tapis en TVC 1-500kg avec une berme de 5.00m ; 	<ul style="list-style-type: none"> Filtre en 2 couches en enrochement 0.5-1t de 3/2 de pente, arasé à +1.20m Une carapace en enrochement (1-3) t en deux couches avec une berme de 3.85m, arasées à +3.30m et un talus de 3/2, elle repose sur un tapis en TVC 1-500kg avec une berme de 5.00m ; Une butée en enrochement 1-3t avec 5m de berme et une pente de 3/2, arasée à -1.90m Une dalle de roulement de 8.00m de largeur et 1.90m d'épaisseur qui repose sur le noyau avec une cote de +3.10m. Un muret de 0.5m d'épaisseur arasé à +3.90m.

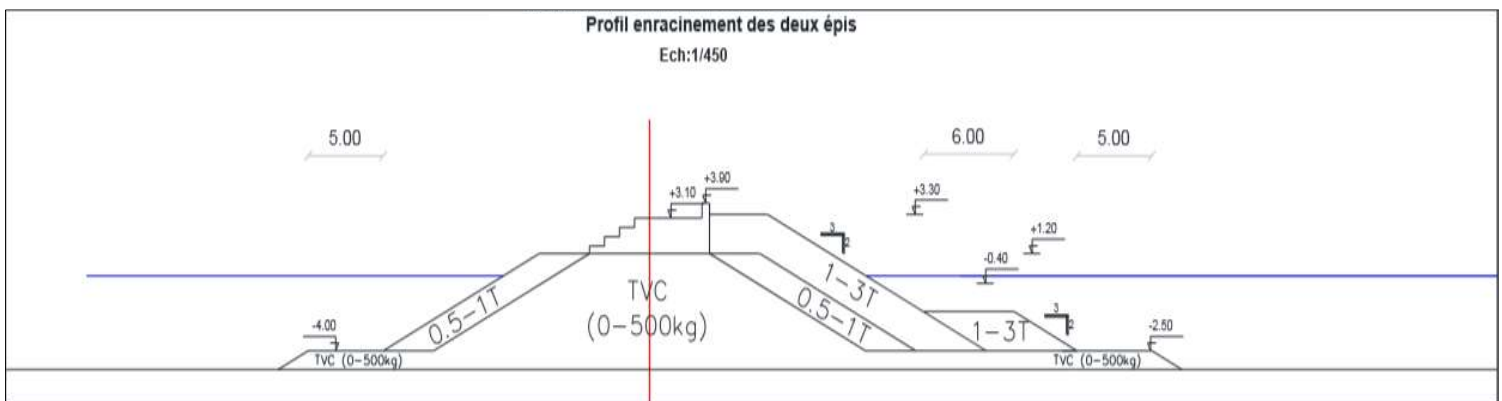


Figure 29: Profil enracinement des deux épis

III.3.8.5. Rechargement Grande plage (Plage artificielle)

Plage	Butée
<ul style="list-style-type: none"> 1ère couche : Un noyau en TVC (1 - 500) kg arasé à -1.50m avec une berme de 12m et au-delà une pente de 5% qui se prolonge jusqu'à la butée ; 2ème couche : Constituée de granulats (3-8mm) de 2.50m d'épaisseur, elle commence par une berme de 12m et au-delà une pente de 5% qui se prolonge jusqu'à la butée ; 3ème couche : Constituée de sable (0.3-1mm) de 1.00m d'épaisseur, elle commence par une berme de 12m et au-delà une pente de 5% qui se prolonge jusqu'à la butée. 	<ul style="list-style-type: none"> Une butée en enrochement 3-6t à l'extrémité de la plage avec 10.00m de berme et 3/2 de pente arasée à -1.65m ; Une couche en enrochement 1-50kg de 1.00m d'épaisseur derrière la butée avec 2.25m de berme arasée à -1.65m, elle repose sur un tapis en TVC 0-500kg avec 5.00. Deux couches en enrochements 1-3t situées derrière la couche en enrochement 1-50kg arasée à -1.65m, avec 6.50m de berme et 3/2 de pente.

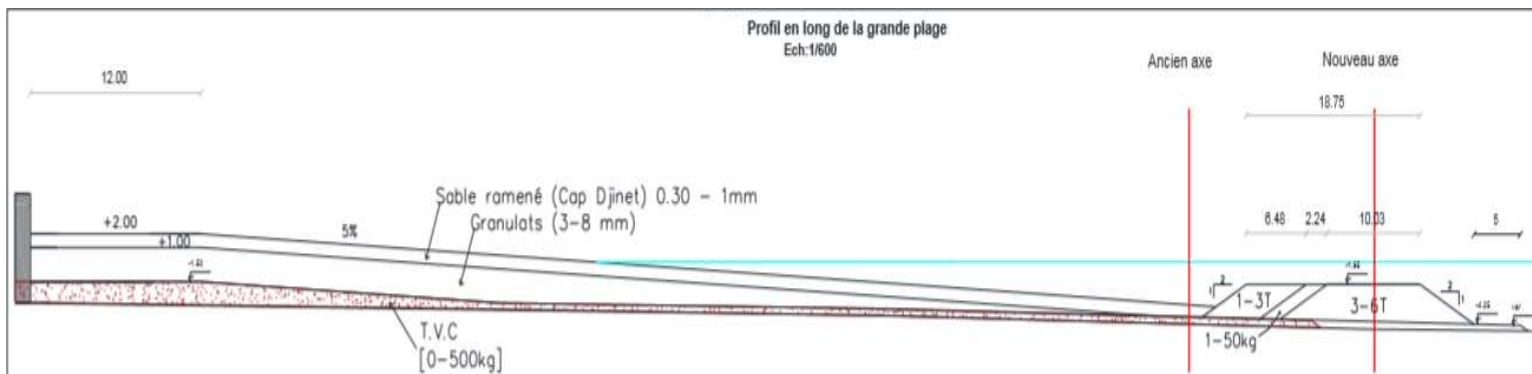


Figure n°30: Profil en long de la grande plage artificielle

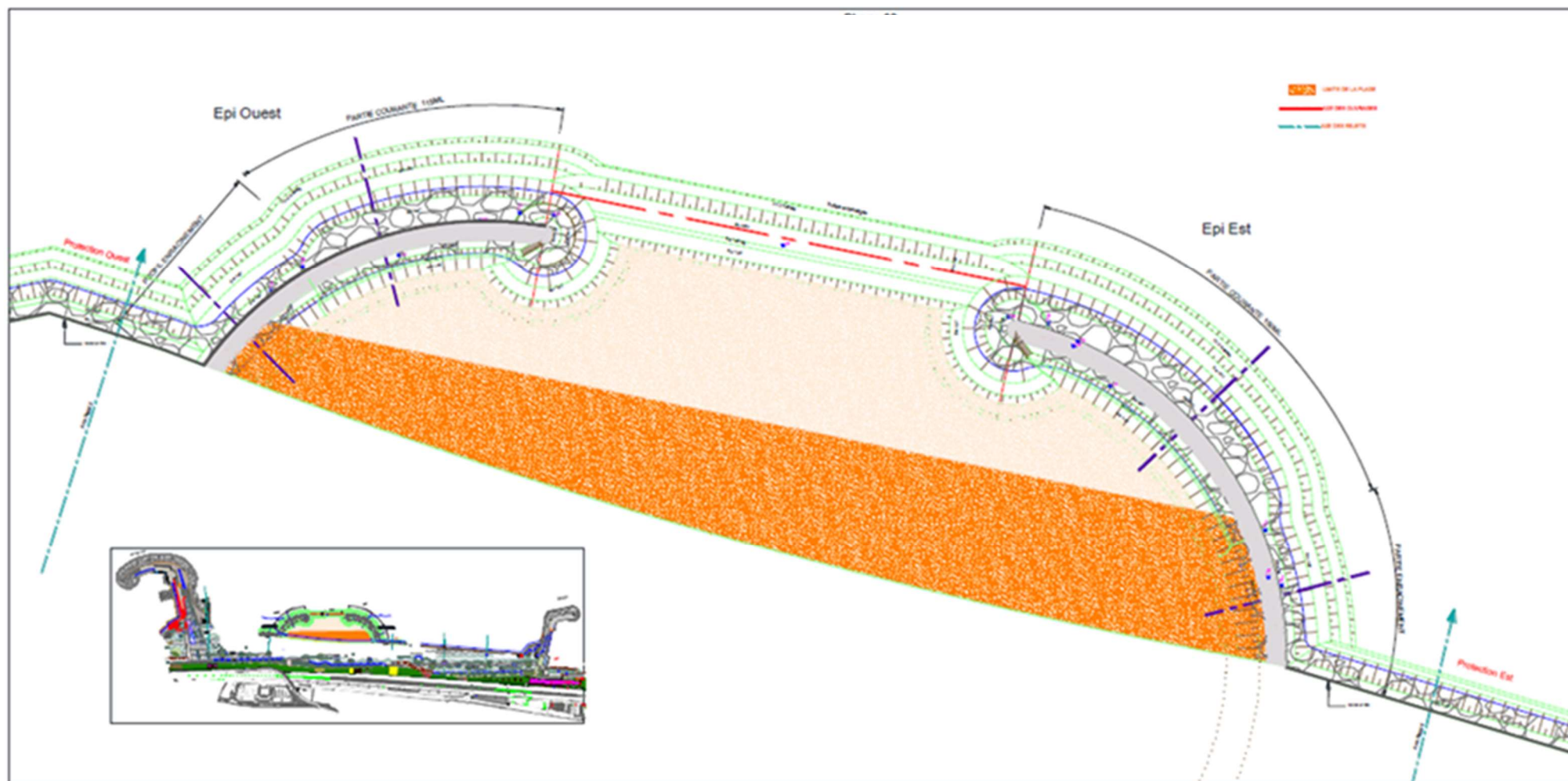


Figure n°31 : Schéma représentant le plan de masse de la grande plage artificielle des Sablettes

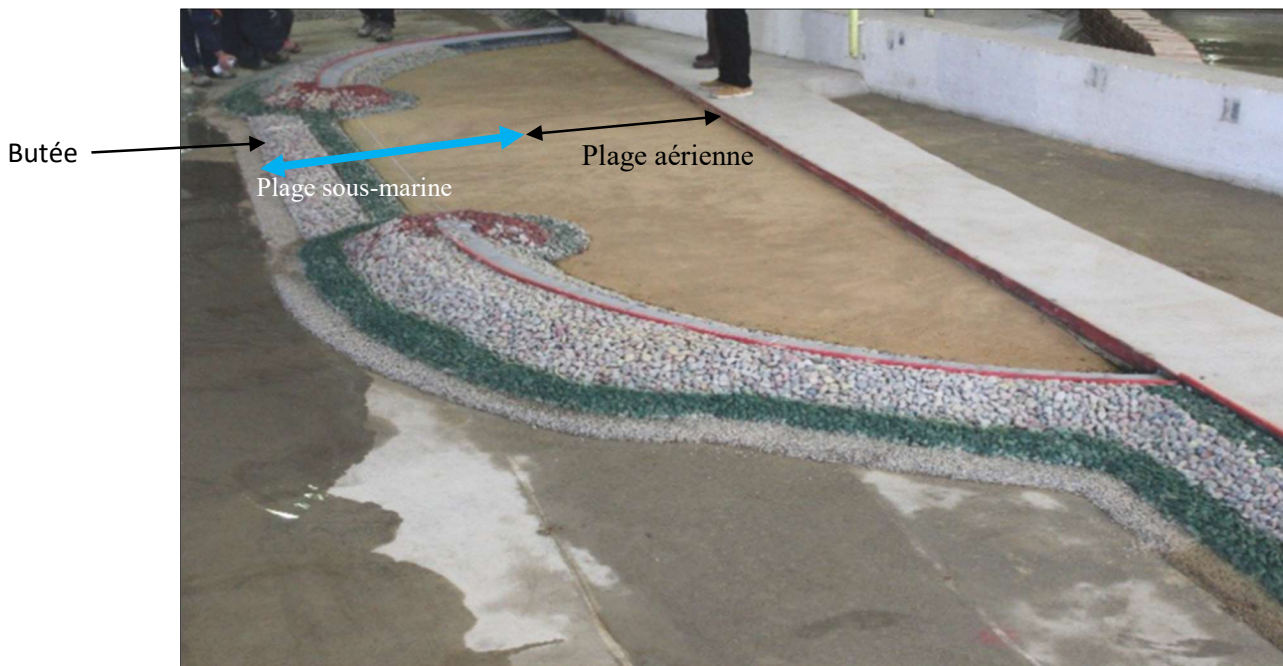


Figure n°32 : Images illustrant la maquette de la construction de la plage artificielle en bassin à houle

Conclusion

Notre plage est donc une plage artificielle à élément meuble naturel, dont la largeur est de 12m. Elle est de type plage avec butée de pied protégée par des ouvrages sous forme d'épis en Arc.

III.4. Modélisation numérique de la dynamique hydro sédimentaire

L'approche de la modélisation numérique déjà expliquée dans le chapitre II (matériels et méthodes), va se diviser en deux étapes :

1^{er} étape : Détermination du climat de houle au niveau de la baie d'Alger en utilisant le modèle SW, l'objectif étant de simuler la réfraction de la houle par les variations des profondeurs.

2^{ème} étape : Extraction des données de réfractions obtenues lors de la première étape pour procéder à une nouvelle modélisation numérique plus centrée sur l'ouvrage de la plage artificielle des Sablettes, en intégrant les différents modules et paramètres physiques régnants (houle, trajectoire et vitesse des courants, transport sédimentaire, changement du fond marin) au pied de l'ouvrage.

III.4.1. 1^{ère} étape : Données de base pour la modélisation numérique de la houle dans la Baie d'Alger

Dans le but d'obtenir des résultats précis et de pouvoir interpréter et suivre réellement le comportement de la houle avant et après l'installation de notre ouvrage, il est nécessaire d'utiliser des données fiables qui consiste en :

- Données bathymétriques
- Conditions météorologiques et climats de houle
- Données du niveau d'eau

III.4.2. Données bathymétriques

La bathymétrie utilisée pour cette étude de réfraction est celle réalisée par le LEM en 2014 dans le cadre de l'étude de protection et d'aménagement de la promenade des Sablettes, cette bathymétrie a été complétée par la carte SHOM N°3030 de 1928, qui couvre la zone centre d'Alger – Cherchell.

III.4.3. Climats de houle

III.4.3.1. Choix du secteur et données de 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 du large.

Ainsi trois 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 de houle (360°N)
- Une direction de houle (45°)
- Une direction de houle (315°)

Les données de houle annuelle ont été choisies pour forcer le modèle hydrodynamique, et les données de houles cinquantenales ont été utilisées pour le dimensionnement des ouvrages de protection (épis de clôture et butée).

III.4.3.2. Données de houle au large

Tableau n°11 : Caractéristiques de la houle annuelle et ciquantennale au large (LEM, 2016)

période	Direction de la houle au large		
	Nord-Ouest (315°)	Nord (360°)	Nord-Est (45°)
6s	1.1m	1.00m	1.09m
8s	2.64m	2.67m	2.56m
10s	4.53m	4.92m	5.05m
50ans	6.56m	7.87m	7.53 m

III.4.4. Données relatives au niveau de la mer et au marnage

Le marnage n'a pas été pris en considération lors de la configuration des différents modules de simulation intégrés dans le système du Mike 21, car notre zone d'étude est caractérisé par une cote micro-tidale, le marnage y est donc insignifiant (la différence entre la haute et la basse marée est de 8 à 20 cm).

Le niveau de la mer qui a été retenu pour la simulation est le zéro, les valeurs de la surcote entretenue sont prises comme une constante qui est égale à 0.34.

III.4.5. Simulation numérique sur Mike 21 coupled model/FM (Modèle d'ensemble-1^{er} étape)

L'objectif de cette étude de réfraction de la houle est de déterminer les points d'extractions de la valeur de Hs à -15m afin d'étudier plus en détail le site des Sablettes, et pouvoir ainsi calibrer le modèle numérique avec le modèle physique.

Un mesh file a été créé avec des éléments de maillage serrés (12000 éléments) à proximité de la côte afin d'avoir le plus d'informations à son niveau, mais aussi pour exploiter au mieux les données bathymétriques (Figure n°33).

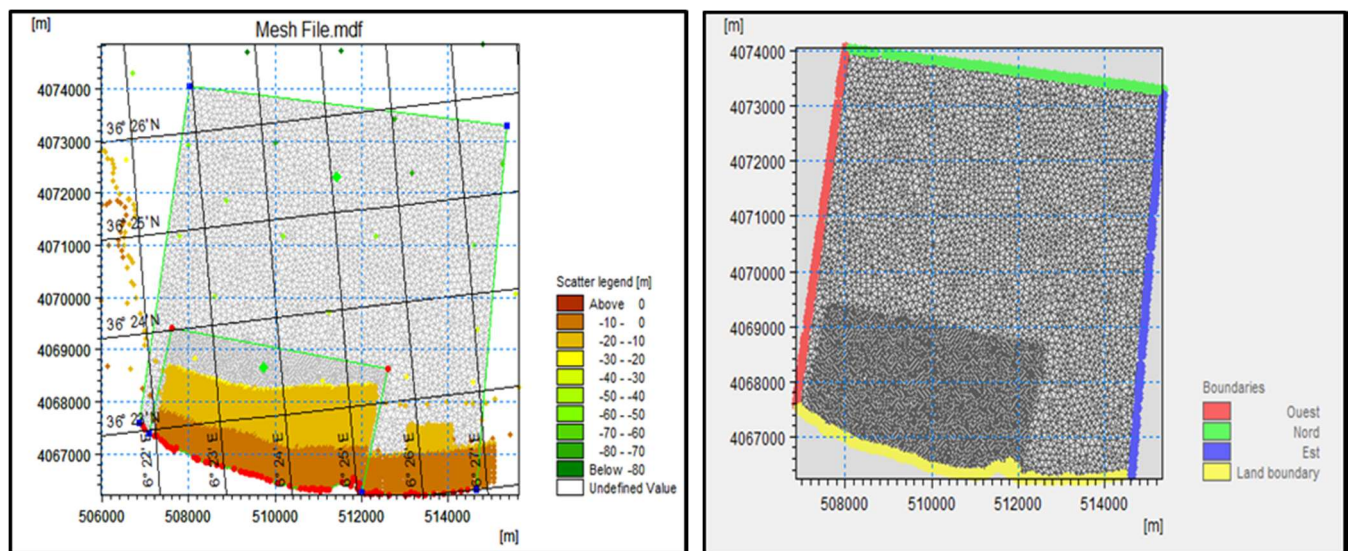


Figure n°33: Mesh file utilisé pour la simulation à l'état initial (Réalisé par Mike21)

III.4.6. Résultat de simulation

Le modèle a concerné 3 directions dominantes, houles de secteur Nord (360°N), Nord-Est (45°N) et Nord-Ouest (315°N).

Les résultats de la simulation numérique pour l'étude de la réfraction de la houle (Spectral Wave) sont représentés ci-après figures.

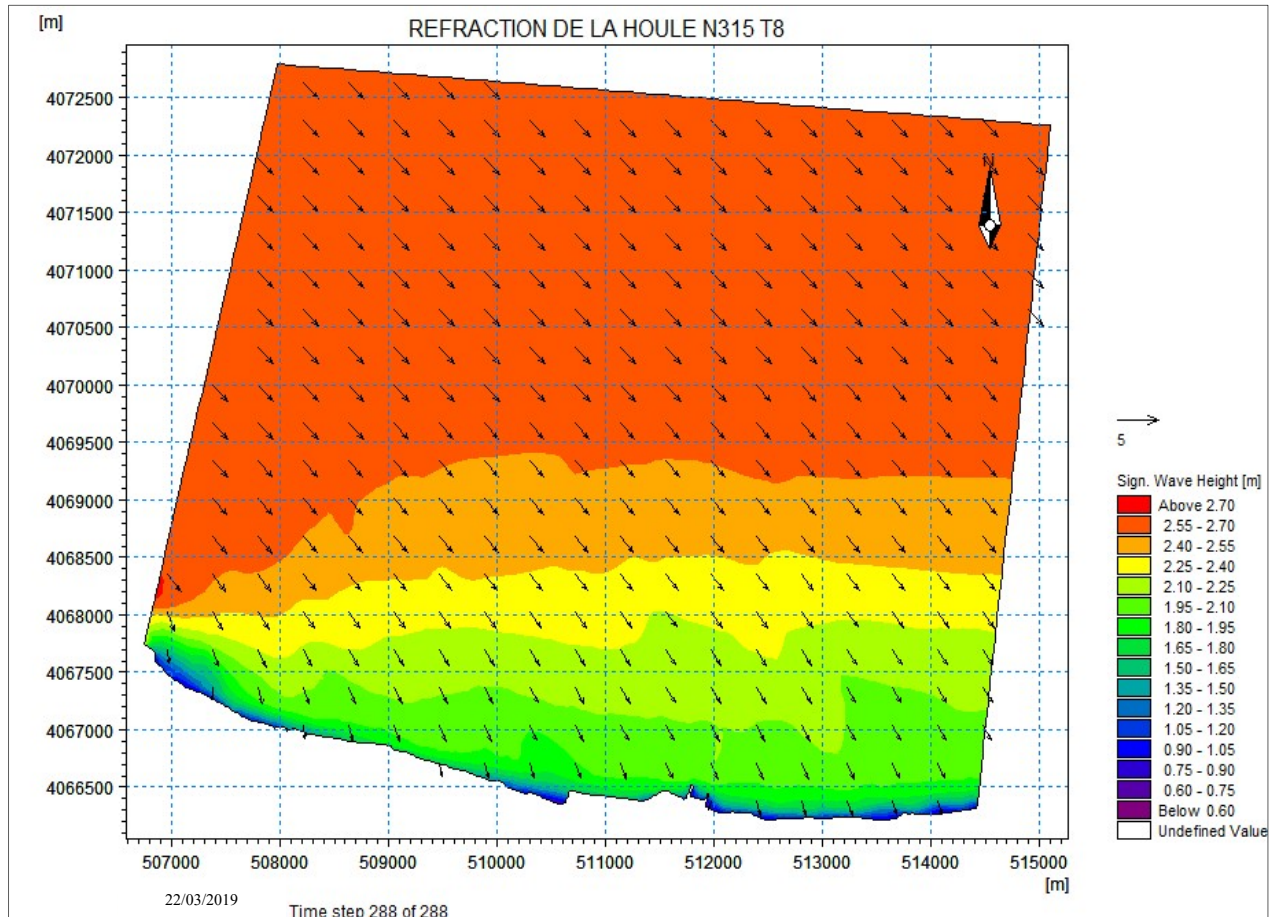


Figure n°34 : Carte représentant la réfraction de la houle (spectral wave, SW N315. T8) dans le secteur Nord-Ouest

L'étude de la réfraction réalisée grâce au logiciel Mike 21, à partir d'une houle annuelle du Secteur Nord-Ouest, démontre une diminution de l'énergie de la houle par réfraction. En effet, les hauteurs annuelles de cette houle atteignent les 2.70m au large pour une période $T=8s$, la propagation de cette dernière se traduit à l'approche du rivage par une modification de ses caractéristiques à savoir une diminution de la hauteur de la houle qui atteint les 1.5 m ainsi qu'une déviation de l'angle d'incidence (phénomène de réfraction).

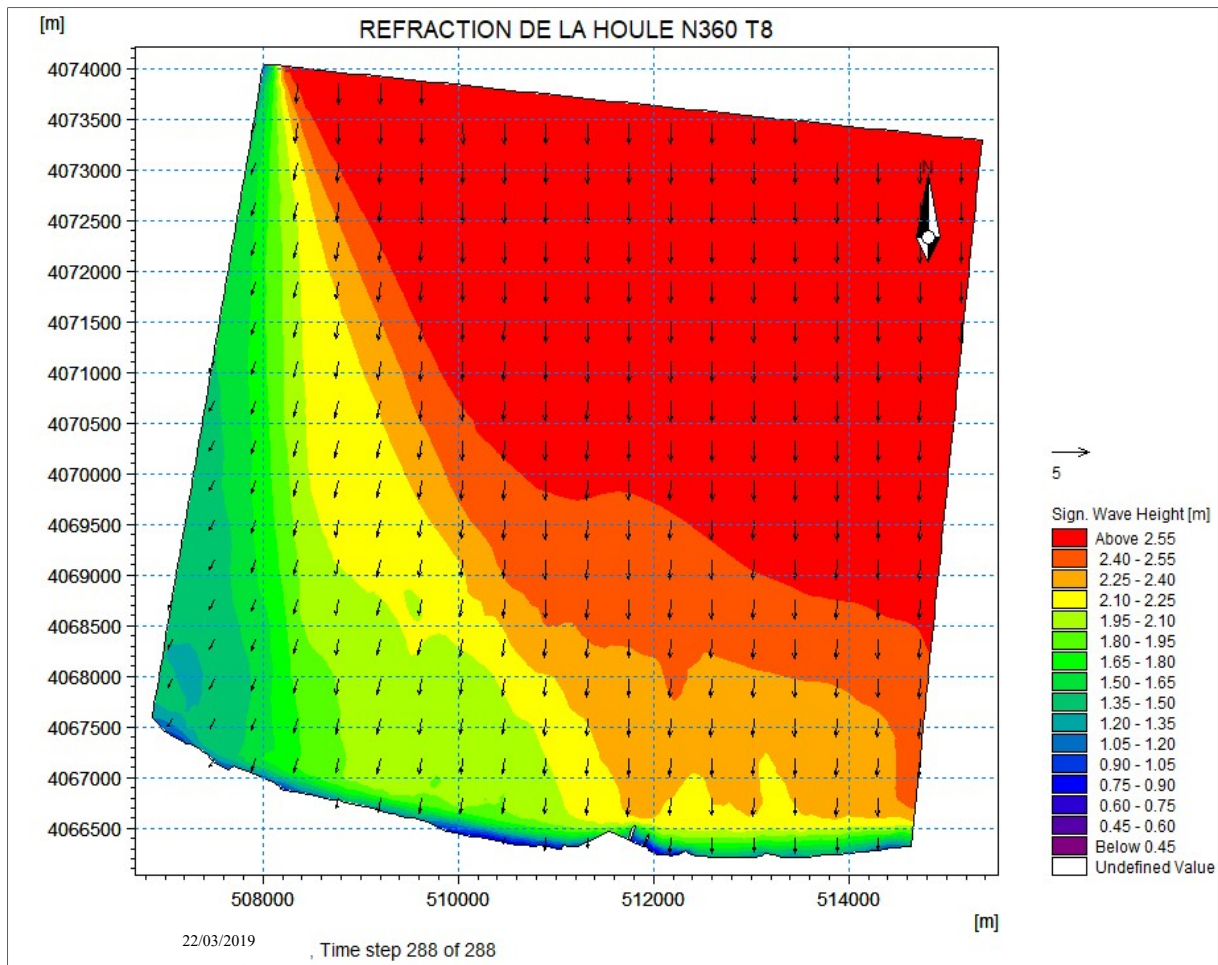


Figure n°35: Carte représentant la réfraction de la houle (Spectral Wave, SW N360.T8) dans le secteur Nord

La houle frontale de secteur nord enregistre, également, des hauteurs de houles qui dépassent les 2.55m au large et qui atteignent le rivage avec le même angle d'incidence et une hauteur significative en diminution dont la valeur moyenne est de 1.35 m.

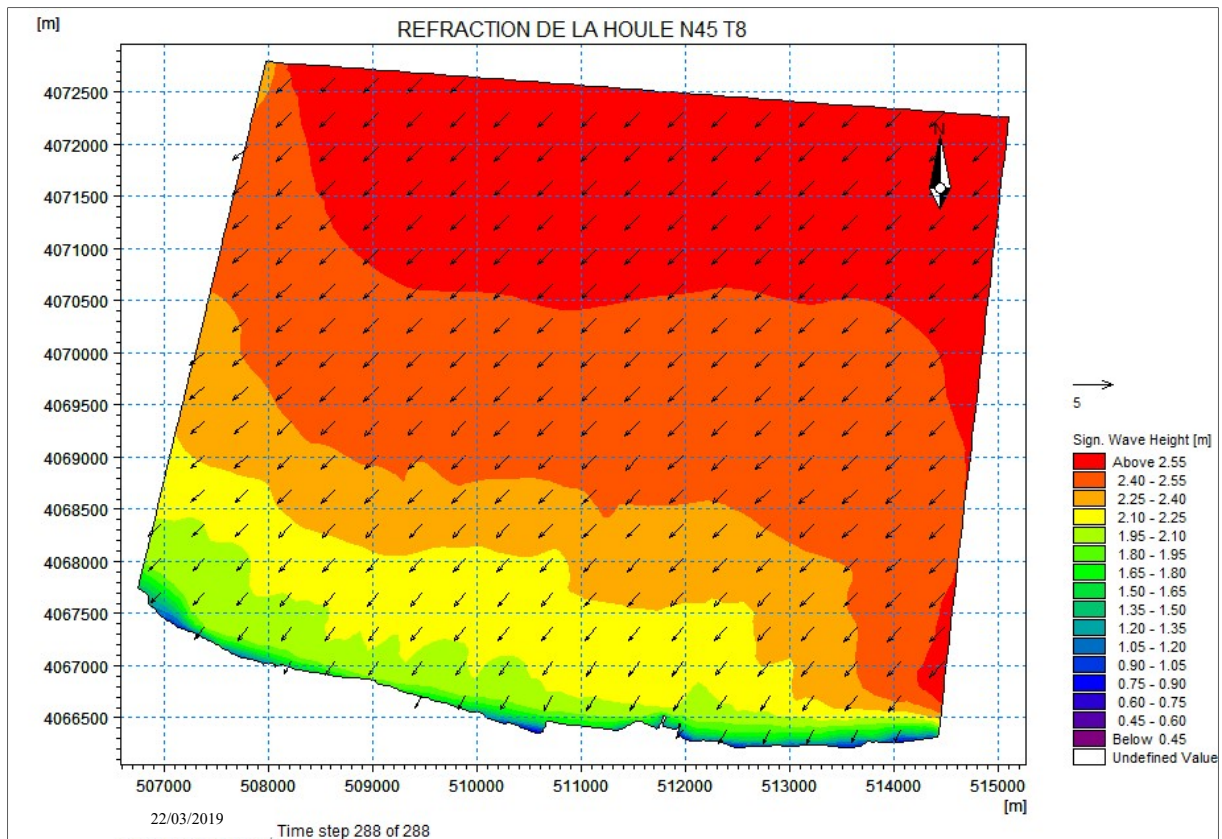


Figure n°36: Carte représentant la réfraction de la houle (Spectral Wave, SW N45.T8) dans le secteur Nord-Est

La houle de secteur Nord Est, aborde la baie d'Alger avec des hauteurs importantes au large, qui dépassent les 2.55m, cependant, on observe une houle conséquente de 1.65m au rivage des Sablettes avec une déviation dans l'angle d'incidence (réfraction).

Synthèse

En synthétisant les résultats observés, il en ressort que les houles issues de la direction Nord-Ouest (N315°) sont les plus réfractées, cela dénote que ces houles perdent en moyenne 50% de leurs amplitudes du large et donc de leurs énergies en arrivant à -10m de profondeur.

Les houles du secteur Nord (N360°) présentent des angles d'arrivées presque inchangées par rapport à celle du départ. Ils sont du coup les moins réfractées Ils gardent une partie importante de leurs amplitudes du large.

Enfin, les houles issues du Nord-Est (N45°) qui, à priori, affectent plus cette partie occidentale de la baie d'Alger que la partie orientale (à l'Est) d'où l'importance de les prendre en considération d'autant plus que leurs amplitudes sont très proches.

III.4.7. 2^{ème} étape

III.4.7.1. Points d'extraction de la réfraction de la houle

Les points d'extractions ont été élaboré à l'aide du module numérique spectrale Mike 21-SW dans le but d'extraire les hauteurs de houle réfractées aux points considérés à -15m de profondeur, en introduisant les coordonnées de chaque point, afin d'obtenir les résultats graphiques de la réfraction

Le tableau, ci-après, représente les résultats de l'extraction des houles annuelles les plus fréquentes (T= 8s) après réfraction qui influence au plus le linéaire côtier de notre site d'étude avant et après aménagement :

Tableau n°12 : caractéristique de la houle annuelle de periode T=8s après réfraction

Tp	Direction de la houle	Hs	Angle après réfraction	Hs
8 s	N360	2.67m	N 360	2.47
8 s	N315	2.64m	N 340	1.39
8 s	N45	2.56m	N 20	2.20

Ces données de houle sont exploitées dans notre étude hydro-sédimentaire pour étudier l'aménagement de la plage artificielle.

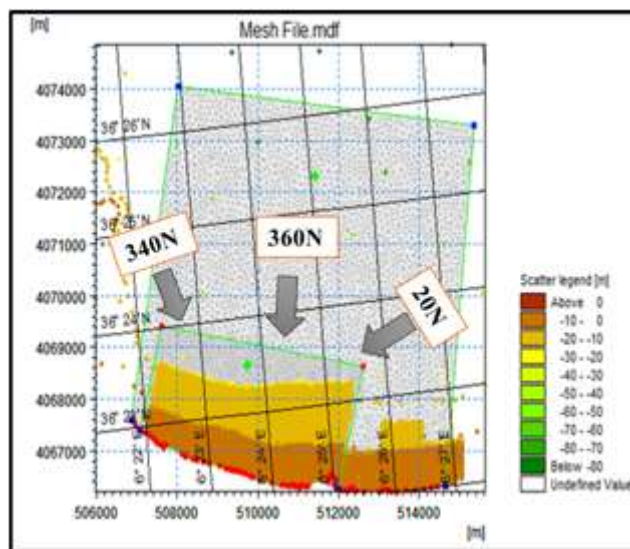


Figure n° 37: Mesh file de notre zone d'étude avec les nouvelles directions de houle après la réfraction

Les résultats obtenus par la simulation dans les différents modules (SW, HD, ST, Bed level change) du logiciel Mike 21 sont représentés et commentés ci-dessous.

III.4.7.2. Action des houles de direction Nord Nord-Ouest (340°N)

A. Réfraction de la houle (Spectral Wave, SW)

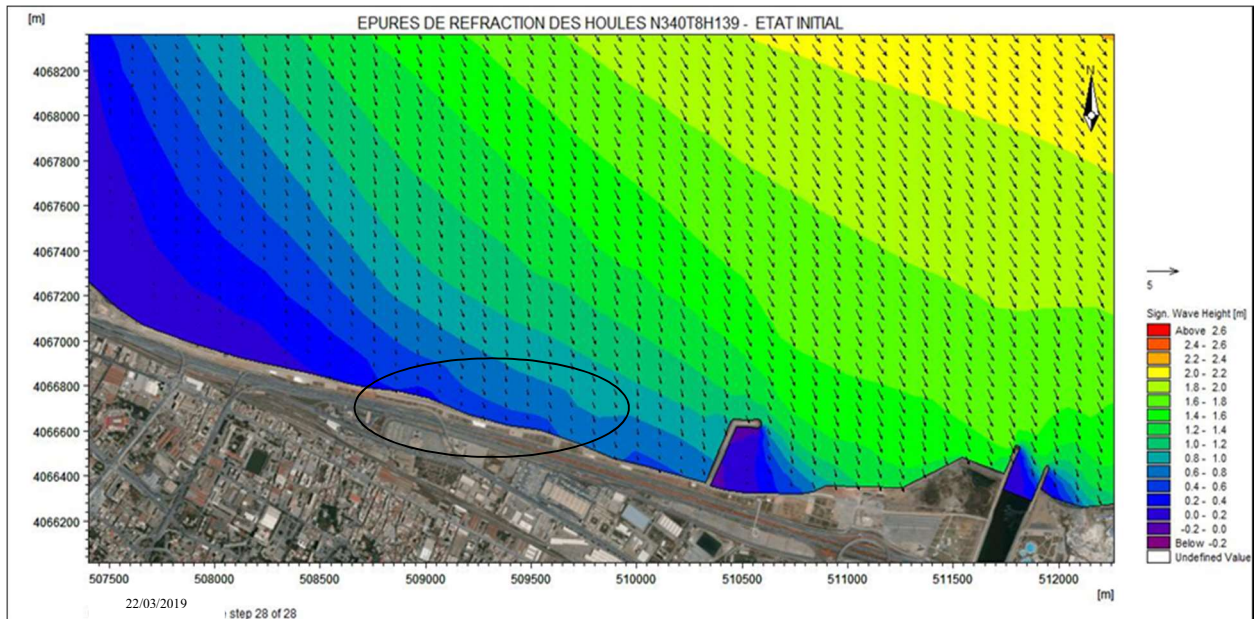


Figure n°38: Carte de répartition du champ de réfraction de la houle avant ouvrage, MWD=340° ; H=1.39 ; T=8s dans le secteur Nord Nord-Ouest

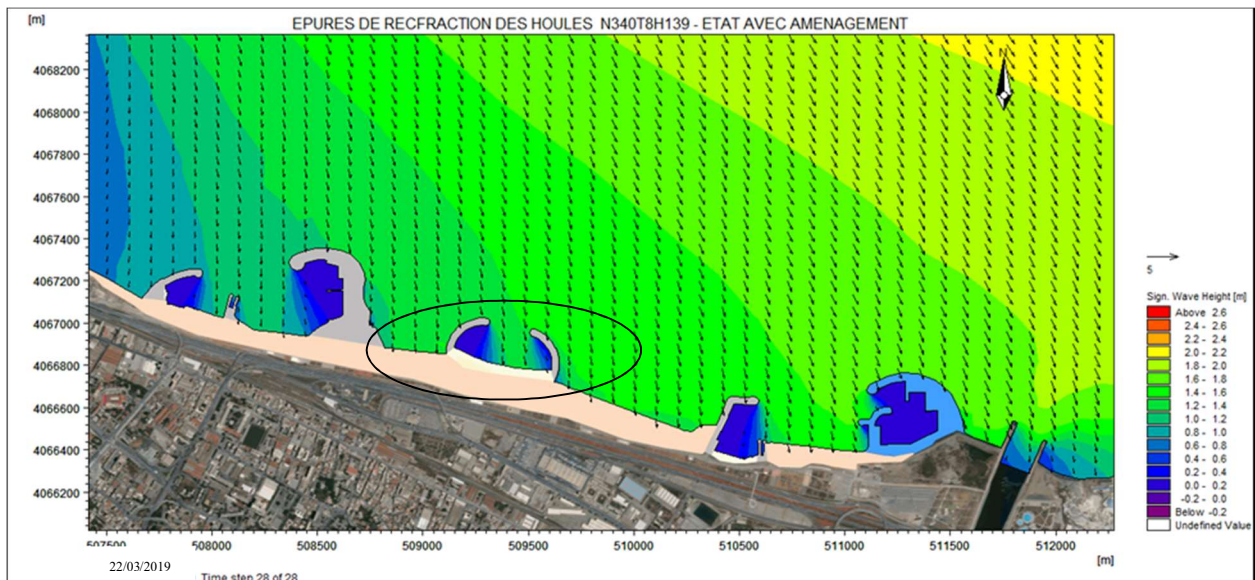


Figure n°39: Carte de répartition du champ de réfraction de la houle au niveau de Partie Grande Plage (Sablette), MWD=340° ; H=1.39m ; T=8s

Le paramètre H_s représente la hauteur de la houle en mètre, les vecteurs représentent par leurs sens la direction de propagation de la houle, leurs longueurs étant proportionnelles à la hauteur de la houle.

Ainsi, pour cette direction ($340^\circ N$) (**Figure n°37**), les houles abordent la plage avec une incidence oblique, et une hauteur de houle plus ou moins moyenne qui varie globalement entre 0 et 2.2m au niveau du site avant aménagement, une diminution de l'énergie de la houle est observée à l'approche de la houle vers la côte.

Après aménagement (**Figure n°38**), l'étude montre une augmentation de la hauteur H_s à l'approche de la côte (jusqu'à 1.4m) comparé à l'état initial, et presque nulle à l'intérieure des épis de clôture de la plage artificielle.

B. Courantologie (Hydrodynamic, HD)

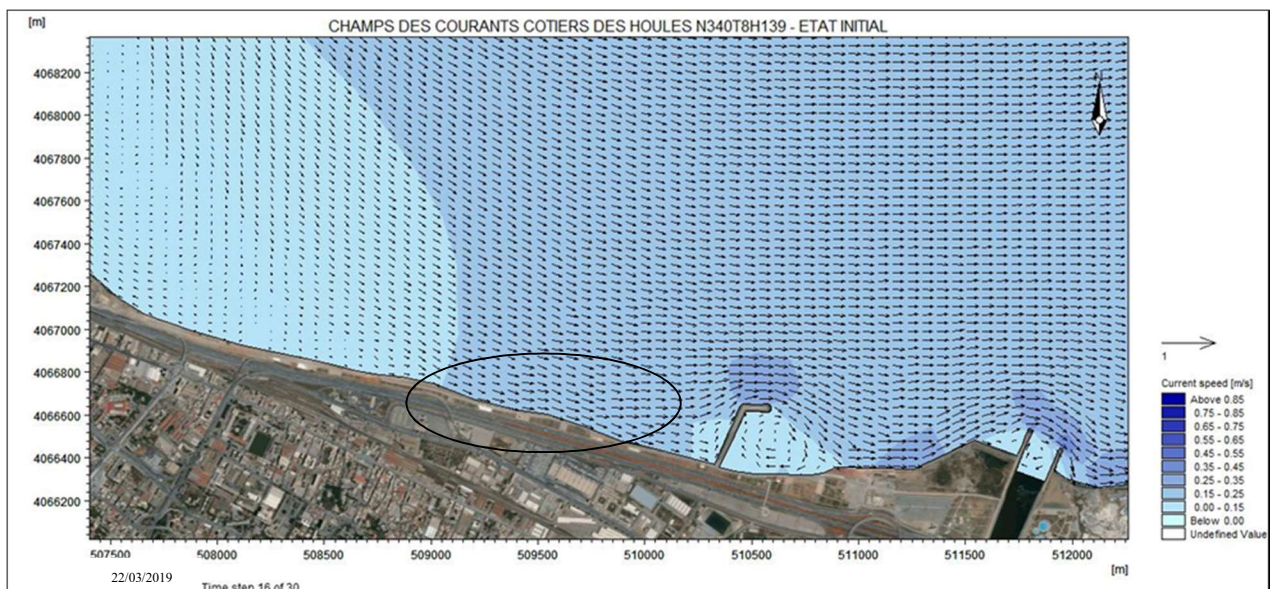


Figure 40 : Carte de répartition du champ des courants, MWD=340° ; H=1.39 ; T=8s dans le secteur Nord Nord-Ouest

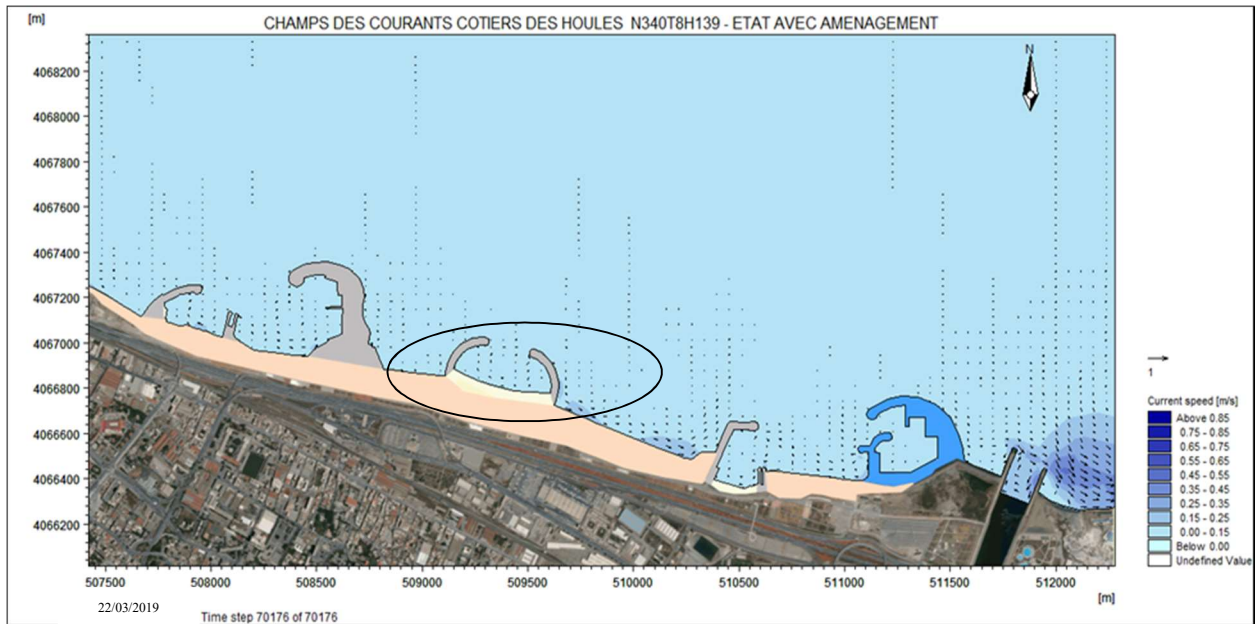


Figure n°41: Carte de répartition du champ des courants avec aménagement, MWD=340° ; H=1.39 ; T=8s dans le secteur Nord Nord-Ouest

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

La houle 340°N (**Figure n°39**) génère des courants de dérive littorale de direction Nord Nord-Ouest vers l'Est.

L'intensité des courants à l'approche de la côte varie entre 0.15 et 0.55m/s à l'est, et presque nulle à l'Ouest.

- On remarque ainsi que dans la zone de l'implantation de la grande plage (**Figure n°40**) les vitesses de courant sont faibles et ne dépassent pas les 0.15m/s

C. Transport sédimentaire (Sand Transport, ST)

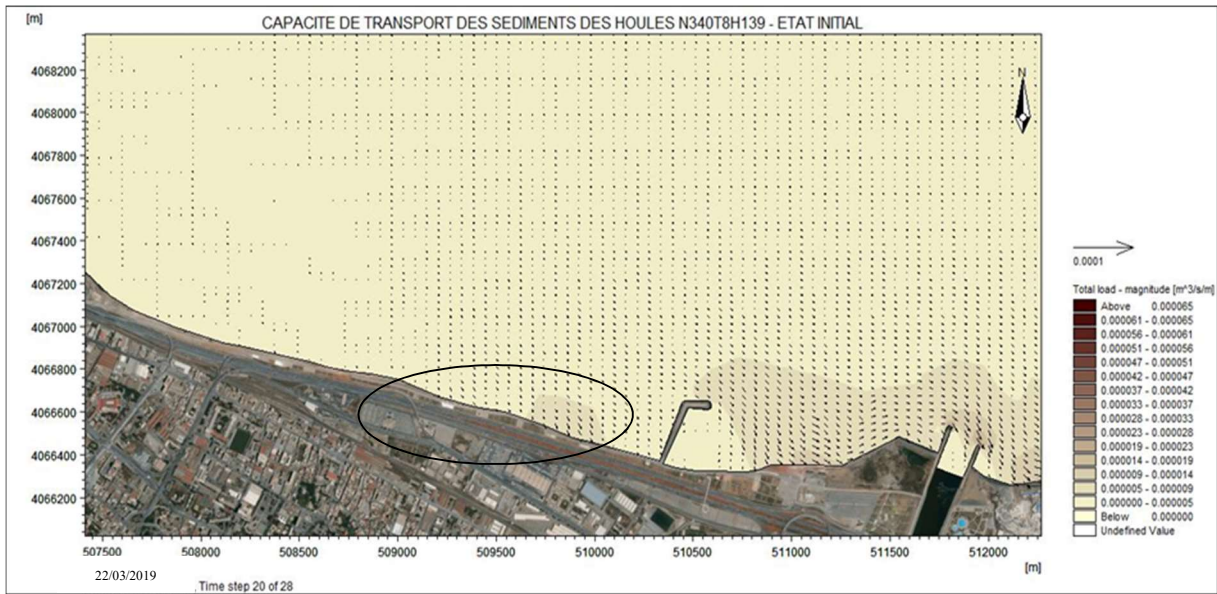


Figure n°42: Carte de répartition du flux sédimentaire, MWD=340° ; H=1.39m ; T=8s dans le secteur Nord Nord-Ouest

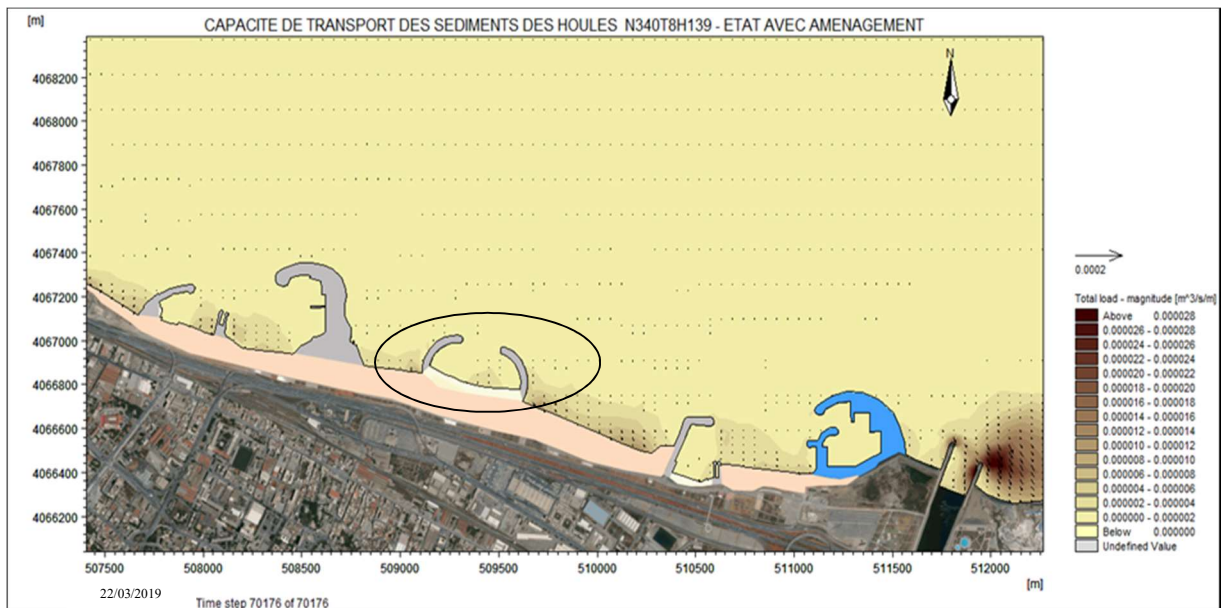


Figure n°43: Carte de répartition du flux sédimentaire avec aménagement, MWD=340° ; H=1.39m ; T=8s, dans le secteur Nord Nord-Ouest

Sur le plan sédimentologique la capacité de transport solide est exprimée en m³/s/m (convertie en m³/an/m) elle est définie comme étant la capacité des courants à mettre en mouvement les particules sédimentaires.

Apport de la modélisation physique et numérique dans l'étude de l'hydrodynamisme sédimentaire : cas de l'aménagement d'une plage artificielle au niveau des salettes

- La capacité du transport sédimentaire engendré sous l'effet des houles de 340°N (Figure n°41) se traduit par un transit des sédiments de l'Ouest vers l'Est qui est engendré par un courant Nord Nord-Ouest.

Concernant la capacité de transport sédimentaire induit par ces courants, on note l'existence d'un transit estimé à 157.68m³/an/m dans la zone d'étude.

On remarque ainsi que la zone de l'implantation de la grande plage (Figure n°42) est sujette à un transport sédimentaire de faible quantité avec une capacité d'ordre de 63.072m³/an/m.

D. Bed Level change

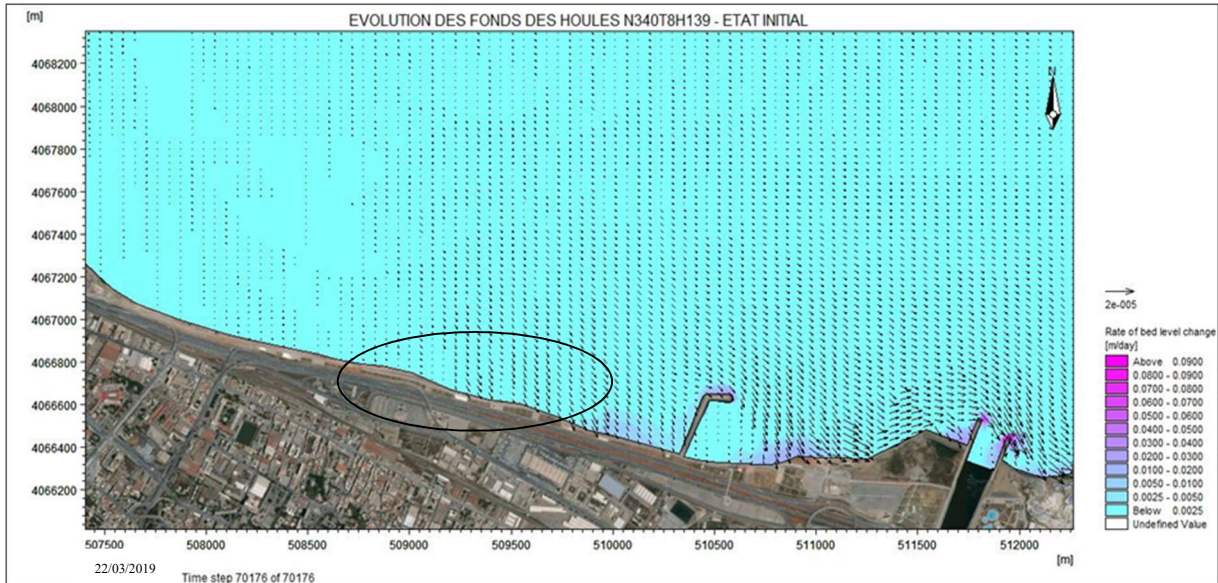


Figure n°44 : Carte de répartition de L'évolution des fonds des houles, MWD=340° ; H=1.39 ; T=8s, dans le secteur Nord Nord-Ouest

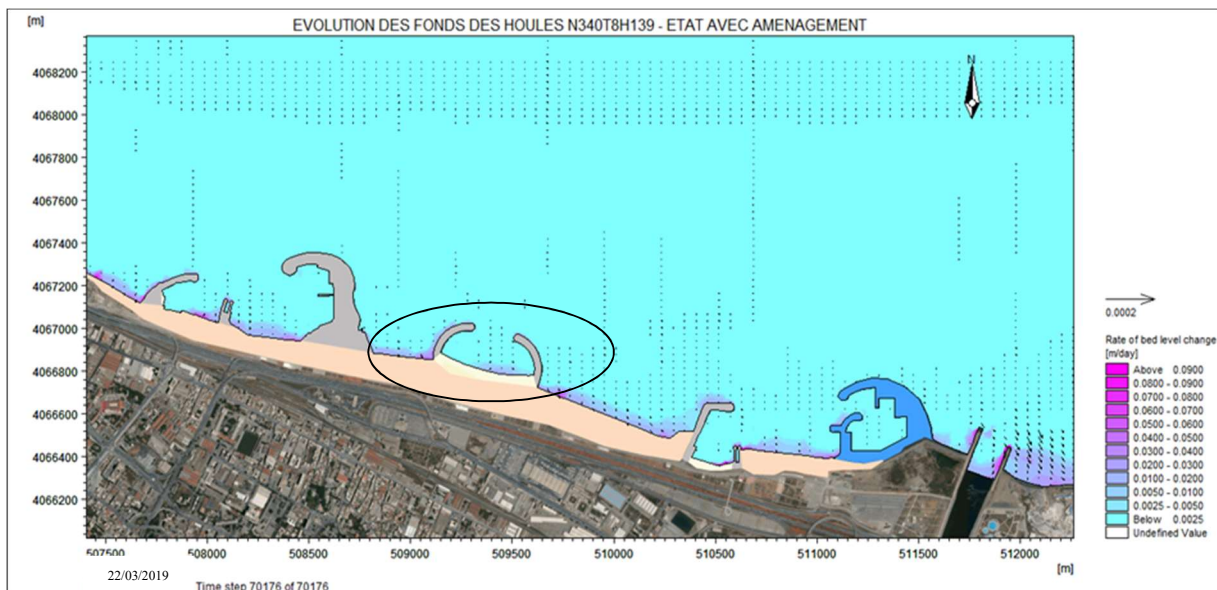


Figure n°45: Carte de répartition de l'évolution des fonds des houles avec aménagement, MWD=340° ; H=1.39 ; T=8s, dans le secteur Nord Nord-Ouest

Les figures n° (43 et 44) illustrent les résultats de l'étude de l'évolution des fonds des houles (avant et après l'aménagement de la grande plage) pour une houle oblique et de période de 8 seconds.

A l'état initial on observe une faible évolution des fonds, Après aménagement (**Figure n°44**) de la grande plage, on observe une légère élévation des fonds égale.

III.4.7.3. Action des houles de direction Nord (360°N)

A. Réfraction de la houle (Spectral Wave, SW)

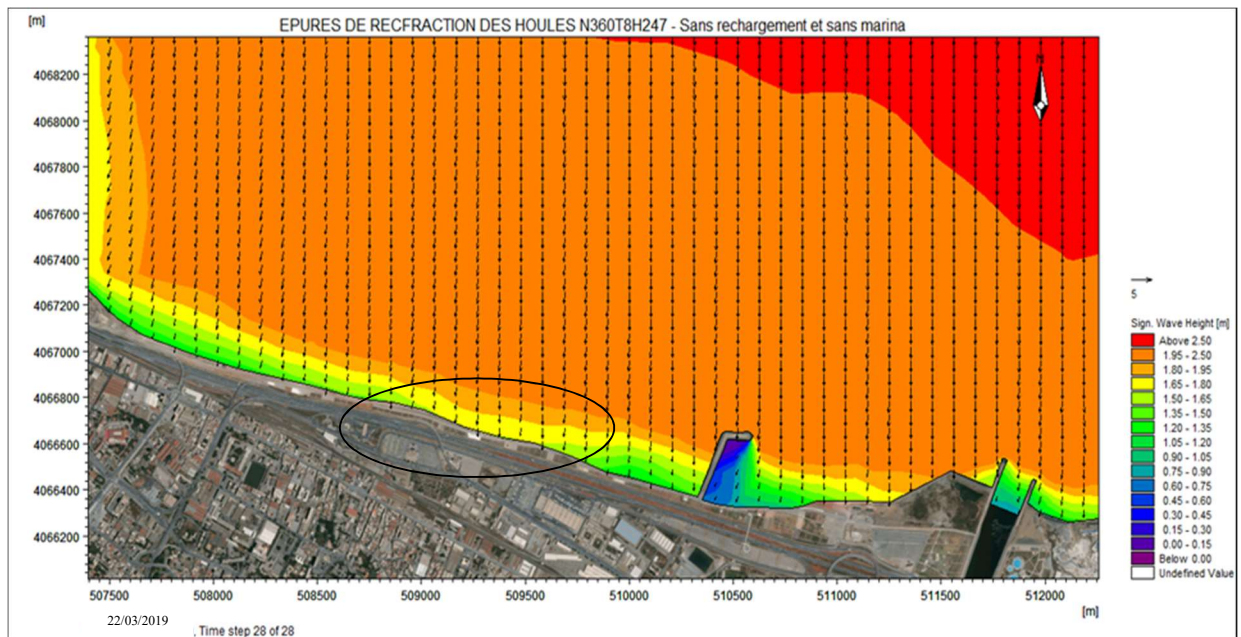


Figure n°46: Carte de répartition du champ de réfraction de la houle, MWD=360° ; H=2.47 ; T=8s dans le secteur Nord

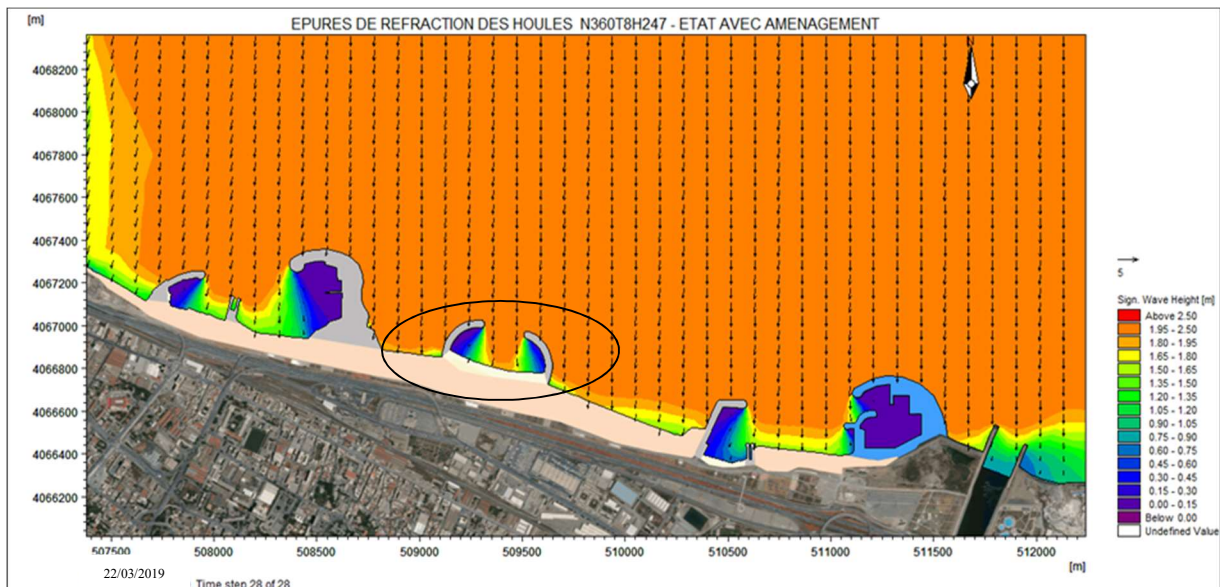


Figure n°47 : Carte de répartition du champ de réfraction de la houle avec aménagement, MWD=360° ; H=2.47 ; T=8s, dans le secteur Nord

A l'état initial la houle 360°N, arrive à la cote avec une hauteur significative atteignant les 1.65 m, dans la deuxième figure ou on intègre l'aménagement de la grande plage, on constate

Apport de la modélisation physique et numérique dans l'étude de l'hydrodynamisme sédimentaire : cas de l'aménagement d'une plage artificielle au niveau des sablettes

une nette diminution dans la hauteur de la houle au niveau de la plage notamment derrière les épis, ce qui peut être expliqué par une bonne protection face à la houle.

B. Courantologie (Hydrodynamic, HD)

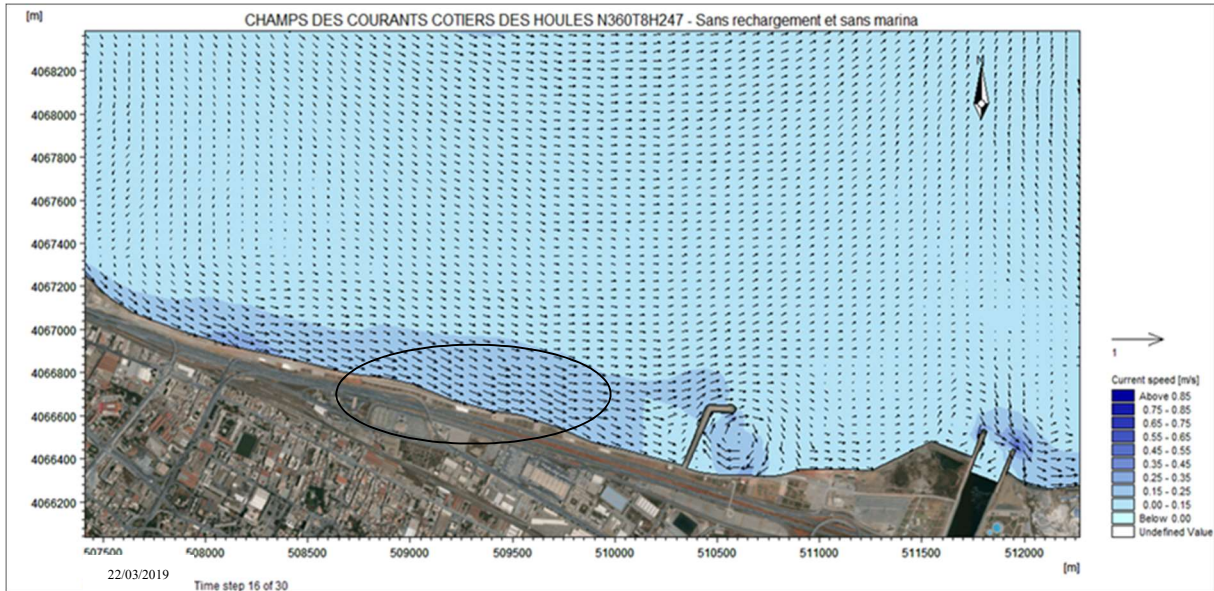


Figure n°48 : Carte de répartition du champ des courants avec aménagement (Sablette), MWD=360° ; H=2.47 ; T=8s, dans le secteur Nord

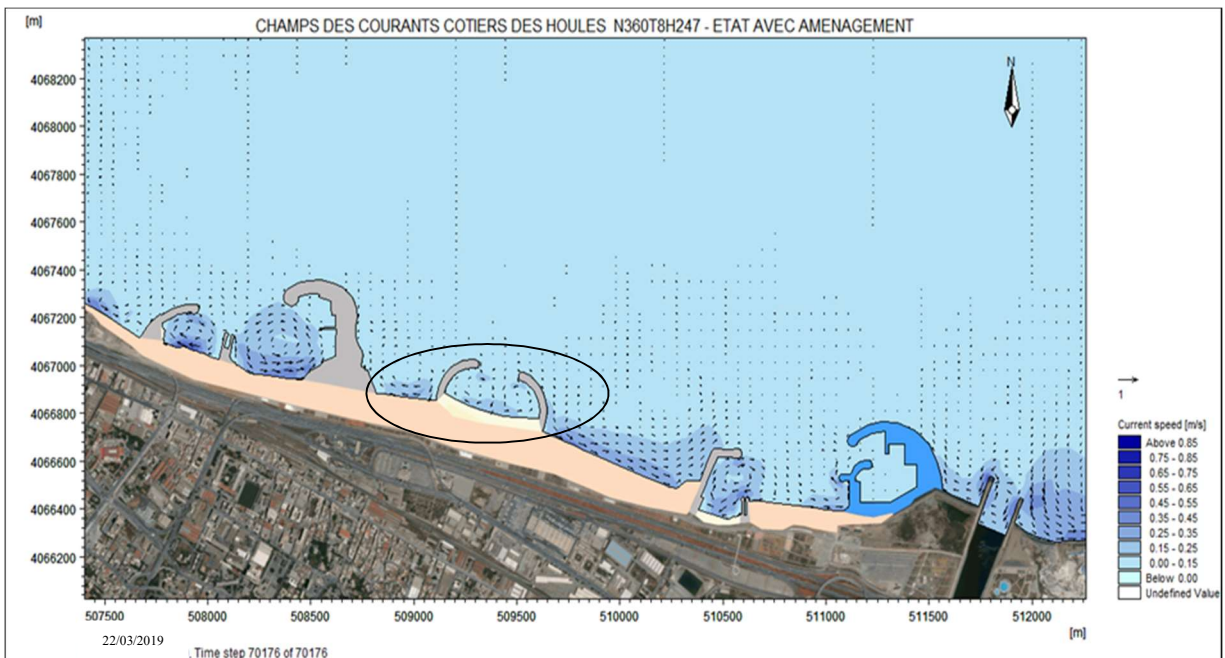


Figure n°49 : Carte de répartition du champ des courants (Sablette), MWD=360° ; H=2.47 ; T=8s, dans le secteur Nord

L'hydrodynamisme côtier dans notre zone d'étude est clairement observé ou la vitesse du courant reste moyenne entre 0.45 et 0.55m/s avec une direction qui va de l'Ouest vers l'Est, Après l'installation des ouvrages, on observe que les courants sont bloqués du côté ouest des ouvrages et n'atteignent pas la partie Est, cependant, à l'intérieur de la grande plage artificielle les courants pénètrent avec une intensité très faible 0.15m/s.

C. Transport sédimentaire (Sand Transport, ST)

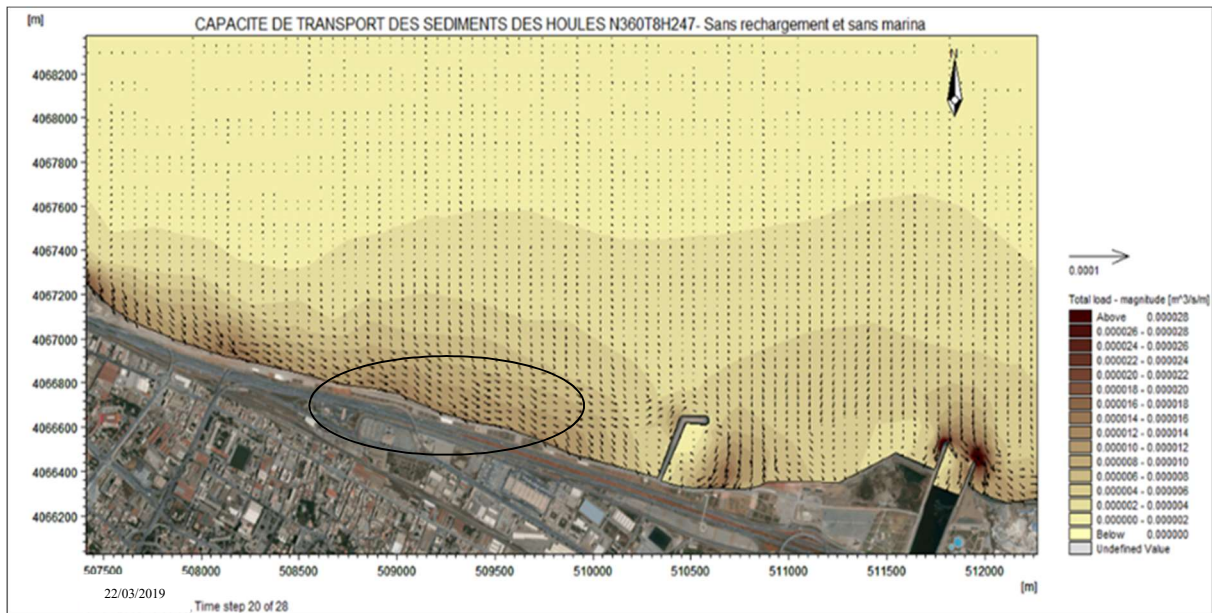


Figure n°50: Carte de répartition du flux sédimentaire, MWD=360° ; H=2.47m ; T=8s, dans le secteur Nord

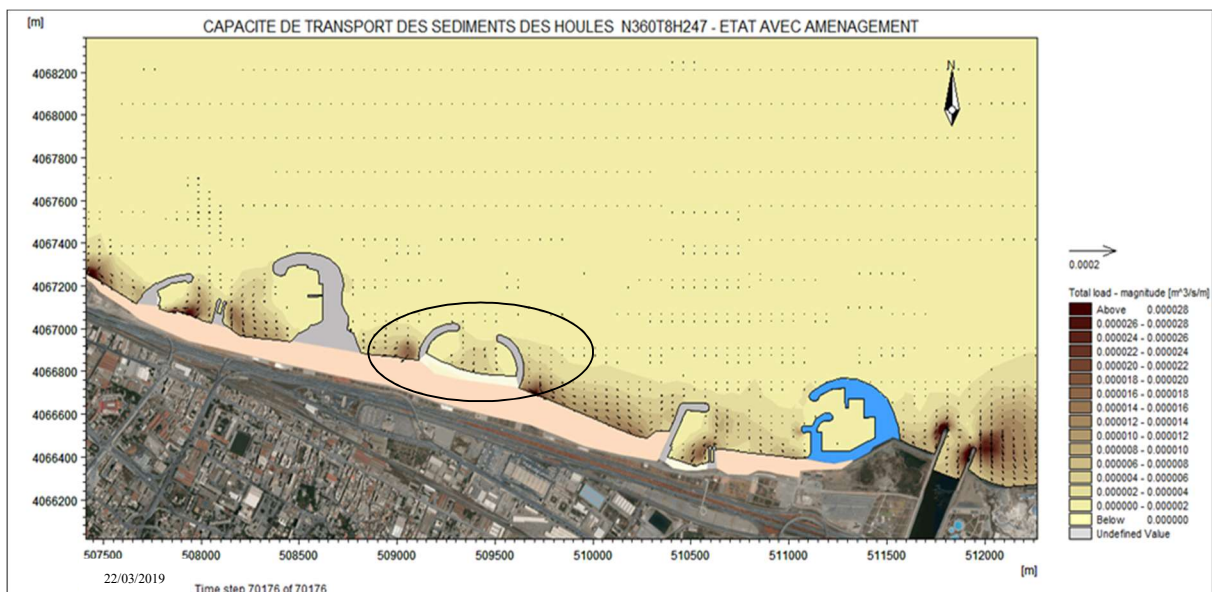


Figure 51: Carte de répartition du flux sédimentaire avec aménagement, MWD=360° ; H=2.47m ; T=8s, dans le secteur Nord

Les résultats montrent que la zone d'étude est sujette à un transport sédimentaire moyen, la capacité du transport sédimentaire engendré sous l'effet des houles 20°N (**Figure n°49**) se traduit par un transit des sédiments de l'Ouest vers l'Est tout au long de la côte. Le transit sédimentaire côtier est estimé à 378 m³/an/m approximativement.

L'aménagement de la plage artificielle a nettement fait diminuer l'intensité du transite sédimentaire, mais on observe la présence de zones d'ombres à l'intérieur de la grande plage, ce qui peut désigner un faible remaniement au niveau de la plage, cette observation rejoint les résultats obtenus dans l'étude du champ des courants.

D. Bed level change

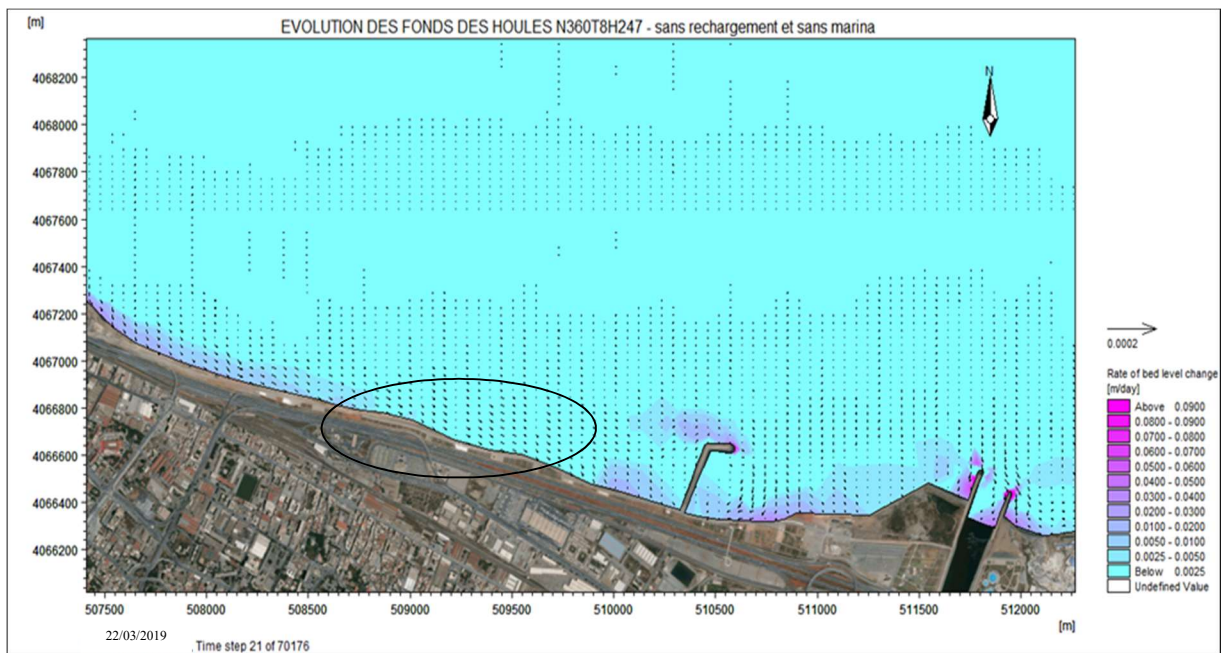


Figure n°52 : Carte de répartition de L'évolution des fonds des houles, MWD=360° ; H=2.47 ; T=8s, dans le secteur Nord

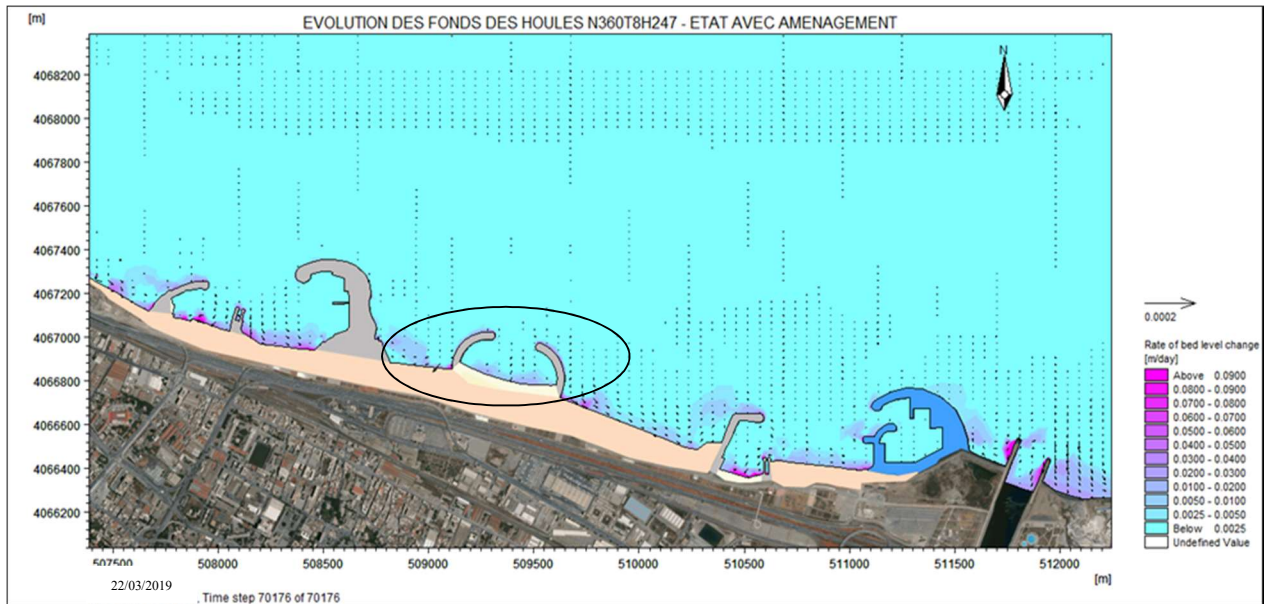


Figure n°53: Carte de répartition de L'évolution des fonds des houles avec aménagement, MWD=360° ; H=2.47 ; T=8s, dans le secteur Nord

La **figure n°51** illustre les résultats de l'étude de l'évolution des fonds pour la houle 20°N et de période de 8 secondes, on remarque une faible évolution des fonds. L'installation de l'ouvrage (**figure n°52**) va influencer la hauteur des fonds pour cette houle, ou on note un léger dépôt aux abords des épis Est et Ouest de notre zone d'étude.

III.4.7.4. Action des houles de direction Nord Nord-Est (20°N)

A. Réfraction de la houle (Spectral Wave, SW)

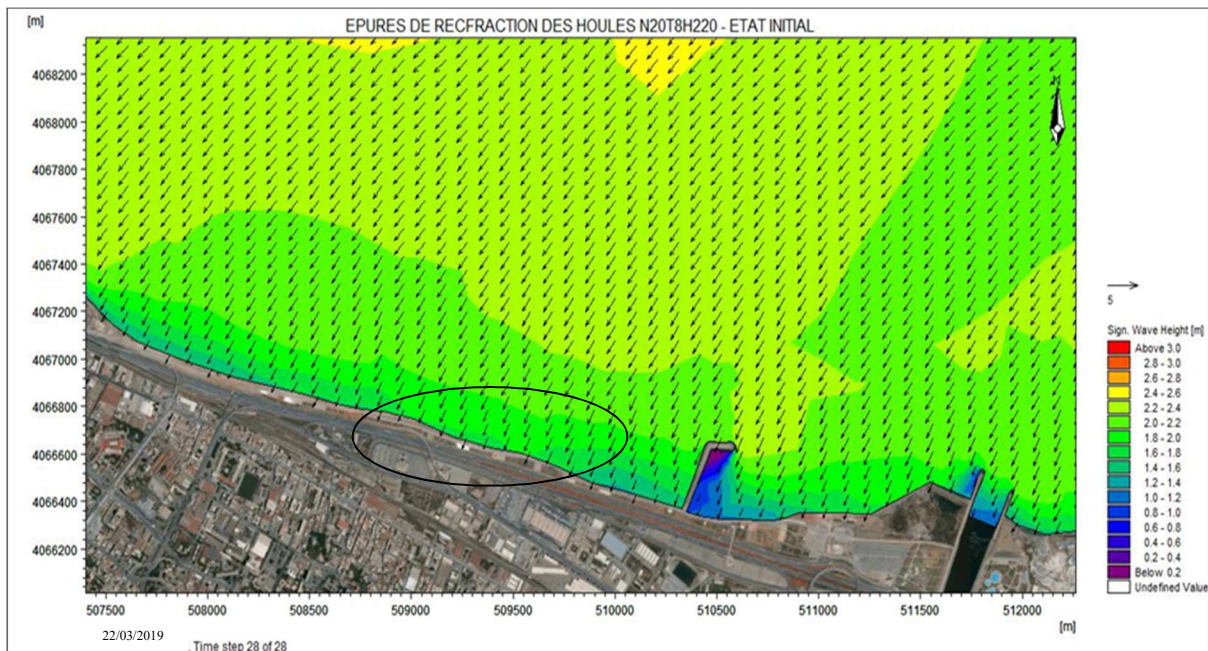


Figure n°54: Carte de répartition du champ de réfraction de la houle, MWD=20° ; H=2.20 ; T=8s, dans le secteur Nord Nord-Est

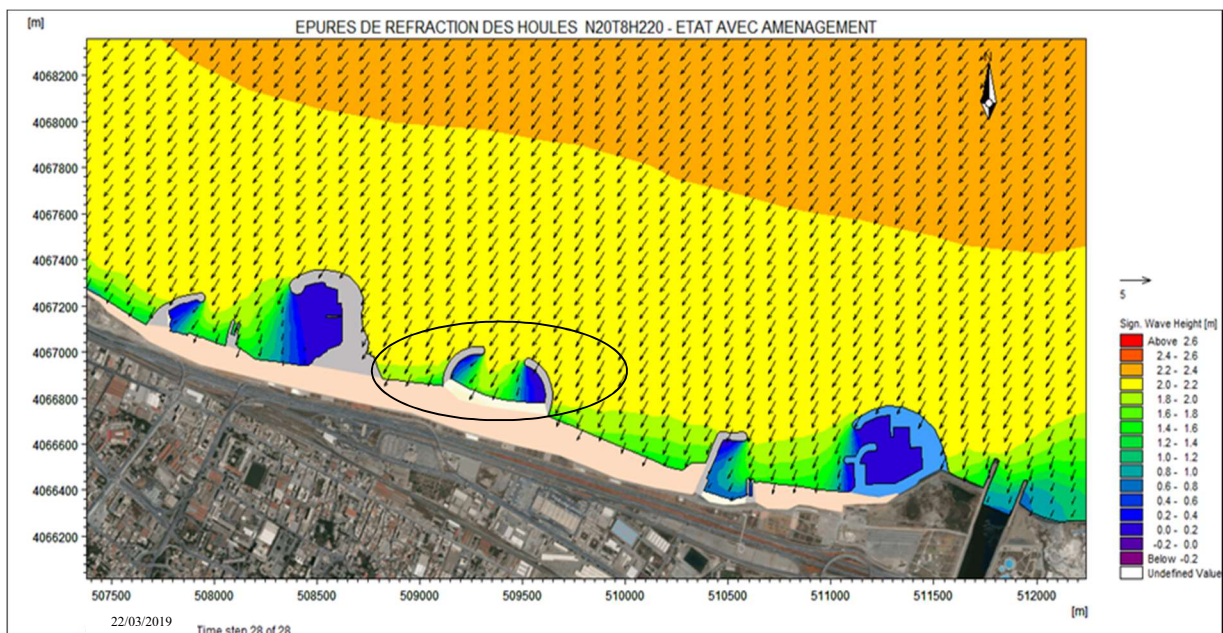


Figure n°55 : Carte de répartition du champ de réfraction de la houle avec aménagement, MWD=20° ; H=2.20 ; T=8s, dans le secteur Nord Nord-Est

La houle de direction (20°N), présente une diminution de l'énergie de la houle au fur et à mesure de son évolution vers la côte. Le paramètre H_s représente la hauteur de la houle en mètre qui varie globalement entre 0.2 et 2.6m au niveau du site. Cette houle aborde le site avec une incidence oblique, tout en gardant une hauteur moyenne [1.6m].

Après l'installation de l'ouvrage, on remarque que la houle arrive au niveau de la grande plage avec une hauteur significative considérable de 1 à 1.2m ; et dépasse l'ouvrage, ceci va créer une agitation au niveau de la plage artificielle mais ceci peut être bénéfique pour sauvegarder une bonne qualité des eaux de baignades.

B. Courantologie (Hydrodynamic, HD)

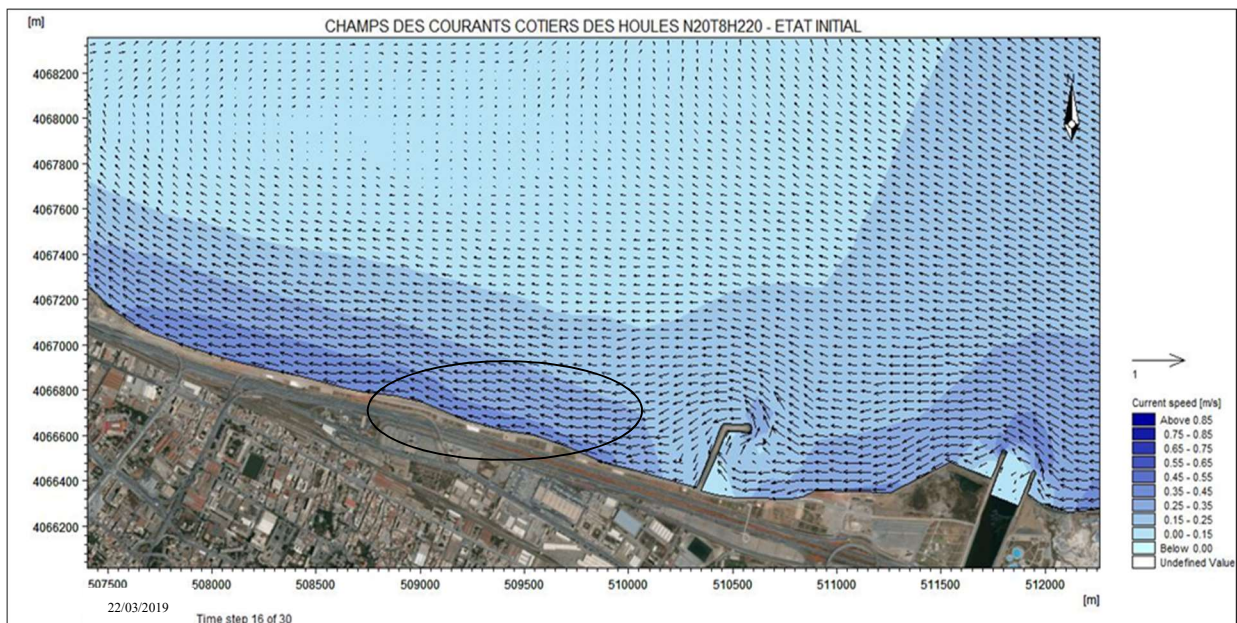


Figure n°56 : Carte de répartition du champ des courants, $MWD=20^{\circ}$; $H=2.20$; $T=8s$, dans le secteur Nord Nord-Est

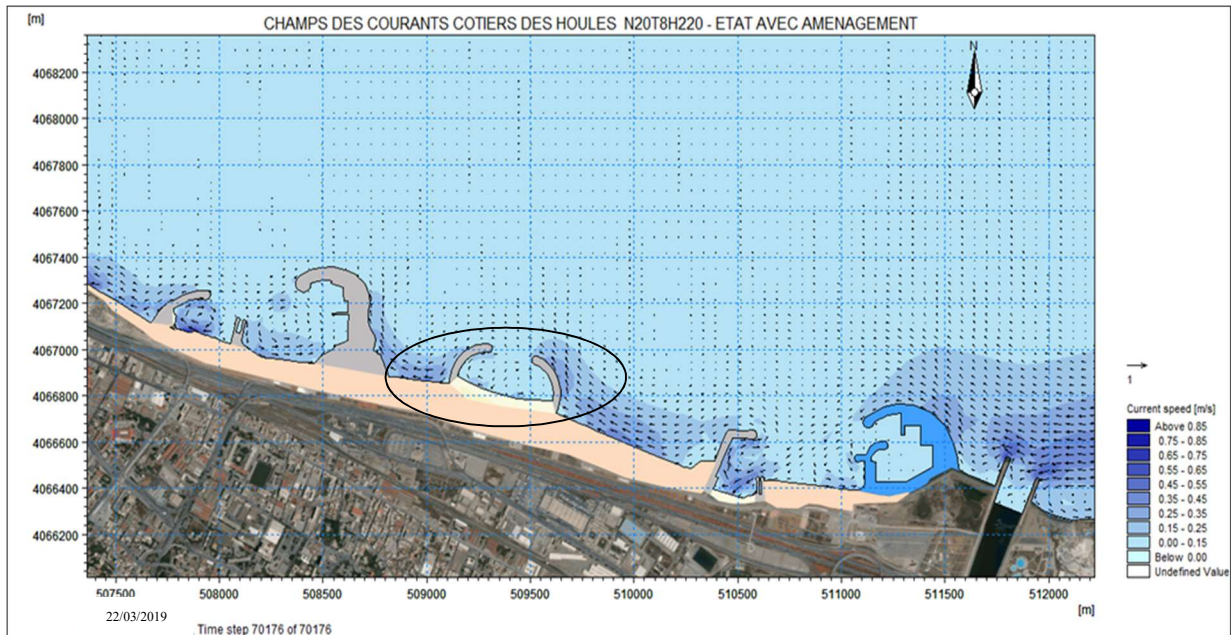


Figure n°57: Carte de répartition du champ des courants avec Aménagement, MWD=20° ; H=2.20 ; T=8s, dans le secteur Nord Nord-Est

La houle de (20°N) génère des courants de dérive littorale de direction Nord Nord-Est vers l'Ouest.

L'intensité des courants à l'approche de la côte (**Figure n°55**) varie entre 0.25 à plus de 0.45m/s tout au long de la côte.

La direction 20°N à une forte influence sur notre zone d'étude comparée aux autres directions. Cependant la mise en place des épis au niveau de notre zone d'étude (**Figure n°56**), fait diminuer l'hydrodynamisme ou on remarque des courants de très faible intensité 0.15 à 0.25m/s. La houle 20°N génère l'hydrodynamisme le plus important comparé aux autres directions.

C. Transport sédimentaire (Sand Transport, ST)

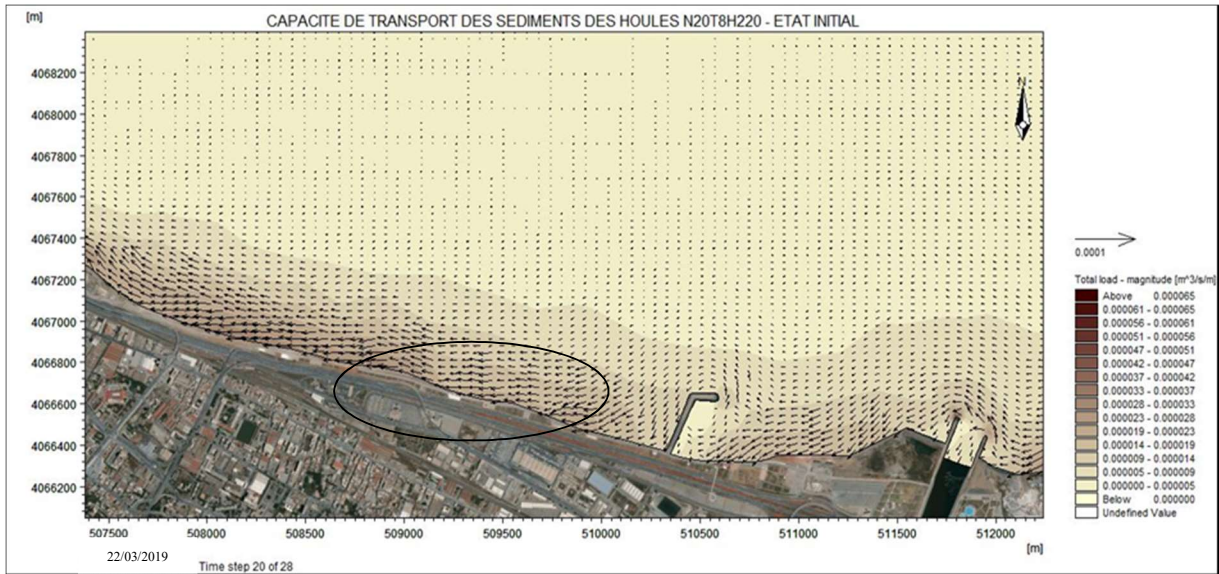


Figure n°58: Carte de répartition du flux sédimentaire, MWD=20° ; H=2.20 ; T=8s, dans le secteur Nord Nord-Est

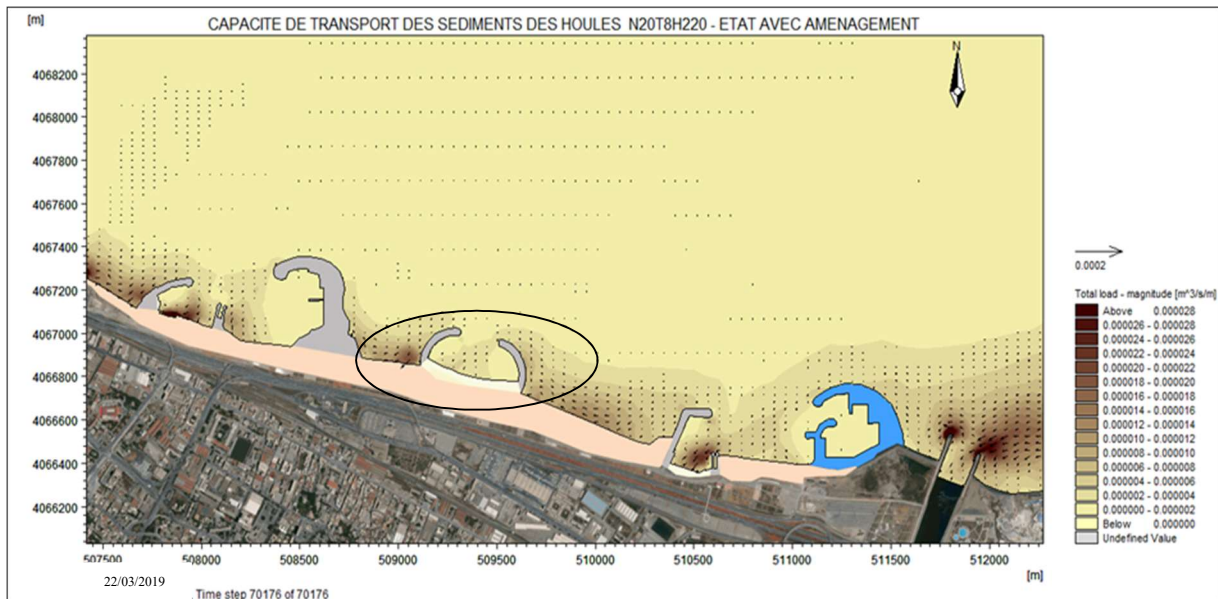


Figure n°59: Carte de répartition du flux sédimentaire avec ouvrage, MWD=20° ; H=2.20 ; T=8s, dans le secteur Nord Nord-Est

Les résultats montrent que la zone littorale est sujette à un transport sédimentaire assez important, la capacité du transport sédimentaire engendré sous l'effet des houles de 20°N (Figure n°57) se traduit par un transit des sédiments de l'Est vers l'Ouest tout au long de la cote. Le transit sédimentaire est estimé à 1166 m³/an/m approximativement.

Apport de la modélisation physique et numérique dans l'étude de l'hydrodynamisme sédimentaire : cas de l'aménagement d'une plage artificielle au niveau des salettes

Les résultats du transport sédimentaire (**Figure n°58**) reflètent les résultats de l'hydrodynamisme. Effectivement les quantités de sédiments charriées sont faibles et de l'ordre de 190 m³/an/m.

D. Bed Level change

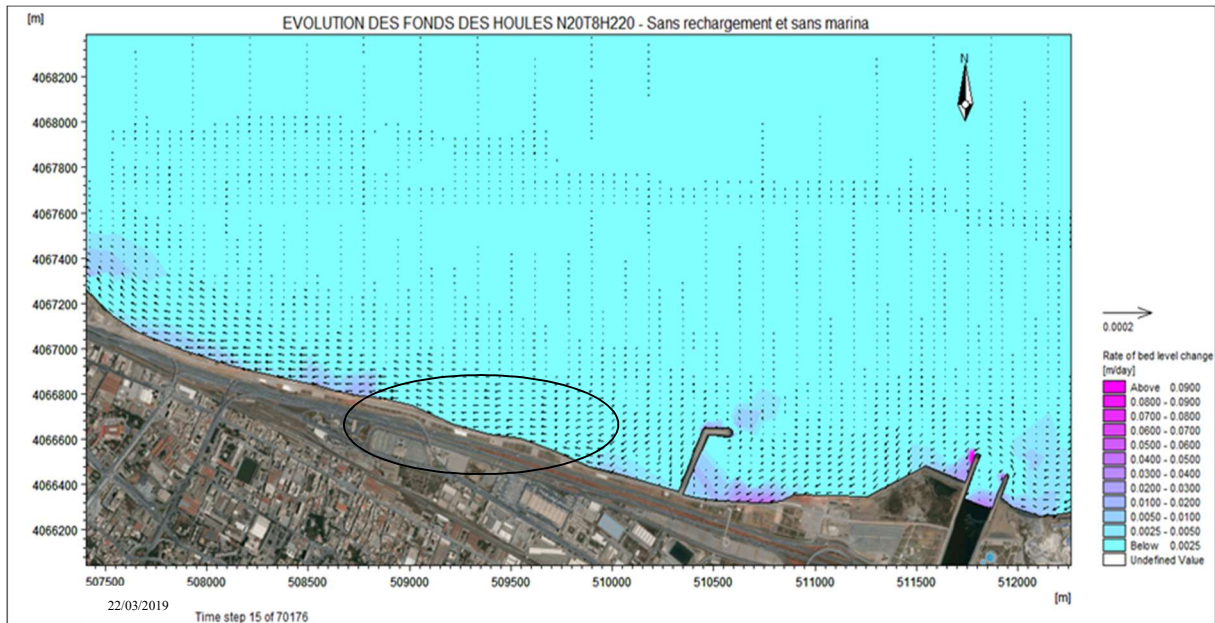


Figure n°60: Carte de répartition du Bed Level MWD=20° ; H=2.20 ; T=8s, dans le secteur Nord Nord-Est

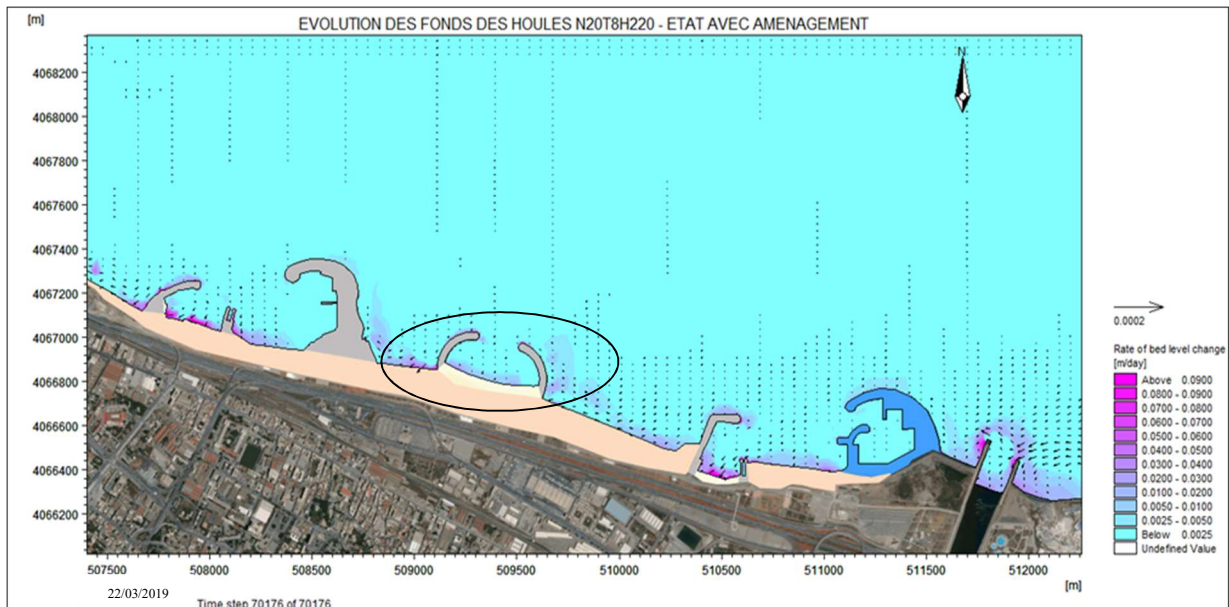


Figure n°61 : Carte de répartition du Bed Level avec aménagement, MWD=20° ; H=2.20 ; T=8s, dans le secteur Nord Nord-Est

La (**Figure n° 59**) illustre les résultats de l'étude de l'évolution des fonds pour la houle 20°N et de période de 8 seconds, on remarque une faible évolution des fonds. L'installation de l'ouvrage (**Figure n° 60**) va influencer la hauteur des fonds pour cette houle, ou on note un léger dépôt côtier à l'intérieur de la plage.

III.5. Modélisation physique

III.5.1. Introduction

La construction en bassin est la deuxième étape de l'étude, cette dernière permet de voir en temps réel le comportement de notre ouvrage vis à vis les houles générées. Cette phase consiste à procéder à la réalisation des deux épis Est et Ouest (présentés dans le chapitre aménagement) tout en intégrant le rechargement de la plage artificielle.

III.5.2. Conditions de houles

Les conditions de houles retenues pour les essais de stabilité de l'ouvrage sont tirées à partir des points d'extractions relevés à -15.0m de profondeur (tableau n°13) pour la série progressive, elles sont résumées comme suit :

Tableau 13: Conditions de houles retenues pour les essais de stabilité de l'ouvrage

Période de retour	Direction Nord 20°		Direction Nord 360°		Direction Nord 340°	
	Hs(m)	Période de pointe(s)	Hs(m)	Période de pointe(s)	Hs(m)	Période de pointe(s)
H1an	1.94	6.55 ²	2.40	7.39	1.4	5.46
H2ans	3.63	9.30	4.31	10.19	2.17	6.98
H10a	4.63	10.57	5.51	11.54	2.97	8.33

H20a	5.05	11.05	5.95	11.97	3.36	8.92

H50ans	5.56	11.59	6.37	12.36	3.89	9.65

III.5.3. Conditions hydrographiques

Les conditions hydrographiques considérées lors de cette étude en modèle réduit physique bidimensionnel sont comme suit :

- Niveau d'eau : ± 0.00 NGA pour les essais de la série progressive.
- Marée haute : Série endurance +0.70 NGA,
- Hauteur significative à -15m : 1.4 m à 6.37 m.
- Période de pointe à : 5.46s à 12.36s.

III.5.4. Choix de l'échelle

Compte tenu de l'étendu de l'ouvrage, ainsi que de la disponibilité des matériaux de protection pour les tailles requises par le projet, l'échelle retenue est le **1/50**.

III.5.5. Résultats des essais

Les essais se sont déroulés dans le bassin à houle du centre d'essais sur modèle du Laboratoire d'Études Maritimes : Les dimensions principales du bassin sont :

- Largeur : 19.0 m.
- Profondeur : 1,00 m.
- Longueur : 26,0 m.

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

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

Dans le cas de la houle aléatoire (houle utilisée pour l'ensemble de l'étude), le signal est effectivement aléatoire suivant une durée de tempête qui est fixée par le logiciel (cycle time).

III.5.6. Construction des fonds

Les houles retenues pour les essais en bassin sont de direction **20°N, 360°N et 340°N**. Cette dernière enregistre des houles les plus faibles par rapport aux autres directions à une profondeur -15.00m.

III.5.6.1. Choix des matériaux

Les matériaux constituant la plage, sont sélectionnés en fonction de leurs poids et leurs tailles. Chaque catégorie d'enrochements fait l'objet d'un tri soigné. En ce qui concerne le tout-venant de carrière, il est soumis à un lavage préliminaire afin d'éliminer les éléments fins susceptibles de déformer la représentation de la perméabilité de l'ouvrage.

III.5.6.2. Calibration (réglage hydraulique du modèle)

Après la construction des fonds et du modèle de protection, il fût procédé à la calibration du modèle. Ce réglage a pour but d'une part de procéder à la mise au point de l'appareillage, et d'autre part d'ajuster les conditions expérimentales de manière que l'ensemble des paramètres hydrauliques soit reproduit conformément à la nature.

III.5.6.3. Les houles

Les conditions de houles retenues pour les essais de stabilité sont obtenues à partir des points d'extractions relevés à -15.0m de profondeur par le LEM, elles sont résumés respectivement

dans le tableau n°13 : 03 direction de houles seront testées en bassin à savoir les directions 340°N, 360°N et 20°N.

III.5.6.4. Génération de la houle

La houle appliquée sur la maquette est générée par un batteur fonctionnant dans un plan horizontal, dont le placement est comparable à un piston.

Le déplacement du volet est assuré par un vérin, lui-même actionné par un groupe de puissance hydraulique à 110 bars. Le tout est piloté par un générateur électronique qui est lié à un logiciel informatique dénommé WAVEGEN représentant un train de houle théorique en nature et converti en train de houle en modèle.

III.5.6.5. Techniques de mesure et définitions

La houle dont le modèle est enregistrée par des capteurs de houles, appelés sondes, basés sur le principe de conductance électrique entre deux électrodes. Les signaux des capteurs de houles sont enregistrés en continu et analysés par une chaîne de mesure informatisée. A la fin de chaque essai, la chaîne de mesure transmet à l'imprimante les répartitions statistiques de tous les signaux enregistrés. Pour l'interprétation des résultats des essais, les définitions suivantes furent considérées : **Hauteur significative (Hs)** : Elle est définie comme la moyenne du 1/3 des vagues les plus hautes dans un train de houle, en modèle. **Hauteur moyenne (H)** : Elle est définie comme la moyenne des vagues enregistrées dans un train de houle. **Période de pointe (Tp)** : C'est la période qui correspond à la plus grande densité d'énergie spectrale.

III.5.7. Observations effectuées et moyens mis en œuvre

III.5.7.1. Observations hydrauliques

Lors de l'essai de stabilité le mode d'attaque de la houle sur l'ouvrage est étudié avec attention. Ainsi, pour chaque configuration d'essai sont notés :

- les déferlements.
- Possibilité de dégradation de l'ouvrage.

Ces observations sont ensuite corrélées avec les dégâts pour une analyse complète.

III.5.7.2. Observation des dégâts

L'observation faite sur les ouvrages est basée surtout sur l'évolution de la stabilité contre les houles agressives : stabilité des enrochements et estimation des dégâts. Les observations des dégâts sont réalisées pendant le déroulement des essais (mode de dégradation) et à la fin des essais, après vidange (évaluation des dégâts).

III.5.8. Critères de stabilité

Il convient, pour tout ouvrage maritime, de s'assurer de la tenue de l'ouvrage qui doit résister à l'action dynamique de la houle pour les tempêtes les plus fortes. La finalité de cette étude est

de définir une conception optimale du point de vue technico-économique en se basant sur les critères de dommages acceptables.

III.6. Corrélation entre le modèle numérique et physique

Afin de pouvoir comparer entre les résultats obtenus lors de la modélisation numérique et la modélisation physique, nous avons suivi les étapes suivantes :

- On a choisi 04 points à partir des résultats de SW, à l'isobathe -6m pour la houle frontale N 360°, (voir figure n° 61), puis on a fait ressortir la valeur moyenne de H_s pour la houle annuelle ($T=8s$) et cinquantennale.
- On a comparé les résultats obtenus avec les valeurs enregistrées par les sondes au niveau du bassin à houle, également à -6m et pour les deux houles ; annuelle ($T=8s$) et cinquantennale.

Ces comparaisons ont été faite pour les deux cas ; avant et après l'installation de l'aménagement.

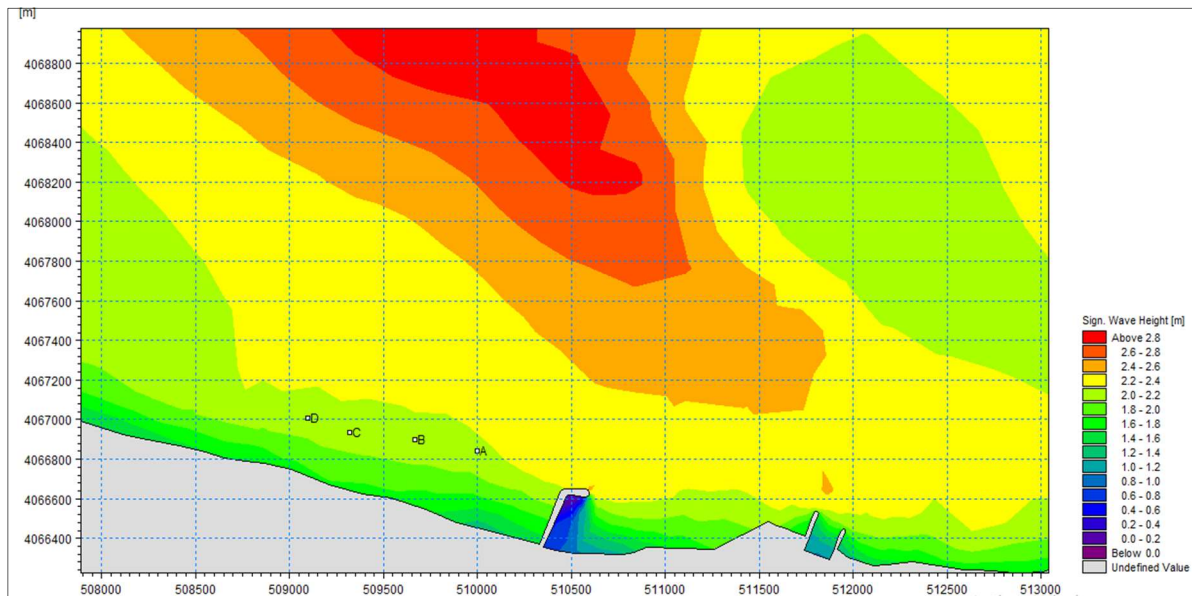


Figure n°62 : Points d'extraction de H_s à l'isobathe -6m (Etat initial)

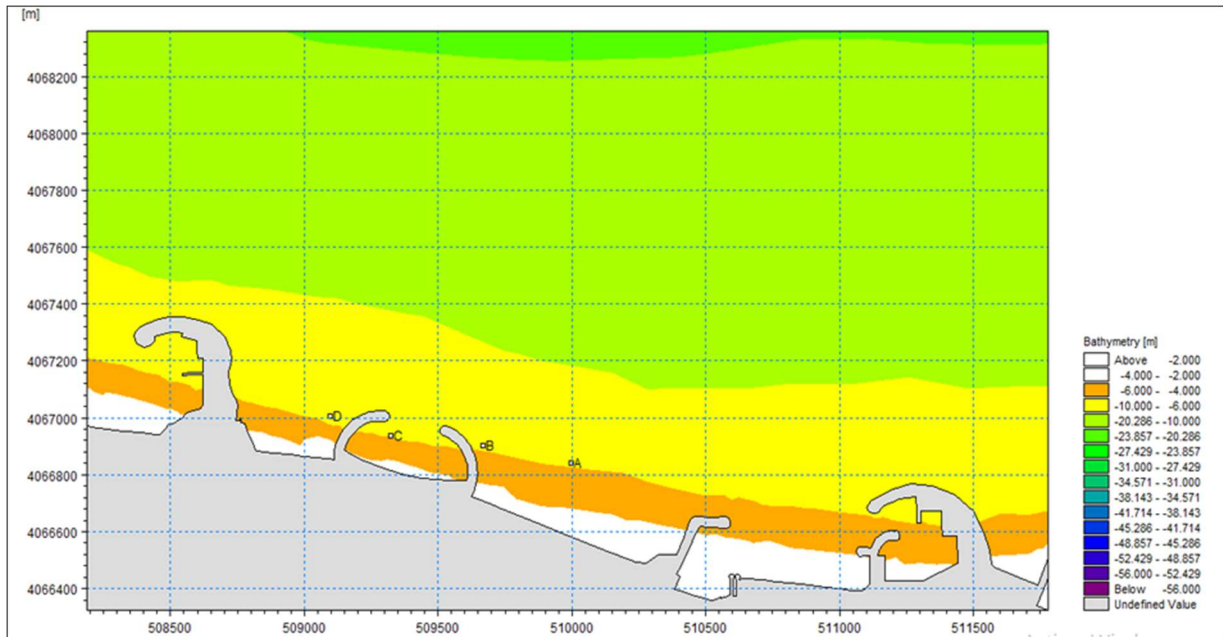


Figure n°63: Points d'extraction de Hs à l'isobathe -6m avec aménagement (Model numérique)

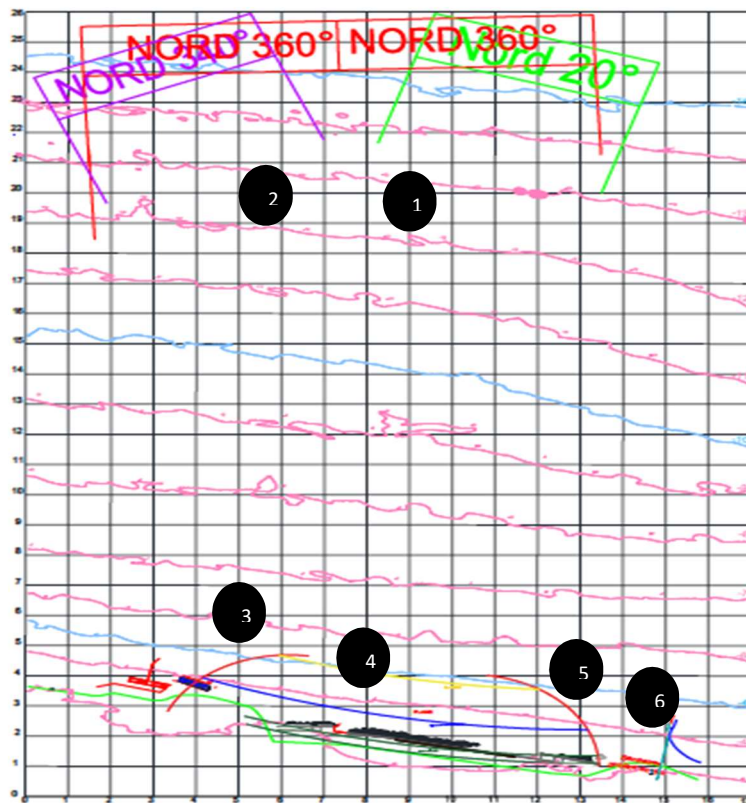


Figure n° 64 : Positionnement des sondes au niveau du bassin à houle (Model physique)

Tableau 14 : les valeurs de H_s dans les modèles numérique et physique à -6m (Avant aménagement)

Modélisation	Période de retour	A	B	C	D	MOYENNE
Numérique	Annuelle	2.17	2.13	2.1	2.14	1.85
	cinquantelae	3.43	3.34	3.14	3.27	3.29
physique	Annuelle	/	/	/	/	1.87
	cinquantelae	/	/	/	/	2.89

Tableau 15: les valeurs de H_s ($360^\circ N$) dans les modèles numérique et physique à -6m (Après aménagement)

Modélisation	Période de retour	A	B	C	D	MOYENNE
Numérique	Annuelle	2.22	2.21	1.75	2.22	2.1
	cinquantelae	3.8	3.48	2.31	3.95	3.38
physique	Annuelle	/	/	/	/	1.78
	cinquantelae	/	/	/	/	3.31

Tableau n°16: tableau comparatif regroupant les valeurs de H_s pour les deux modèles

Modélisation numérique (H_s)	Modélisation physique
1,85m	1,87m
2,1m	1,78m
3,29m	2,89m
3,38m	3,31m

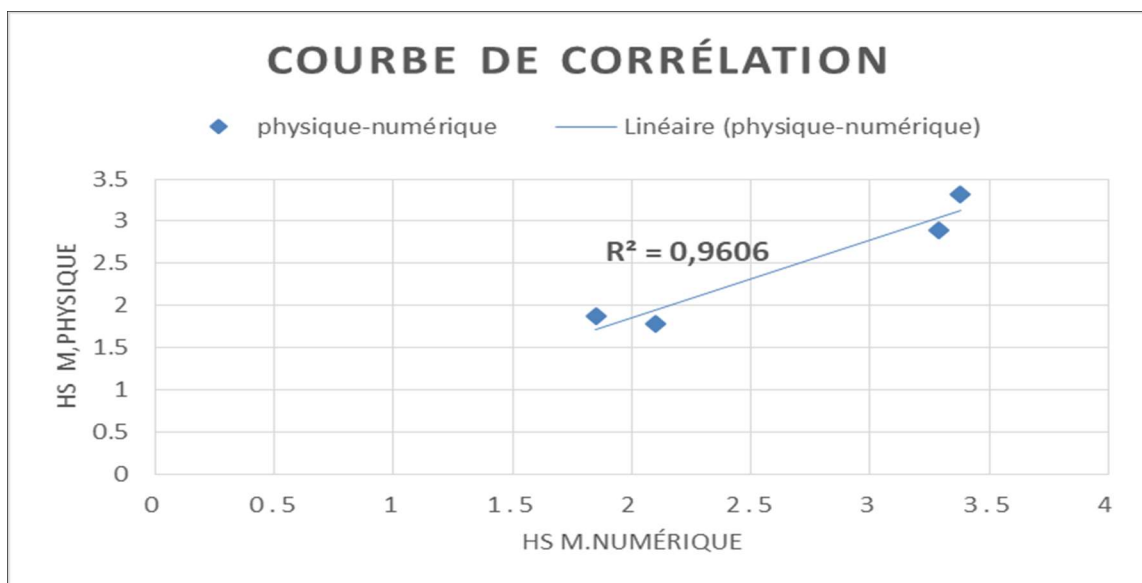


Figure n°65 : Courbe de corrélation entre la modélisation physique et numérique

Conclusion

Le coefficient de corrélation $R^2 = 0.96$, une valeur très proche de 1 ce qui reflète une bonne corrélation entre les deux méthodes de modélisation.

Chapitre IV : Gestion intégrée des zones côtières

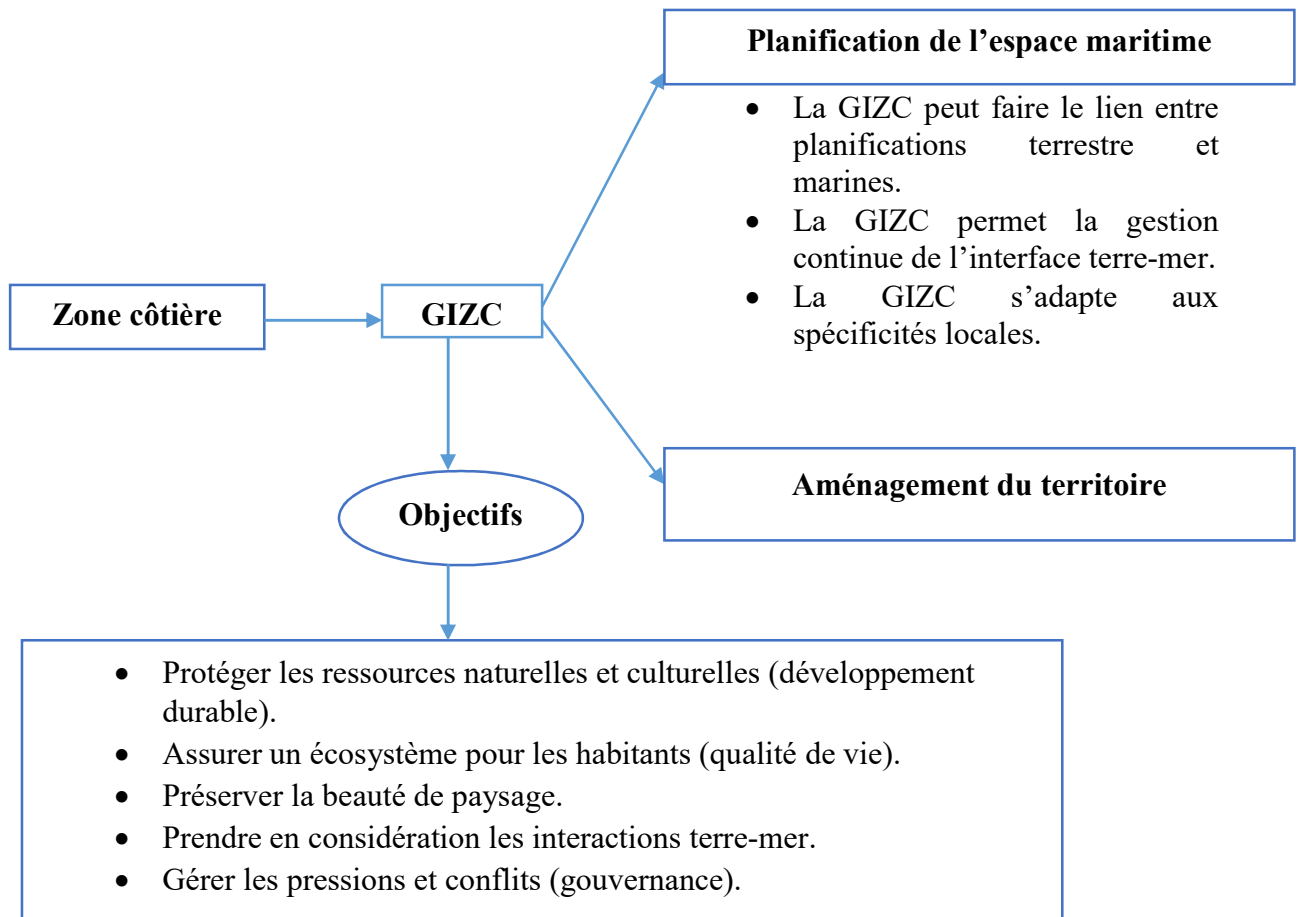
CHAPITRE VI : Gestion Intégrée des Zones Côtières

Le milieu littoral est un espace très convoité du fait de son importance que ce soit naturelle, sociale, culturelle ou économique, et très fragile car la moindre modification dans ce milieu entraîne plus ou moins des répercussions sur sa naturalité. De plus les divers intérêts qu'il suscite ne sont pas compatibles entre eux, et ne respectent pas sa véritable vocation. Donc il semble primordial que des lois spécifiques au littoral viennent compléter le vide juridique en matière de protection de l'environnement côtier.

Dans notre pays, les pressions sur le milieu et ses ressources et les impacts qui en résultent, caractérisent encore l'état de beaucoup de nos régions littorales. De nombreux travaux et comptes rendus indiquent un état des lieux de nos zones côtières qui nécessite la conduite et la mise en œuvre d'une politique authentique de leur développement durable.

La GIZC est un processus dynamique qui réunit gouvernement et société, science et décideurs, intérêt public et privé, en vue de la protection et du développement des systèmes et des ressources côtières...

Ce processus vise à optimiser les choix à long terme privilégiant les ressources et leur usage raisonné et raisonnable.... (Cicin-Sain Knecht)



VI.I. Approche du programme GIZC dans la zone d'étude

Plusieurs paramètres interviennent dans l'évolution de cette zone et dégradent d'une manière directe ou indirecte le milieu et les ressources dont il recèle. Les différentes pressions aussi bien anthropiques que naturelles qu'on a pu recenser au niveau de notre zone, sont résumées comme suit :

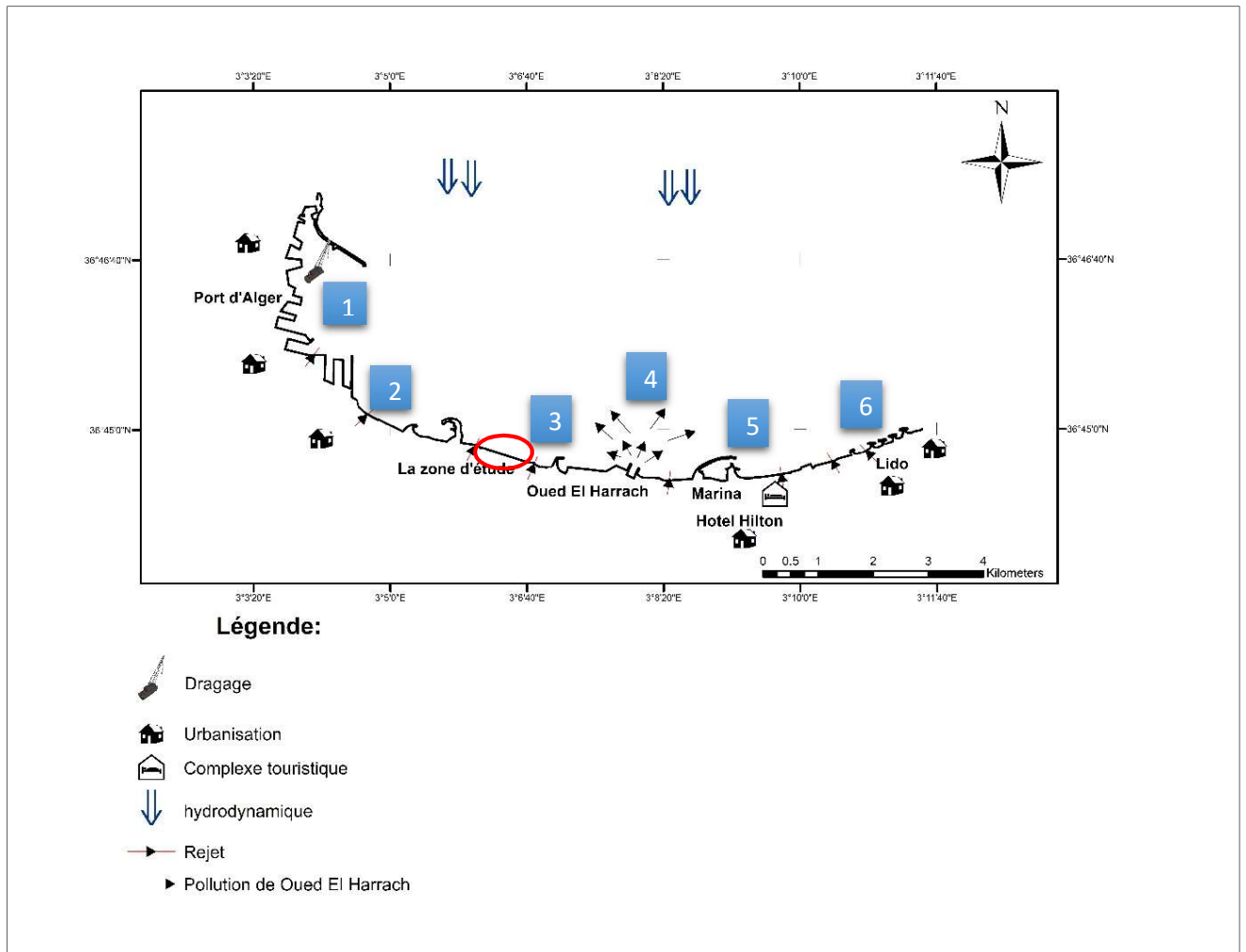


Figure n°66: Impacts des différentes pressions au niveau de la zone étudiée

1. Port d'Alger :

Situé dans la partie Nord-Ouest de la baie d'Alger, le port d'Alger jouit d'une position géographique particulière faisant de lui le premier port commercial d'Algérie mais aussi l'infrastructure la plus importante de la baie d'Alger. Les impacts du port sont comme suit :

- La pollution générée par les activités Portuaires : entretien, navigation...
- Travaux du dragage qui perturbe le milieu (panache de vases, turbidité...).
- Rejets de macro-déchets polluants dans les bassins d'accostage.
- Déversement des eaux des cales et des huiles de vidanges en mer
- Effet sur la dérive et le transport sédimentaire.
- Modification de la géomorphologie et de la bathymétrie de la zone

2. Littoralisation, station de dessalement et rejets domestiques et industrielles :

Le littoral algérois est connu par une démographie importante, ce qui a plusieurs impacts qui interfèrent entre eux :

- Urbanisation non réglementé et constructions illicites.
- Amplifications des débits solides et liquides (Rejets d'eaux usées)
- Pollution produite par la station de dessalements d'eau de mer.

3. Plage et promenade des Sablettes

La promenade des Sablettes abrite la plage de piquet blanc, une plage très fréquentée durant la saison estivale, cependant ces flux touristiques ainsi que les différentes infrastructures existantes au niveau de la baie d'Alger influence sur :

- La qualité des eaux de baignade et forte pollution au niveau de la plage.
- Modification de la dynamique hydro sédimentaire, accroissement et élargissement de la plage.

4. Oued El Harrach

Oued El Harrach représente l'un des court d'eau les plus importants et les plus pollués d'Algérie, il apporte un débit de $4\text{m}^3/\text{s}$, cependant les travaux d'aménagement de l'oued en cours auront comme principal objectif l'élargissement des berges de l'oued et de diminuer la pollution qu'il engendre :

- Changement des débits solides et liquides.
- Panaches et changement de la dynamique sédimentaire.
- Pollution chimique et biologique de la matrice eau et sédiment.

5. Marina D'Alger

La construction d'un port de plaisance dans la baie d'Alger va impacter la région sur plusieurs plans :

- Les travaux maritimes de la marina engendrent une modification du trait de côte, des dragages et le rejet de leurs produits.
- La marina va impacter la qualité des eaux de mer par les rejets des moteurs des embarcations touristiques et du transport maritime, ce qui peut influencer négativement la qualité des eaux de baignades de notre zone d'étude.
- La marina va créer un pôle touristique important au niveau de la baie d'Alger.

6. Promenade du Lido et brises lames de Bordj El Kifane

La mise en place des différents ouvrages de protection tels que les Brises lames en T et L, les cordons d'enrochements, la promenade et le rechargement artificiel, au niveau de la frange côtière de Bordj El Kifane , a provoqué des changements importants sur la ligne de rivage ou il y a eu de forts taux d'accrétion et de faibles taux d'érosion, Ces installation ont un impact également sur :

- Modification de la dynamique sédimentaire au niveau de la plage par le piégeage du transit Est-Ouest et empêchement du départ des sédiments vers le large. Ces ouvrages ont un impact positif localement.
- Sur le plan visuel, les ouvrages de protection ont un impact visuel remarquable qui s'insère mal dans le paysage (artificialisation de la zone)

Conclusion

Conclusion générale

La capitale Alger connaît, dans le cadre du développement touristique et l'aménagement côtier, un assaut important, se tournant vers un tourisme balnéaire s'ouvrant ainsi sur de nouvelles étendues et avancées sur la mer.

L'aménagement d'une plage artificielle comme abordé lors de ce mémoire nécessite une panoplie d'études à réaliser (sédimentologique, bathymétriques, évolution des fonds, étude du climat de houle...). Les résultats de ces études représentent des données de base pour pouvoir modéliser numériquement et physiquement notre projet.

Le premier chapitre, consacré à l'identification des principales caractéristiques du site des Sablettes combiné à la maîtrise des différentes méthodologies expliquées dans le deuxième chapitre ont permis de faire ressortir des résultats concluants comme suit :

L'étude sédimentologique indique que notre zone d'étude représente en général un seul stock sédimentaire représenté par du sable fin, avec un grano-classement décroissant de la côte vers le large. Ce résultat reflète les données de l'hydrodynamisme côtier (courants modérés) dans la zone d'étude.

La modélisation numérique a démontré l'impact de la houle oblique 20°N qui est la plus influente sur la force de l'hydrodynamisme et par conséquent sur le transit sédimentaire qui est estimé initialement, avant l'aménagement à 1166 m³/an/m et qui a nettement été diminué et ne dépasse pas les 190 m³/an/m.

Le choix du type de la plage artificielle et la modélisation dans le bassin ont permis d'observer le comportement de l'ouvrage vis-à-vis des houles dominantes. La réalisation de l'ouvrage en modèle réduit physique, a permis d'avoir une confirmation qualitative sur le transit sédimentaire tel qu'observé dans le logiciel Mike-21, lors de la modélisation numérique.

Ainsi les résultats obtenus lors de notre travail ont permis de mettre l'accent sur l'aide qu'apporte les puissants logiciels à l'instar de Mike 21, la modélisation physique permet quant à elle non seulement de confirmer les résultats de la modélisation numérique mais permet également de compléter l'étude par des données sur la stabilité des ouvrages, les franchissements et les agitations, et ainsi de déterminer la variable la plus stable à adopter.

Par ailleurs, la comparaison entre hauteurs significatives des houles à -6m dans les deux modèles sont très proches et converge vers le même résultat, cette observation nous confirme la fiabilité des deux méthodes dans l'appréciation des impacts des houles sur le choix de l'aménagement.

Enfin, l'approche sur la Gestion Intégrée des Zones Côtières évoquée à la fin de notre mémoire, a permis de mettre l'accent sur les principaux impacts des ouvrages et installations présents au niveau de la baie d'Alger. Ces approches sont indispensables pour une gestion durable de la côte algéroise, notamment pour le contrôle et le suivi des impacts sur l'environnement (pollution, urbanisation, surexploitation, érosion.....)

Références bibliographiques

Bibliographies

- ADJAL .M, 2014.** Modélisation physique de la dynamique hydro-sédimentaire de la plage Ouest de Boumerdes. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Algérie : ENSSMAL, 26p
- AL SID CHIKH, S. 2011.** Etude de protection de la plage de palm Beach-Azur contre l'érosion : Recours à la modélisation numérique et physique. Diplôme de Magister, Surveillance et Gestion de l'environnement marin et littoral, ENSSMAL p 131_132
- ANRH, (2014).** Caractéristiques de Oued EL Harrach et Oued El Hamiz. Document non publié : ANRH.
- APPL. (2015).** Plage Sirène I - Agence de Promotion et de Protection du Littoral de la Wilaya d'Alger. [En ligne 7 Juin 2015]. [Citation : 23 Février 2017].
- BELLABAS .S – BOUKHARI .M, 2018.** Morphodynamique et modélisation hydro-sédimentaire des plages du littoral centre Algérois « cas de la frange côtière Bordj El Kiffan » Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Algérie : ENSSMAL, 31-32p
- BOUKHEDICH, W., 2017.** Etude de faisabilité de rechargement artificiel des plages de la côte ouest-algéroise. *Mémoire d'ingénieur.* Aménagement du littoral. Algérie : ENSSMAL, PP 18-6
- BOUTIBA, M. (2009).** Analyse par ondelettes des variations historiques de la ligne de rivage entre l'oued Reghaia et l'Oued Mazafran (Wilaya d'Alger). Vol 20, n°2, 144p
- BOUTIBA, M. (2009).** Analyse par ondelettes des variations historiques de la ligne de rivage entre l'Oued Reghaia et l'Oued Mazafran (Wilaya d'Alger).
- CAUDE, G. (2003).** Modélisation physique au XXI^{ème} siècle. 08-09 Octobre 2003- Lyon France : CETMEF
- CERTAIN, R. (2002).** Morphodynamique d'une côte sableuse microtidale à barre: le Golf du Lion (LANGUEDOC-ROUSSILLON). *Thèse de doctorat. Université de PERPIGNAN.*
- DAHMANI, H. (2012).** Utilisation de la modélisation physique et numérique pour l'étude des paramètres hydrodynamiques dans la zone centre Algéroise « Le site des Sablettes ». *Thèse de Magister. Science de la Mer. Alger : ENSSMAL.* 57p.
- DHI (2014) a.** Mike21 Spectral Wave Module Scientific Documentation. Denmark: Hørsholm, p.385.
- DHI (2014) b.** Mike 21/3 Coupled Model FM. Scientific Documentation.
- DHI (2014) c.** Mike ZERO: Creating 2D Bathymetries. Bathymetry Editor & MeshGenerator. Denmark : Hørsholm, p.114.
- HAMON, K. (2014).** Etude de la morpho dynamique et du profil d'équilibre d'une plage de poche macro tidale. *Thèse de doctorat. Océanographie.* Brest : UBO, 228p.
- JICA, Ministère de l'Habitat et de l'urbanisme, C.G.S. (2006)** Etude de Microzonage sismique de la wilaya d'Alger

- KADRI, I. (2017).** Impacts de l'implantation des ouvrages de protection sur la frange côtière de Bordj El Kiffan. *Mémoire d'ingénieur. ENSSMAL*, 91p.
- LARBI, N., 2017.** Etude de protection et d'aménagement de la zone de verte de rive, Recours à la modélisation physique et numérique (Mike21, Litpack). Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Algérie : ENSSMAL, p6
- LEM (1999).** Etude de l'établissement de la carte sédimentaire du littoral algérien, 1ere tranche. Rapport de synthèse. Document non publié. Alger : Laboratoire d'étude maritime.
- LEM (2015).** Etude sur modèle réduit physique en bassin à houle de l'épi n° 2au niveau du site des salettes. Rapport de synthèse. Alger : Laboratoire d'étude maritime.
- 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.
- LEM. (1997).** Etude de protection de la station de Bordj El Kiffan, Dossier d'Appel d'Offres. 1997.
- LEM. (2014).** Etude d'aménagement de la promenade de la baie d'Alger, mission 3.1. Rapport de reconnaissance. Document non publié, Alger : Laboratoire d'étude maritime.15p
- LEM. (2016).** Etude d'aménagement de la promenade de la baie d'Alger, étude de réalisation (Mission 3.2.5). Rapport de synthèse. Alger : Laboratoire d'étude maritime.
- MECHOUET, O ; MESBAHI, Y. (2016).** Aménagement de la promenade de la baie d'Alger : étude sur modèle réduit physique du transport sédimentaire dans la promenade des Sables « baie d'Alger », p51.
- NADIR, M. (2016).** Modélisation numérique de la morpho dynamique d'une côte sableuse soumise à l'effet des vagues et des houles cas : plage Est de Sidi Fredj. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Algérie : ENSSMAL. 152p.
- ONM, (2017).** Statistiques des données météorologiques de la station de Dar EL Beida de la période (2006-2016). Données non publié : ONM.
- OTMANI, H. (2014).** Impact des infrastructures maritimes sur le littoral : Cas du port de Cap Djinet. *Thèse de magister. Géorisque. ENSSMAL .Alger*, 107 p.
- PAC. (2005).** Programme d'Aménagement côtier : zone côtière algéroise. Rapport Final intégré. Document non publié. MATE : PAC.
- PASKOFF, R. (1998).** La crise des plages : pénurie de sédiment. *MappeMonde*, 52 :11_15, 1998a.
- PASKOFF. R (1993).** Côtes en danger. Paris : Ed Masson. 250p.
- S.S.M.O (1970).** Summary of synoptic meteorological observations: Mediterranean marine areas. Document non-publié. États-Unis d'Amérique : NWSC Washington ds.
- VIGUIER. (1992).** Modèle en hydraulique maritime. In : Techniques de l'ingénieur.
- THAN, V. (2015).** Modélisation d'érosion côtière : application à la partie Ouest du tombolo de Giens. *Thèse de doctorat. Mathématique. (Marseille) : l'université d'Aix-Marseille*.

Web :

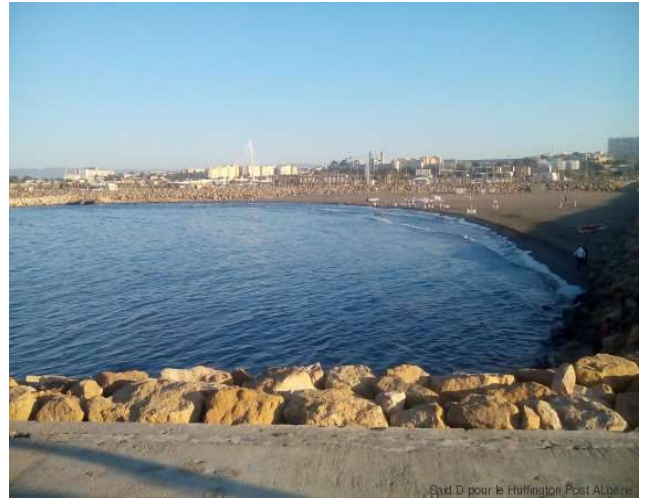
www.mediafire.com/view/rr6pv2o6bf6k87u/M21SW_Scientic_Doc.pdf

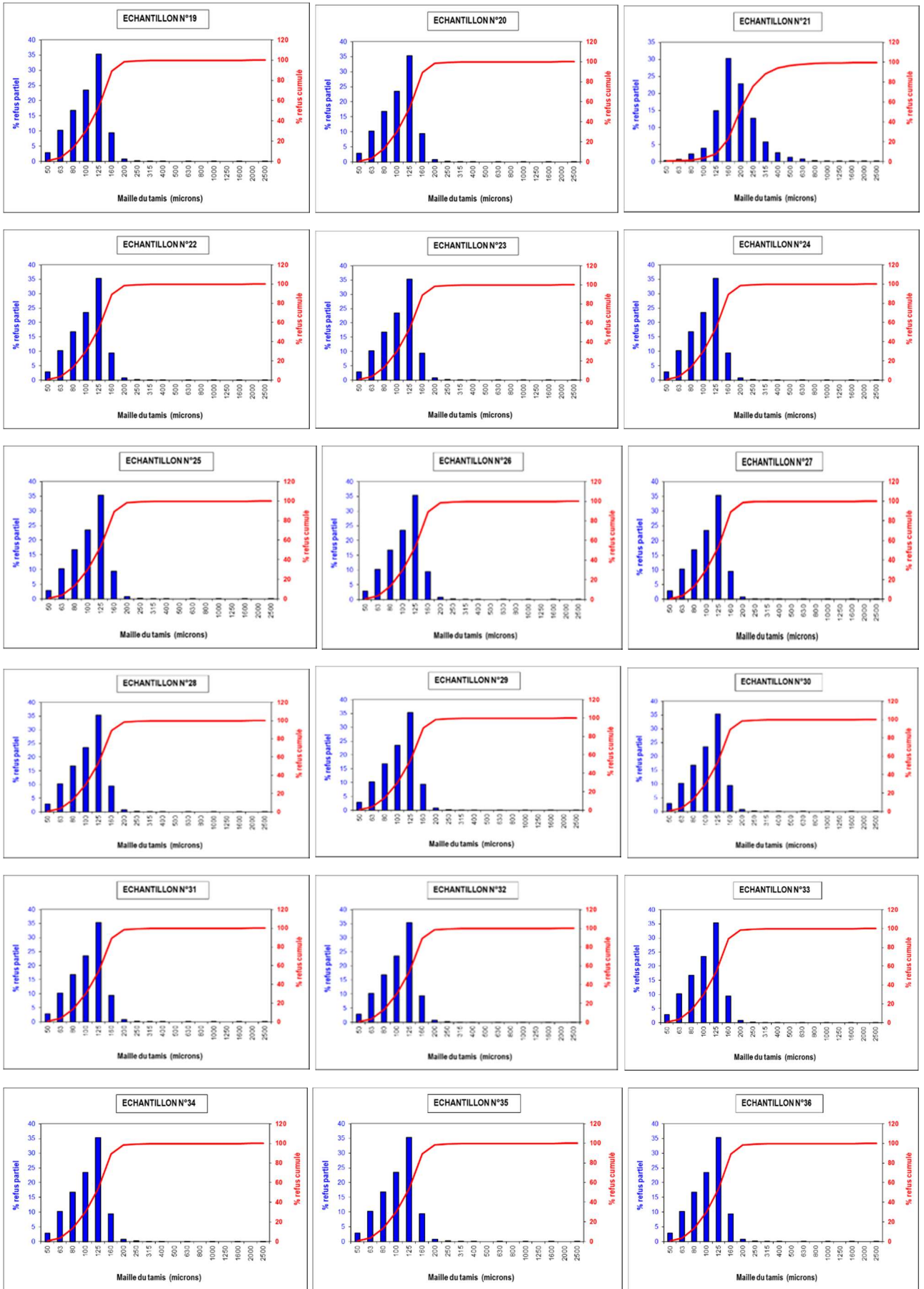
www.mediafire.com/view/yc3w6h2c2elqnhh/BathymetryGeneration_Scientic_Doc.pdf

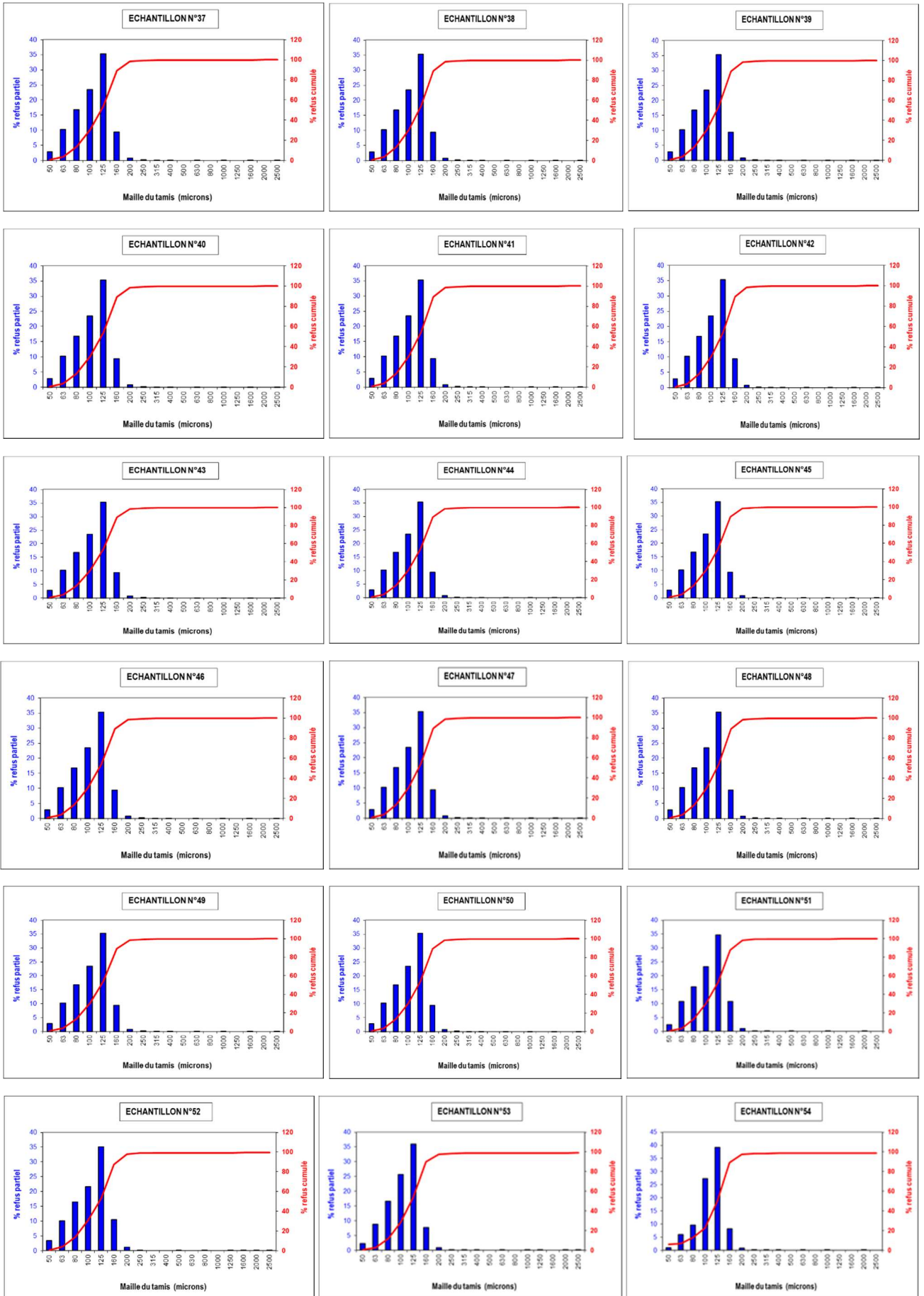
www.mediafire.com/4extjtmhec4v/MIKE_213_Coupled_Model_FM.pdf.

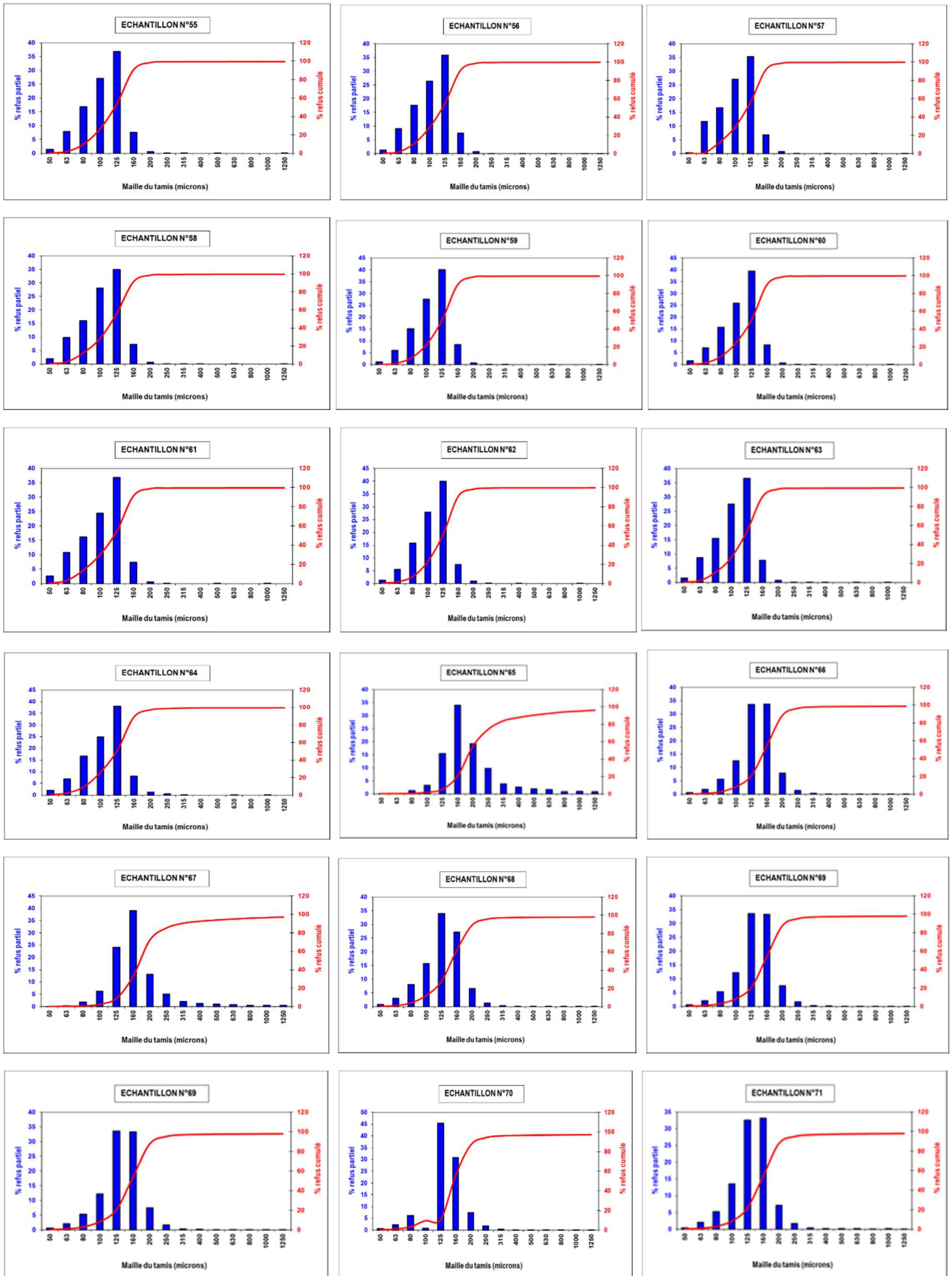
ANNEXES

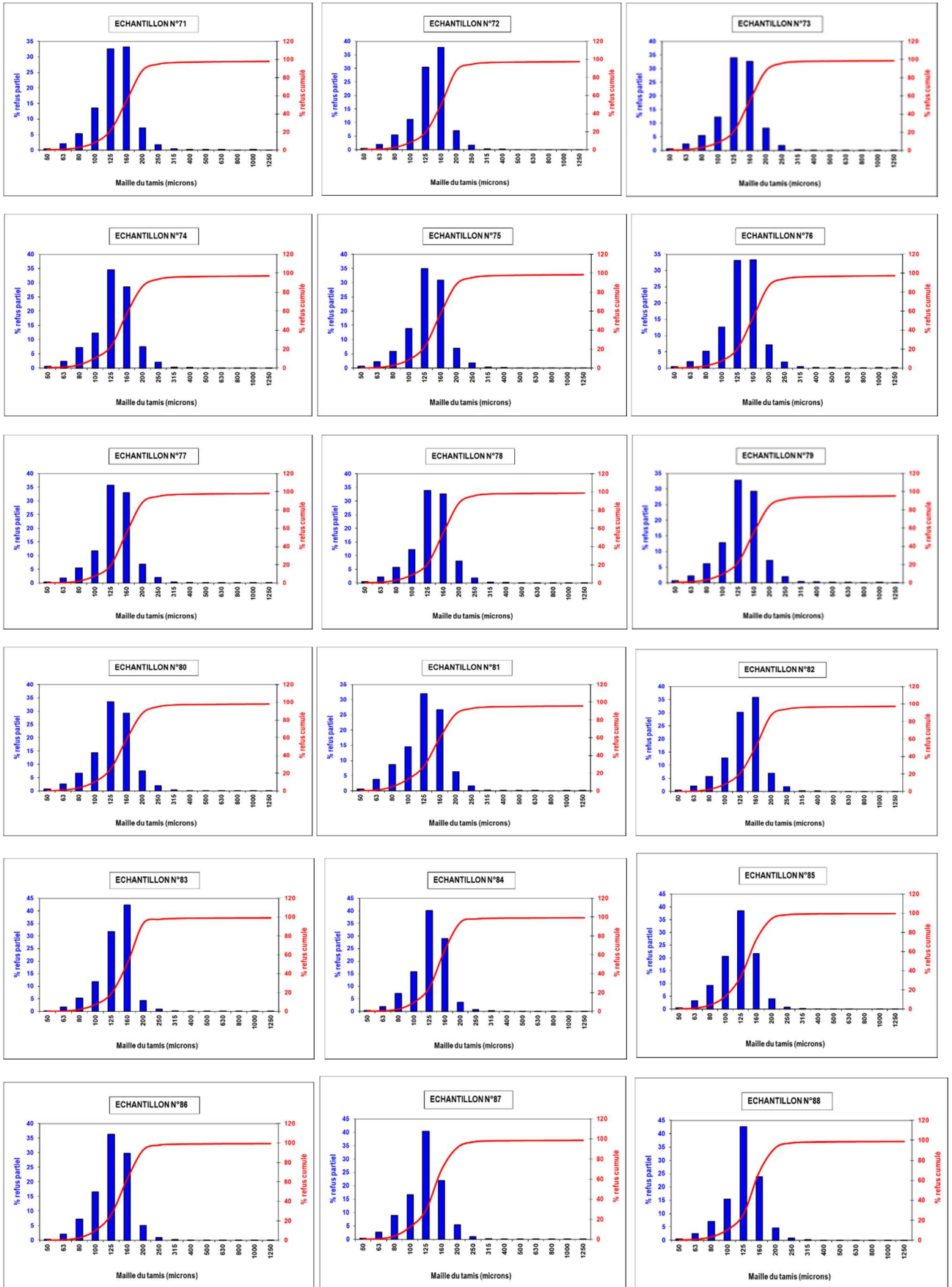
PHOTOS DU SITE D'ETUDE

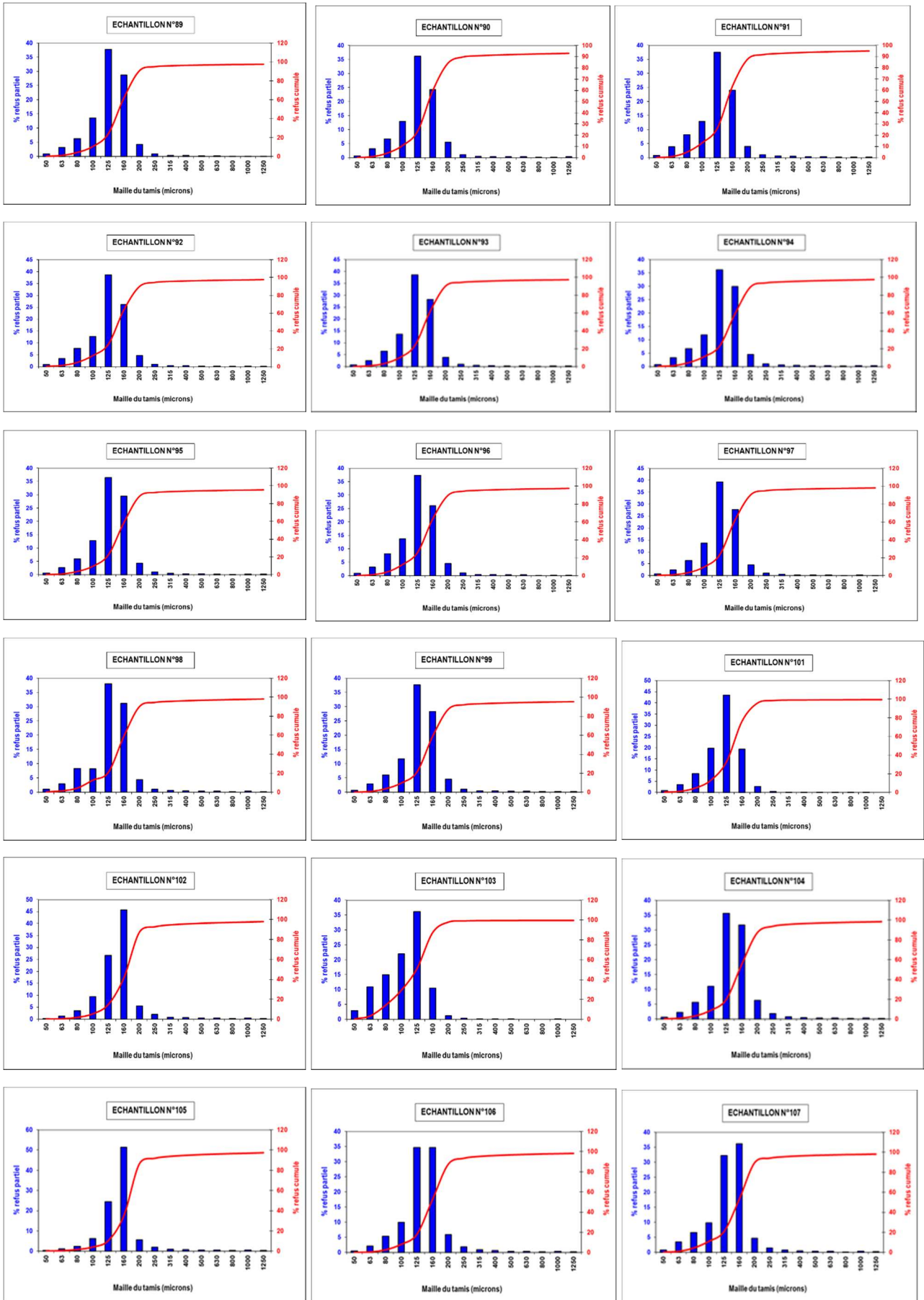


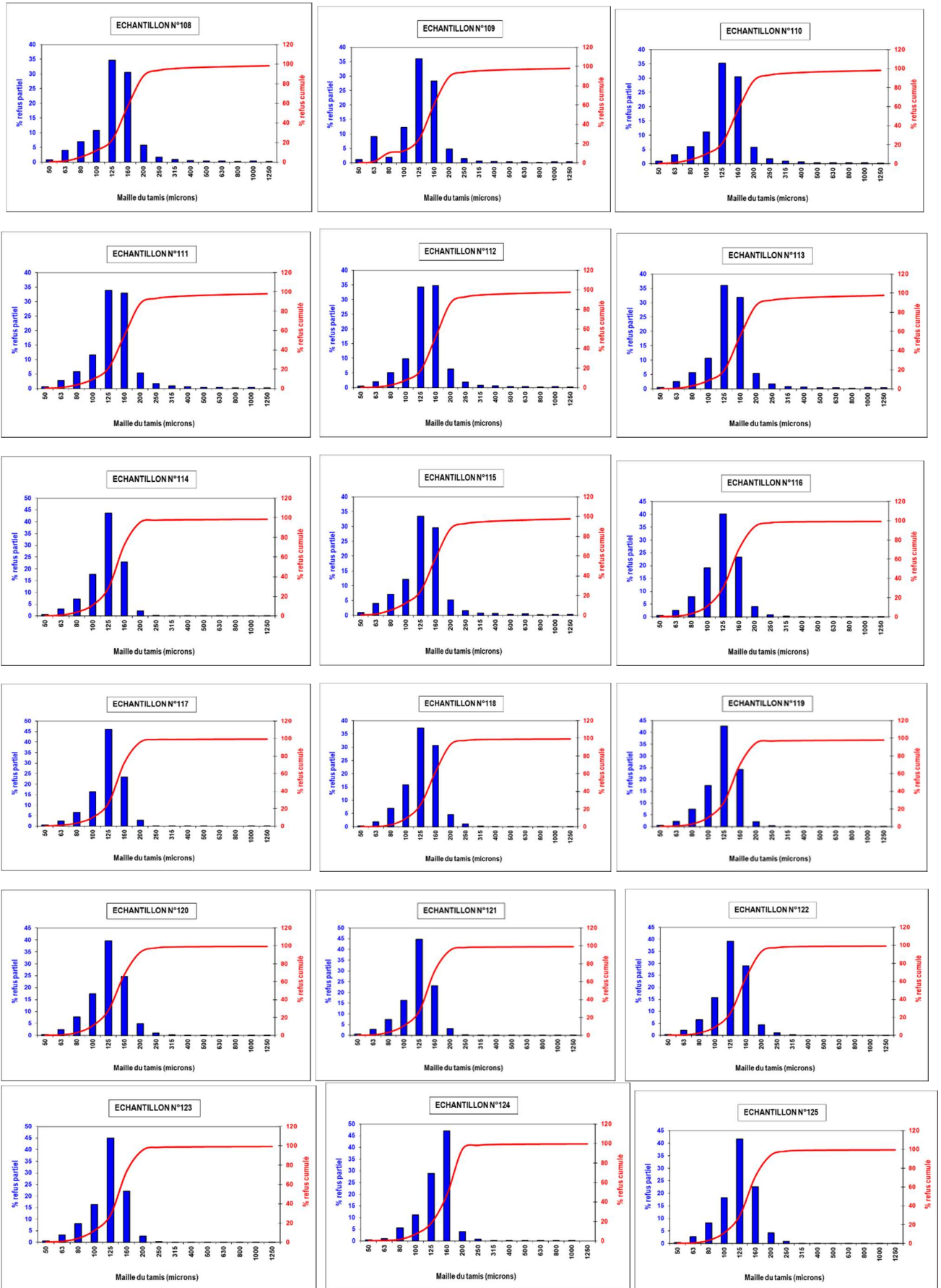


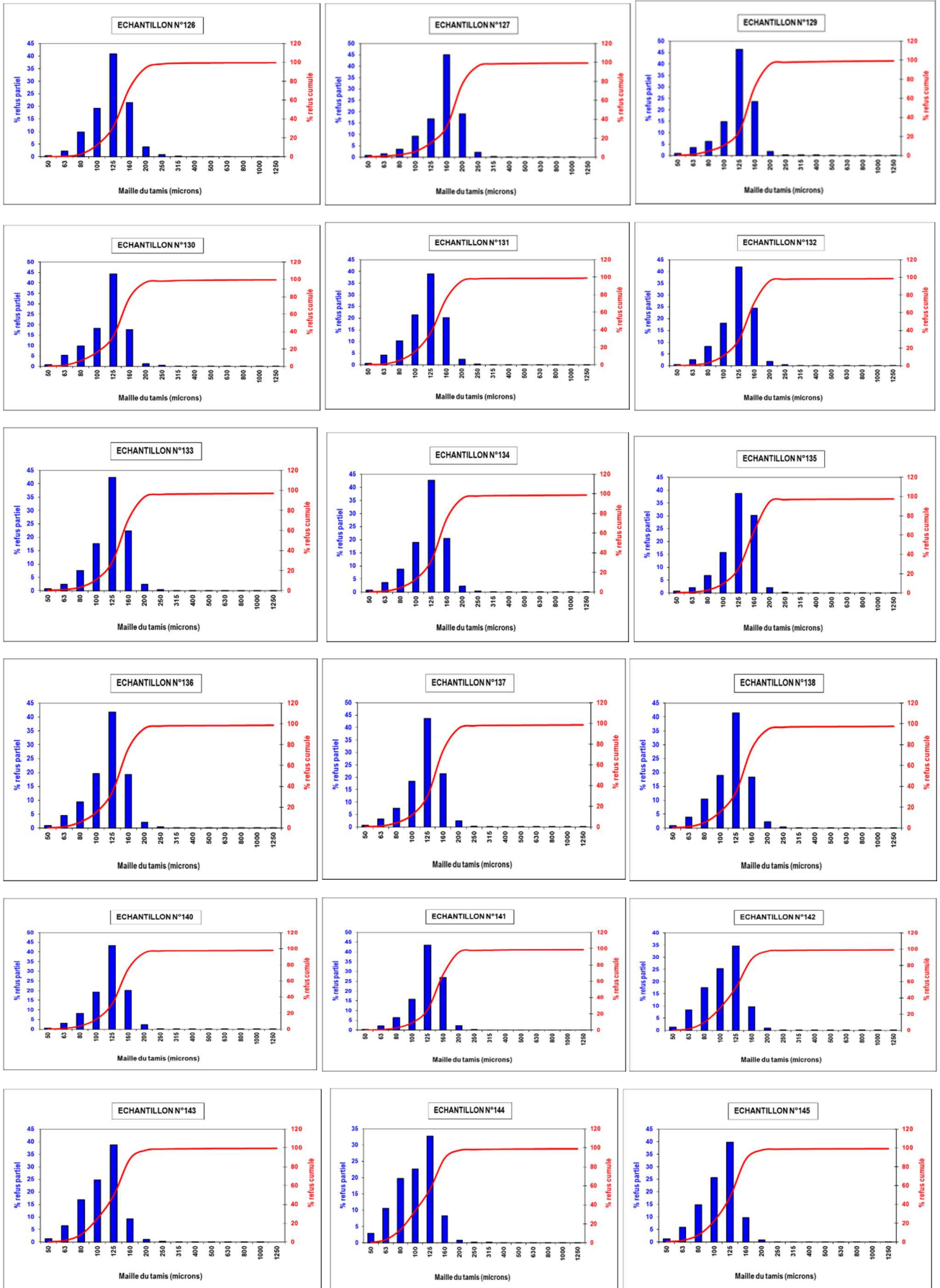


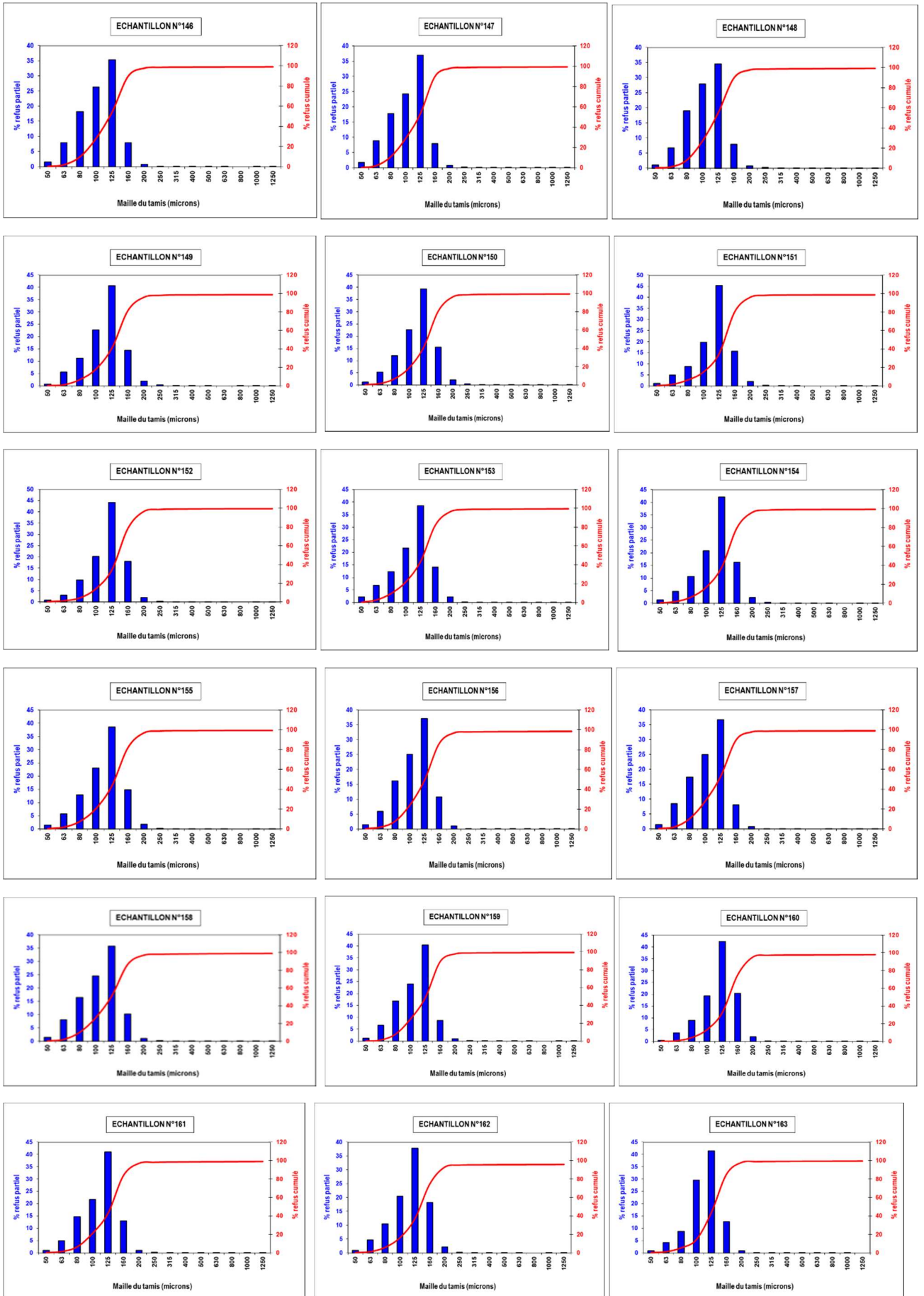


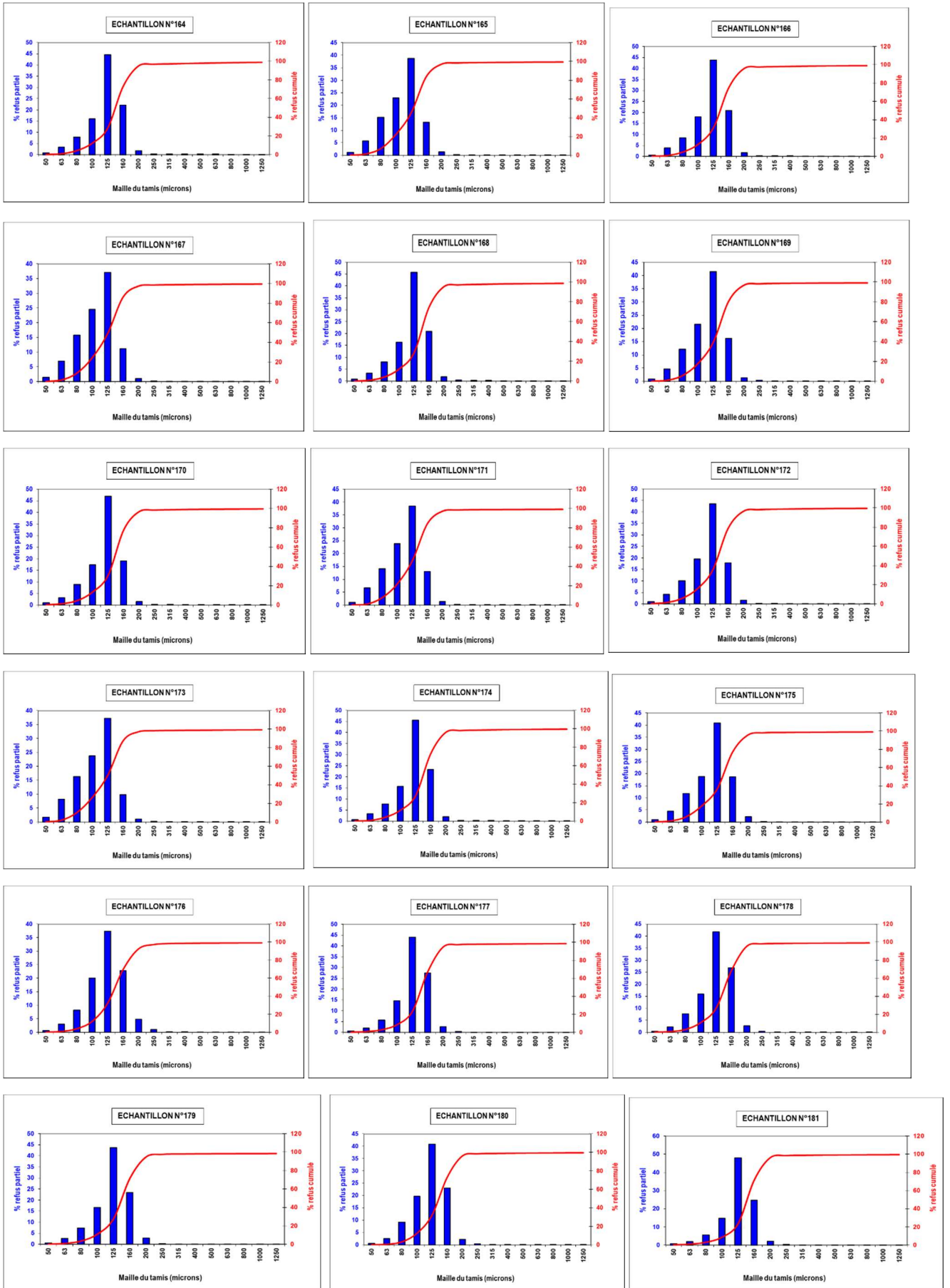


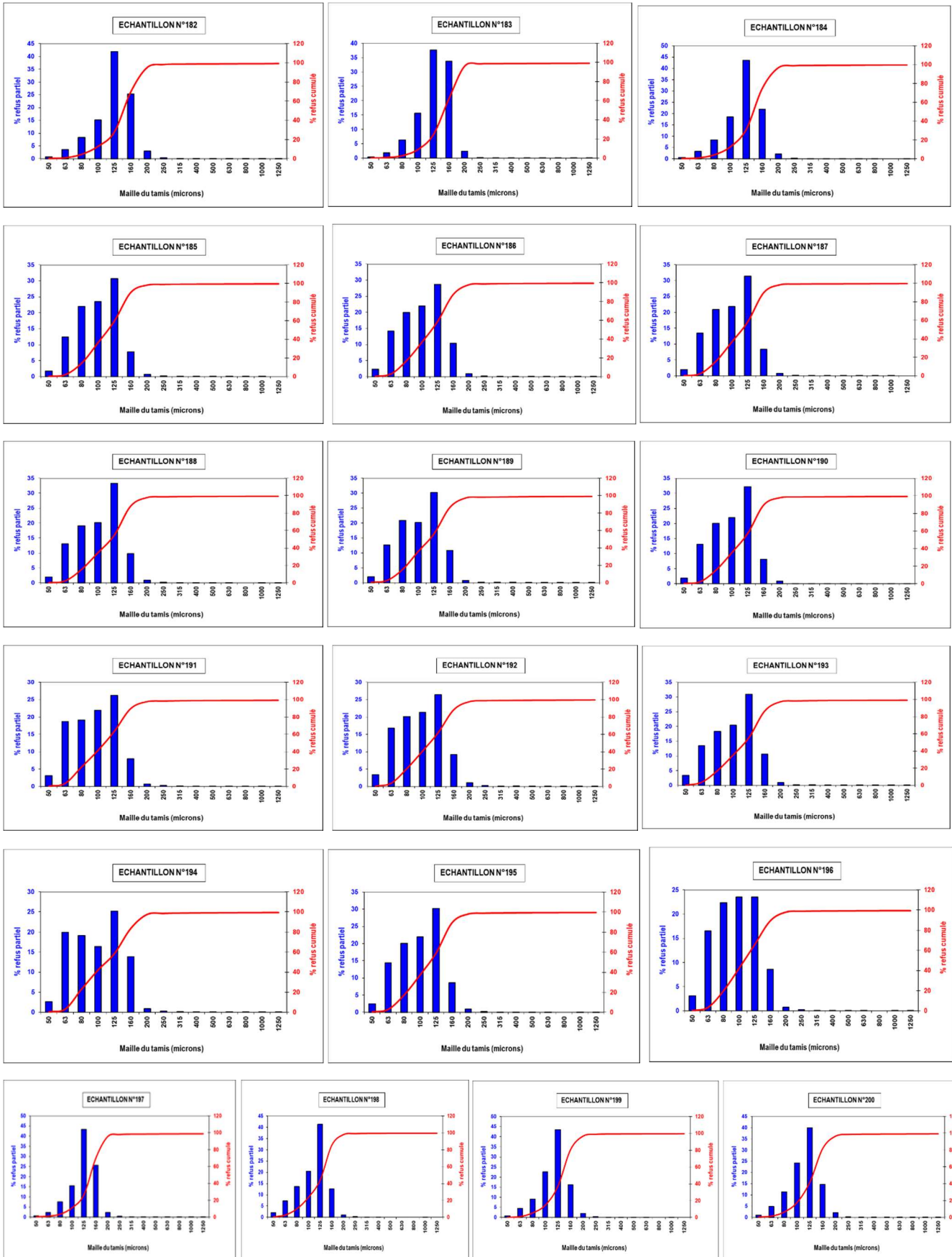












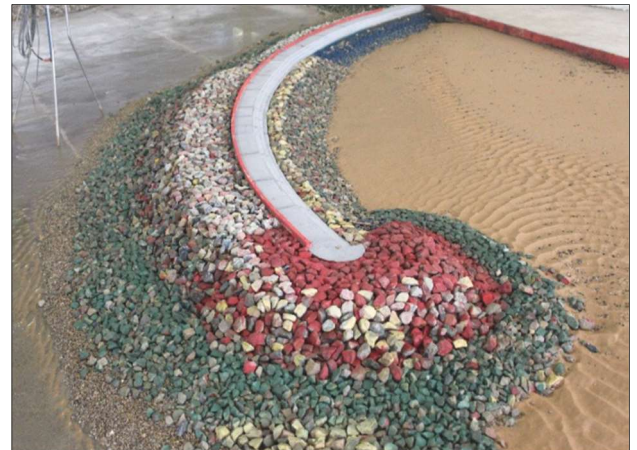
ÉTAT DE L'OUVRAGE AVANT LA SERIE D'ESSAIS



ÉTAT DES EPIS CORRESPONDANT AUX DIFFERENTES SERIES D'ESSAIS



ÉTAT DES EPIS APRES LES SERIES D'ESSAIS



Résumé

L'engouement pour le milieu côtier algérois suit une tendance mondiale, c'est le reflet des enjeux socio-économiques que présente la zone notamment en matière touristique.

Le site « **Des Sablettes** » est situé sur la rive occidentale de la baie d'Alger. La côte, orientée sensiblement O-N-O à E-S-E, fait face principalement aux agitations venant du Nord et du Secteur Nord-Est. Cette zone est fortement anthropisée et rentre dans le projet de l'aménagement de la baie d'Alger. Un nombre important d'ouvrages est réalisé, où la création d'une grande plage artificielle y est prévue, ce qui suscite une nécessité d'étude perspective,

Dans le but de connaître, de comprendre et de déterminer l'impact de l'implantation de cette plage artificielle sur l'hydrodynamisme local, une modélisation numérique (modèle couplé de Mike 21) et une modélisation physique (en bassin sur modèle réduit) ont été effectuées en s'appuyant sur les résultats des études granulométrique et bathymétrique...

Ce présent mémoire englobe 4 chapitres, décrivant la zone d'étude, la méthodologie et le matériel utilisé, l'affichage des cartes élaborés par le logiciel Mike 21 et leur interprétation. Une corrélation entre les deux modélisations, en s'appuyant sur les valeurs de H_s enregistrés, a été faite confirmant ainsi la complémentarité entre les deux méthodes numérique et physique.

Un dernier chapitre consacré à la GIZC de la baie d'Alger été abordé.

Mots Clés : Modèle réduit physique, modélisation numérique, Rechargement artificiel, hydrodynamique, Mike21, Sablettes, baie d'Alger.

Abstract :

The craze for the Algerian coastal environment follows a global trend, it reflects the socio-economic issues that the area presents in particular in tourism.

The site " Sablettes" is located on the western shore of the bay of Algiers. The coast, oriented substantially from O-N-O to E-S-E, is mainly affected by disturbances from the North and the North-East Sector. This area is highly anthropized and is part of the development project of the Bay of Algiers. A large number of infrastructures are produced, where the creation of a large artificial beach is planned, which gives rise to a need for perspective study,

In order to know, understand and determine the impact of the implantation of this artificial beach on the local hydrodynamism, a numerical modeling (coupled model of Mike 21) and a physical modeling (in basin on model reduced) have been carried out based on the results of granulometric and bathymetric studies ...

This memo contains four chapters, describing the study area, the methodology and materials used, the display of maps developed by the Mike 21 software and their interpretation. A correlation between the two models, based on the recorded H_S values, was made thus confirming the complementarity between the two numerical and physical methods.

A final chapter on ICZM of Algiers Bay was discussed.

Keyword (s): Physical model, numerical modeling, artificial recharge, hydrodynamic, Mike21, Sablettes, bay of Algiers.

شغف البيئة الساحلية الجزائرية يتبع اتجاهاً عالمياً، فهو يعكس القضايا الاجتماعية والاقتصادية التي تبرزها المنطقة بشكل خاص في مجال السياحة

يقع موقع السبلات على الشاطئ الغربي لخليج الجزائر العاصمة. الساحل موجه بشكل كبير من الشمال الغربي إلى الشرق من الجنوب الشرقي، يواجه بشكل رئيسي التحريصات القادمة من الشمال والقطاع الشمالي الشرقي. هذه المنطقة منبثقة للغاية وهي جزء من مشروع تطوير خليج الجزائر حيث يتم التخطيط لإنشاء شاطئ اصطناعي كبير، مما يثير الحاجة إلى دراسة هذا المنظور

من أجل معرفة وفهم وتحديد تأثير غرس هذا الشاطئ الاصطناعي على الديناميكية المائية المحلية، نمذجة عددية (نموذج مقترن لمايك 21) ونمذجة فيزيائية (في حوض على نموذج مخفض) تم تنفيذها بناءً على نتائج الدراسات الحبيبية والقياسات الباثيمترية

تحتوي هذه المذكرة على أربعة فصول، تصف منطقة الدراسة، المنهجية والمواد المستخدمة، وعرض الخرائط التي طورها برنامج مايك 21 وتفسيرها. وتم إنشاء ارتباط بين النموذجين، استناداً إلى قيم النظام المنسق المسجلة، مما يؤكد التكامل بين الطريقتين العددية والمادية

تمت مناقشة الفصل الأخير حول "ICZM" لخليج الجزائر

الكلمات الرئيسية: النموذج المادي، النمذجة العددية، الهيدروديناميكية، خليج الجزائر، مايك 21