

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

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



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur  
d'Etat et de grade Master en Sciences de la Mer

Option : Aménagement du littoral

Thème :

**CONTRIBUTION A LA CONNAISSANCE DE LA MORPHOLOGIE ET DE  
LA DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE DE LA CÔTE OUEST D'ALGERIE,  
PLAGE D'AIN FRANINE, ORAN.**

Présenté par :

**ALLAL Majda**

Soutenu le 13/09/2017 devant le jury composé de :

<b>Mme. MEHDID S.</b>	<b>Maître-Assistante A</b>	<b>ENSSMAL</b>	<b>Présidente</b>
<b>M. OTMANI H.</b>	<b>Maître-Assistant A</b>	<b>ENSSMAL</b>	<b>Examineur</b>
<b>Mme MOKHBI D.</b>	<b>Maître de conférences</b>	<b>ENSSMAL</b>	<b>Examinatrice</b>
<b>M. SOUKANE S.</b>	<b>Maître de conférences</b>	<b>ENSSMAL</b>	<b>Promoteur</b>

**Année universitaire : 2016-2017**

## Remerciements

Je tiens en premier lieu à remercier le Dieu de m'avoir procuré : santé et patience. Je voudrais aussi exprimer ma reconnaissance à mon promoteur **M SOUKANE S** et aux membres du jury :

- **Mme MEHDID S**, d'avoir accepté de présider le jury de cette soutenance.
- **Mme MOKHBI D**, d'avoir acceptée d'examiner ce modeste travail.
- **M OTMANI H**, d'avoir acceptée d'examiner ce modeste travail.

Je tiens également à exprimer mes remerciements à mes professeurs : Monsieur **LARID M.** (qu'Allah l'accueille dans son vaste paradis), **OTMANI H.**, **GUERFI M.** et Madame **HENDA A.** et **MEHDID S.** qui m'ont tant inspiré durant mon parcours, et dont les conseils m'ont été précieux. Ainsi que les agents de la bibliothèque Mohammed, Zahra, Fatima.

Je désire aussi remercier ma mère et mes tantes Djamila et Mouna, ces braves femmes qui m'ont soutenu et motivé.

## Table des matières

Remerciements.....	I
Table des matières.....	II
Liste des acronymes.....	VII
Liste des figures.....	VIII
Liste des tableaux.....	X
<b>INTRODUCTION GENERALE.....</b>	<b>1</b>
INTRODUCTION GENERALE.....	2
<b>CHAPITRE I : GENERALITES</b>	
Introduction.....	5
I.1. La zonation hydrodynamique du littoral.....	5
I.2. Processus hydrodynamiques.....	6
I.2.1. Propagation de la vague.....	7
I.2.2. Les mouvements de la houle.....	7
I.2.3. Les courants.....	10
I.3. Dynamique sédimentaire du littoral sableux.....	10
I.3.1. Processus sédimentaires.....	11
I.3.2. Transport sédimentaire.....	11
I.3.2.1. Transport littoral par la houle.....	12
I.3.3. Evolution morphologique du littoral sableux.....	12
I.3.3.1. Facteurs d'équilibre sédimentaire des plages.....	13
I.3.3.2. Erosion côtière.....	14
Conclusion.....	14
<b>CHAPITRE II : PRESENTATION DU SITE D'ETUDE</b>	
Introduction.....	16
II.1. Présentation géographique du site.....	16
II.2. Présentation géomorphologique du site.....	17
II.2.1. Nature et répartition des sédiments : (Leclaire, 1972).....	18
II.3. Cadre géologique.....	19

II.3.1. Morphostructure du site d'étude .....	19
II.4. Présentation hydro-climatique .....	22
II.4.1. Facteurs météorologique et hydrologique .....	22
II.4.1.1. Climat et température .....	22
II.4.1.2. Précipitations .....	22
II.4.1.3. Les vents .....	22
II.4.2. Facteurs hydrodynamiques .....	24
II.4.2.1. Les houles .....	24
II.4.2.2. Les courants .....	25
Conclusion .....	25

### **CHAPITRE III : ETUDE GRANULOMETRIQUE**

Introduction .....	27
III.1. Le prélèvement des sédiments .....	27
III.2. Méthode d'analyse au laboratoire .....	28
III.2.1. Une phase expérimentale .....	28
III.2.2. Une phase de traitement des résultats obtenus .....	29
III.3. Exploitation des données .....	29
III.3.1. Courbe granulométrique .....	29
III.3.2. Les paramètres et indices granulométriques .....	29
III.3.3. Caractères sédimentologique des dépôts superficiels .....	31
III.4. Partie aérienne .....	32
III.4.1. Analyse de la fraction fine .....	32
III.4.2. Analyse de la fraction grossière .....	32
III.4.2.1. D25 (quartile inférieur) .....	32
III.4.2.2. D50 (médiane) .....	33
III.4.2.3. D75 (quartile supérieur) .....	33
III.4.2.4. L'indice central .....	34
III.4.2.5. L'indice de dispersion .....	34
III.4.2.6. Le coefficient d'asymétrie .....	35
III.4.2.7. Les indices d'angulosité .....	35

III.5. Partie marine .....	36
III.5.1. Analyse de la fraction fine .....	36
III.5.2. Analyse de la fraction grossière .....	36
III.5.2.1. D10 (décile inférieur) .....	36
III.5.2.2. D50 (médiane) .....	37
III.5.2.3. D90 (décile supérieur) .....	37
III.5.2.4. L'indice central .....	38
III.5.2.5. Analyse modale .....	38
Conclusion .....	39
<b>CHAPITRE IV : ETUDE BATHYMETRIQUE ET HYDRO-SEDIMENTAIRE</b>	
Introduction .....	41
IV.1. Description du modèle de simulation MIKE .....	41
IV.1.1. Modèle SW .....	41
IV.1.2. Modèle HD .....	42
IV.1.3. Modèle ST .....	42
IV.1.4. Méthodologie .....	43
IV.2. L'exploitation des cartes marines sous MIKE 21 .....	43
IV.2.1. Etude bathymétrique .....	43
IV.2.1.1. Résultats .....	45
IV.2.2. Etude hydrodynamique .....	47
IV.2.2.1. Résultats de la simulation numérique .....	49
IV.2.2.1.1. Propagation des houles de direction Nord au large (360°) .....	49
IV.2.2.1.2. Propagation des houles de direction Nord-Ouest au large (315°) .....	51
IV.2.2.1.3. Les champs de courant de direction Nord au large (360°).....	53
IV.2.2.1.4. Les champs de courant de direction Nord-Ouest au large (315°) .....	55
IV.2.2.1.5. La capacité de transport solide de direction Nord 360° .....	57
IV.2.2.1.6. La capacité de transport solide de direction Nord-Ouest 315° .....	59
Conclusion .....	61

**CHAPITRE V : APPLICATION DES SIG AU SUIVI DE L'EVOLUTION DU TRAIT DE COTE**

Introduction .....	63
V.1. Evolution du trait de côte .....	63
V.2. Erosion côtière et SIG .....	63
V.3. Méthodologie .....	63
V.3.1. Récolte des données .....	63
V.3.2. Moyens et procédures .....	63
V.4. Procédure de suivi de traitement .....	65
V.4.1. Volet cartographique .....	65
V.4.1.1. Géoréférencement et digitalisation .....	65
V.4.1.2. Génération de ligne de base et transects.....	66
V.4.2. Volet graphique et statistique .....	67
V.5. Résultat de la manipulation .....	67
V.5.1 Variation de la ligne de cote .....	67
V.5.2. L'évolution des surfaces des plages entre 2001 et 2017 .....	73

**CHAPITRE VI : ETUDE DE VULNERABILITE COTIERE**

Introduction .....	76
VI.1. La vulnérabilité côtière .....	76
VI.1.1. Indice de vulnérabilité physique .....	76
VI.1.2. Méthodologie suivie .....	76
VI.1.2.1. Choix des variables .....	77
VI.1.2.2. Affectation des scores .....	77
VI.1.2.2.1. La géomorphologie .....	78
VI.1.2.2.2. La pente .....	80
VI.1.2.2.3. Le taux de recul du trait de côte .....	81
VI.1.2.2.4. La vitesse de l'élévation relative du niveau de la mer .....	81
VI.1.2.2.5. Les amplitudes moyennes de la marée .....	83
VI.1.2.2.6. Les amplitudes moyennes de la houle .....	83
VI.2. Calcul de l'indice de vulnérabilité .....	84
Conclusion .....	86

**CHAPITRE VII : MECANISMES DE PROTECTION**

Introduction .....	88
VII.1. Solutions de protection dures .....	88
VII.1.1. Variante 01 : Brise-lame émergé .....	88
VII.1.1.1. Les avantages .....	89
VII.1.1.2. Les inconvénients .....	89
VII.1.1.3. Dimensionnement du brise-lame .....	89
VII.1.2. Variante 02 : les géo-tubes .....	91
VII.1.2.1. Les avantages .....	91
VII.1.2.2. Les inconvénients .....	92
VII.1.2.3. Dimensionnement du géo-tube.....	92
VII.1.3. Comparaison entre les deux variantes .....	94
VII.2. Stratégie de protection douce .....	95
VII.2.1. La technique d'écoplage.....	95
VII.2.2. La technique de Stabiplage .....	96
VII.3. Gestion de la zone côtière .....	97
Conclusion .....	97
CONCLUSION GENERALE.....	98
CONCLUSION GENERALE.....	99
BIBLIOGRAPHIE.....	101
ANNEXE.....	104

## Liste des acronymes

- A.F.N.O.R** : Association Française de Normalisation.
- BCR** : Béton compacté au rouleau.
- CVI** : Indice de vulnérabilité côtière.
- D.S.A.S**: Digital Shoreline Analysis System.
- E.P.R**: End Point Rate.
- E.S.R.I**: Environmental Systems Research Institute.
- G.P.S**: Global positioning system.
- GIZC** : Gestion intégrée des zones côtières.
- L.C.H.F** : Laboratoire Central Hydraulique de France.
- L.E.M** : Laboratoire des Études Maritimes.
- N.S.M**: Net Shoreline Movement.
- O.N.M** : Office National de Météorologie.
- SDAT** : Le Schéma Directeur d'Aménagement Touristique.
- S.H.O.M** : Service Hydrographique et Océanographique de la Marine.
- SHFN** : Service hydrographique des forces navales.
- S.I.G** : Système d'Information Géographique.
- S.S.M.O**: Summary of Synoptic Meteorological Observation.
- T.V.C** : Tout venant de carrière.
- U.T.M**: Universal Time Mercator.
- W.G.S**: World Geoïde System.
- ZET** : Zone d'extension touristique.

## Liste des figures

<b>Figure I. 1 :</b> Zonation hydrodynamique du littoral. (www.geocaching.com, 2012) .....	5
<b>Figure I. 2:</b> Echelle des temps hydrodynamiques en milieu littoral.....	6
<b>Figure I. 3:</b> Illustration montrant les caractéristiques des vagues (GRASSO, 2009).....	6
<b>Figure I. 4 :</b> Schéma montrant le principe de propagation de la houle. ( <i>Bruno Duchet</i> ) .....	7
<b>Figure I. 5 :</b> Parcours des vagues et des houles du large vers le rivage (SHOM, 2012). .....	8
<b>Figure I. 6 :</b> Schéma montrant les types de déferlements. (TPE).....	8
<b>Figure I. 7:</b> Schéma représentant des rayons et lignes de crête d'une houle se propageant sur une bathymétrie complexe (Charles Lebret, 2010). .....	9
<b>Figure I. 8:</b> Répartition spatio-temporelle des facteurs impliqués dans la dynamique sédimentaire des littoraux (FENSTER et al, 1993).....	11
<b>Figure I. 9:</b> Illustration les différents types de transport sédimentaire (FREDSOE et DEIGAARD, 1992). .....	11
<b>Figure I. 10:</b> Synthèse des paramètres influençant l'évolution morphologique des côtes (GRASSO, 2009). .....	13
<b>Figure II. 1 :</b> Situation géographique du site d'Ain Franine. ....	16
<b>Figure II. 2:</b> Couverture sédimentaire de la région d'Oran. (LECLAIRE, 1972).....	18
<b>Figure II. 3:</b> Mouvement de terrain complexe de grande taille près d'Ain Franine.....	20
<b>Figure II. 4:</b> Glissement rotationnel d'Ain Franine (les rides d'extension menacent des habitations). ....	20
<b>Figure II. 5:</b> Glissement secondaire fossile (stabilisé). .....	20
<b>Figure II. 6 :</b> Failles transversale déduites de l'analyse de la forme des masses glissées. ....	21
<b>Figure II. 7:</b> Valeurs moyennes mensuelles des paramètres climatiques à Oran en 2009 (ONM). ....	22
<b>Figure II. 8 :</b> Rose trimestrielle et annuelle des vents (données SSMO). ....	23
<b>Figure II. 9 :</b> Direction des houles défavorables au niveau de la plage d'Ain Franine. ....	24
<b>Figure III. 1 :</b> Carte illustrative des points de prélèvements des échantillons de la plage. ....	27
<b>Figure III. 2 :</b> Carte de positionnement des points de prélèvements en mer.....	27
<b>Figure III. 3:</b> Carte de répartition spatiale de la fraction fine de la plage d'Ain Franine. ....	32
<b>Figure III. 4:</b> Carte de répartition du D25 de la plage aérienne. ....	33
<b>Figure III. 5:</b> Carte de répartition du D50 de la plage aérienne. ....	33
<b>Figure III. 6:</b> Carte de répartition du D75 de la plage aérienne. ....	34
<b>Figure III. 7:</b> Carte de la distribution de $M_z$ . ....	34
<b>Figure III. 8:</b> Représentation graphique de $S_i$ .....	35
<b>Figure III. 9:</b> Représentation graphique de $S_K$ . ....	35
<b>Figure III. 10:</b> Carte de répartition spatiale de la fraction fine de la plage sous-marine. ....	36
<b>Figure III. 11:</b> Carte de répartition du D10 de la plage sous-marine. ....	36
<b>Figure III. 12:</b> Carte de répartition spatiale de la médiane de la plage sou marine. ....	37
<b>Figure III. 13:</b> Carte de répartition spatiale du D90 de la plage sous-marine.....	38
<b>Figure III. 14:</b> Carte de la distribution de $M_z$ de la plage sous-marine. ....	38
<b>Figure III. 15:</b> Histogramme de fréquence des modes.....	39
<b>Figure IV. 1:</b> Géoréférencement de la carte marine. ....	43
<b>Figure IV. 2 :</b> Digitalisation des isobathes de la carte marine d'Oran. ....	44
<b>Figure IV. 3 :</b> Le maillage résultant. ....	44
<b>Figure IV. 4:</b> Carte bathymétrique du golf d'Oran réalisé par MIKE 21.....	45
<b>Figure IV. 5 :</b> Carte bathymétrique du site d'étude réalisé par MIKE 21. ....	45
<b>Figure IV. 6 :</b> Profils bathymétrique de la plage d'Ain Franine. ....	46
<b>Figure IV. 7 :</b> Schéma récapitulatif de l'approche méthodologique de la modélisation par les codes MIKE 21.....	48
<b>Figure IV. 8 :</b> Champs de houles ( $MWD=360^\circ$ ) pour $T= 6$ s $H=1,07$ m. ....	49

<b>Figure IV. 9 :</b> Champs de houles (MWD=360°) pour T=8 s et Hs = 2,68m.....	49
<b>Figure IV. 10:</b> Champs de houles (MWD=360°) pour T=10 s Hs= 7,12 m.....	50
<b>Figure IV. 11 :</b> Champs de houles (MWD=315°) pour T= 6 s Hs= 1,11m.....	51
<b>Figure IV. 12 :</b> Champs de houles (MWD=315°) pour T= 8 s Hs= 2,49 m.....	51
<b>Figure IV. 13:</b> Champs de houles (MWD=315°) pour T= 10 s et Hs = 4,53 m.....	52
<b>Figure IV. 14:</b> Champs de courants (MWD=360°) pour T= 6 s Hs= 1,07m.....	53
<b>Figure IV. 15:</b> Champs de courants (MWD=360°) pour T= 8 s Hs= 2,68 m.....	53
<b>Figure IV. 16 :</b> Champs de courants (MWD=360°) pour T=10 s Hs= 7,12 m.....	54
<b>Figure IV. 17 :</b> Champs de courants (MWD=315°) pour T= 6 s et Hs = 1,11 m.....	55
<b>Figure IV. 18 :</b> Champs de courants (MWD=315°) pour T= 8 s et Hs = 2,49 m.....	55
<b>Figure IV. 19 :</b> Champs de courants (MWD=315°) pour T= 10 s et Hs = 4,53 m.....	56
<b>Figure IV. 20 :</b> Capacité de transport solide (MWD=360°) pour T= 6 s Hs = 1,07 m.....	57
<b>Figure IV. 21 :</b> Capacité de transport solide (MWD=360°) pour T=8 s et Hs = 2,68m.....	57
<b>Figure IV. 22 :</b> Capacité de transport port solide (MWD=360°) pour T=10 s H= 7,12 m.....	58
<b>Figure IV. 23 :</b> Capacité de transport solide (MWD=315°) pour T= 6 s et Hs = 1,11 m.....	59
<b>Figure IV. 24 :</b> Capacité de transport solide (MWD=315°) pour T= 8 s et Hs = 2,49 m.....	59
<b>Figure IV. 25 :</b> Capacité de transport solide (MWD=315°) pour T= 10 s et Hs = 4,53 m.....	60
<b>Figure V. 1 :</b> Téléchargement des images sur Google Earth avec les points de repères.....	65
<b>Figure V. 2:</b> Géoréférencement et digitalisation des traits de cotes sur ArcMap.....	65
<b>Figure V. 3:</b> Introduction des paramètres d'entrées dans l'outil DSAS et remplissage de la table attributaire des traits de côte.....	66
<b>Figure V. 4:</b> Lancement des calculs statistiques.....	67
<b>Figure V. 5:</b> Carte d'évolution du trait de côte entre 2011-2012.....	68
<b>Figure V. 6 :</b> Carte d'évolution du trait de côte entre 2012-2013.....	68
<b>Figure V. 7 :</b> Carte d'évolution du trait de côte entre 2013-2014.....	69
<b>Figure V. 8 :</b> Carte d'évolution du trait de côte entre 2014-2015.....	70
<b>Figure V. 9 :</b> Graphe de l'évolution du trait de côte 2014-2015.....	70
<b>Figure V. 10 :</b> Carte d'évolution du trait de côte entre 2015-2016.....	71
<b>Figure V. 11 :</b> Carte d'évolution du trait de côte entre 2016-2017.....	71
<b>Figure V. 12 :</b> Carte d'évolution du trait de côte entre 2011-2017.....	72
<b>Figure V. 13 :</b> Représentation graphique du bilan sédimentaire 2011-2017.....	73
<b>Figure V. 14 :</b> Carte du bilan sédimentaire de la plage d'Ain Franine entre 2011 et 2017.....	73
<b>Figure V. 15 :</b> Modèle cartographique récapitulatif, basé sur le calcul de l'End Point Rate (EPR) de la plage d'Ain Franine entre 2011 et 2017.....	74
<b>Figure VI. 1:</b> Création d'une grille de cellules sur MapInfo Professional 8.0.....	76
<b>Figure VI. 2:</b> Carte représentant les facteurs de risque relatifs à la géomorphologie.....	79
<b>Figure VI. 3:</b> Distribution des facteurs de risque relatifs à la pente côtière.....	80
<b>Figure VI. 4:</b> Distribution des facteurs de risque relatifs au recul du trait de côte.....	81
<b>Figure VI. 5:</b> Estimation de la remontée du niveau de la mer de la mission Topex-Jason1.....	82
<b>Figure VI. 6:</b> Distribution des facteurs de risque relatifs à l'élévation de la mer.....	82
<b>Figure VI. 7:</b> Distribution des facteurs de risque relatifs à l'amplitude de la marée.....	83
<b>Figure VI. 8:</b> Distribution des facteurs de risque relatifs à l'amplitude de la houle.....	84
<b>Figure VI. 9:</b> Courbe des fréquences cumulées en fonction des centres de classe.....	85
<b>Figure VI. 10:</b> Carte représentant l'indice de vulnérabilité (C.V.I.).....	86
<b>Figure VII. 1:</b> Installation du brise-lame dans la plage d'Ain Franine.....	89
<b>Figure VII. 2:</b> Profil du brise-lame proposé pour la plage d'Ain Franine.....	91
<b>Figure VII. 3:</b> Installation du géo-tube dans la plage d'Ain Franine.....	92
<b>Figure VII. 4:</b> Schéma représentatif des six géo-tubes (vue de haut).....	92
<b>Figure VII. 5:</b> Emplacement des variantes de protection à Ain Franine.....	94
<b>Figure VII. 6:</b> Illustration montrant le principe d'écoplage.....	96
<b>Figure VII. 7:</b> Coupe transversale et longitudinale d'un stabiplage avec ancrage.....	96

## Liste des tableaux

<b>Tableau II. 1:</b> Répartition annuelle des vents par direction. ....	23
<b>Tableau II. 2:</b> Répartition des vents d'intensité supérieure à 10 m/s. ....	23
<b>Tableau II. 3:</b> Hauteurs significatives (SSMO, 2014). ....	24
<b>Tableau III. 1:</b> Les valeurs adoptées de $M_z$ .....	30
<b>Tableau III. 2:</b> Les valeurs adoptées de classement $S_i$ .....	30
<b>Tableau III. 3:</b> Les valeurs adoptées pour l'asymétrie SK. ....	31
<b>Tableau III. 4:</b> Les valeurs adoptées de K pour l'acuité du mode. ....	31
<b>Tableau VI. 1:</b> Les six variables physiques utilisées pour la détermination de l'index côtier de vulnérabilité (THIELER et HAMMAR-KLOSE, 2001). ....	77
<b>Tableau VI. 2 :</b> Détermination des classes de CVI et calcul des fréquences cumulées. ....	85
<b>Tableau VI. 3:</b> Représentation des classes de risque. ....	85
<b>Tableau VII. 1:</b> Résultats du dimensionnement du brise-lame. ....	90
<b>Tableau VII. 2:</b> Résultats du dimensionnement du brise-lame. ....	91
<b>Tableau VII. 3:</b> Résultats du dimensionnement du géotube. ....	93
<b>Tableau VII. 4:</b> Résultats de dimensionnement du géo-tube. ....	94
<b>Tableau VII. 5:</b> Comparaison entre les deux variantes proposées. ....	94
<b>Tableau VII. 6 :</b> Coûts des deux variantes.....	95

# INTRODUCTION GENERALE

## INTRODUCTION GENERALE

Le littoral est un milieu marqué par sa vulnérabilité face aux enjeux économiques, industriels et touristique qu'il présente, accompagnant une concentration démographique importante et souvent un manque de concertation entre les acteurs qui influent sur cette partie territoriale, surtout autour des problèmes de gestion de son environnement.

Les plages présentent une tendance continue à s'éroder. Ce phénomène touche 80% des littoraux sableux du monde (PASKOFF, 2004). Dans ces environnements, la tendance érosive naturelle d'ordre climatique, océanologique, géologique est parfois accélérée par des actions anthropiques qui s'ajoutent le long des littoraux à des fins socio-économiques. Les aménagements littoraux (brise lame, épis, digues...) ont alors pour but d'éviter et/ou limiter le recul des plages. Malheureusement, leurs objectifs initiaux ne sont pas toujours atteints et parfois même causent un dysfonctionnement de la dynamique côtière.

De ce fait, l'étude des caractéristiques typiques à chaque milieu côtier et marin s'avère essentielle. Prévoir l'élaboration d'outils fiables de prédiction de l'évolution morphologique d'un site sableux permettra d'obtenir les éléments d'expertise indispensables pour aider les acteurs locaux à établir une gestion éclairée.

Notre zone, la plage d'Ain Franine se situe à l'Est de la ville d'Oran. Aïn Franine, qui est d'abord une source thermale, devra abriter un futur village touristique qui s'étendra sur 87 ha selon les prévisions du SDAT 2025. Le rivage sera dans l'avenir fortement investi.

Le but de ce travail est de dresser un bilan général sur le fonctionnement morpho-dynamique de la plage d'Ain Franine, en soulignant les différents mécanismes interagissant, incluant les flux sédimentaires, le taux net d'évolution du trait de côte et l'hydrodynamisme de la zone, ceci dans le but de proposer des solutions de protection qui assurent le maintien de son équilibre.

Ce travail est réparti en sept chapitres, à savoir :

- Le premier chapitre : consacré à la présentation de généralités qui vont nous servir à l'interprétation des résultats des études et analyses qui seront effectuées.
- Le deuxième chapitre : concerne la présentation du site d'étude, ainsi que la présentation des aspects géographiques, géomorphologiques et hydro-climatologiques.
- Le troisième chapitre : est réservé à l'étude granulométrique de la partie aérienne et sous-marine de la plage d'Ain Franine.

- Le quatrième chapitre : porte sur l'étude hydro-sédimentaire du site d'Ain Franine ; incluant l'étude bathymétrique, la modélisation de la propagation de la houle, des champs de courant et du transport sédimentaire grâce au logiciel MIKE21.
- Le cinquième chapitre : est une étude morpho-dynamique de la zone d'étude avec une analyse de l'évolution historique du trait de côte de 2011 à 2017 avec le logiciel ArcGis 10.2.2.
- Le sixième chapitre : consacré à l'étude de vulnérabilité côtière grâce à l'indice de vulnérabilité de (GORNITZ et al, 1994).
- Le septième chapitre concernera les mesures envisagées par le LEM pour le confortement de la plage d'Ain Franine à petite échelle et du littoral Oranais à grande échelle.

**CHAPITRE I**  
**GENERALITES**

## INTRODUCTION :

Le littoral s'apparente à un milieu édifié par des dynamiques à la fois maritimes, terrestres et atmosphériques, menant à des systèmes territoriaux complexes, qui sont d'une part régis par des contraintes environnementales, et d'autre part, par de fortes spécificités anthropiques interagissant avec ces dynamiques. Les conditions météorologiques et hydrodynamiques contribuent à définir les différents types de systèmes côtiers : falaises rocheuses, plages de sables, vasières... dont l'évolution varie sur différentes échelles temporelles et spatiales.

### I.1. LA ZONATION HYDRODYNAMIQUE DU LITTORAL :

En termes de comportement hydrodynamique, le littoral est subdivisé en quatre zones (Figure I.1).

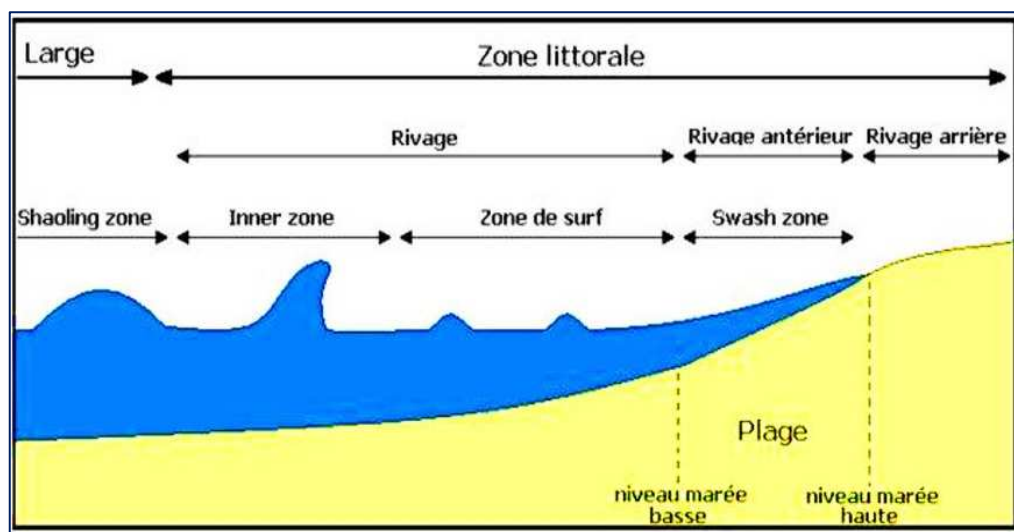


Figure I. 1 : Zonation hydrodynamique du littoral. (www.geocaching.com, 2012)

- a) **La zone de swash (Swash zone) :** Elle représente la partie de la plage qui est exposée au balayage successif des vagues.
- b) **La zone de déferlement (Surf zone) :** Cette zone marque la transition entre le déferlement des vagues et leur amortissement total sur la plage.
- c) **La zone des brisants (Breaker zone) :** Cette zone très dynamique est le lieu de dissipation maximale de l'énergie des vagues incidentes. Le déferlement des vagues se produit lorsque la profondeur d'eau devient faible comparée à leur hauteur.
- d) **La zone de shoaling (Shoaling wave zone) :** Dans cette zone, la profondeur d'eau est telle qu'il se produit une perte d'énergie des vagues par friction sur le fond.

## I.2. PROCESSUS HYDRODYNAMIQUES :

Il existe différents types de perturbations, se propageant à l'interface eau/lithosphère, à savoir ; les vagues (ondes de gravité) et les ondes longues (ondes infragravitaires). Ces perturbations sont caractérisées par des périodes distinctes suivant l'échelle des temps hydrodynamiques.



Figure I. 2: Echelle des temps hydrodynamiques en milieu littoral.

a) **La vague** : Elle est définie comme une onde mécanique qui se propage à la surface de l'eau, correspondant à la déformation périodique d'une interface, causée par le vent. Les ondes de gravité sont représentées par deux types d'ondes :

- Une onde courte : lorsque la longueur d'onde est au moins deux fois plus faible que la profondeur de l'eau, ce qui se produit en eau profonde.
- Une onde longue : lorsque la longueur d'onde est au moins vingt fois supérieure à la profondeur, ce phénomène intervient en eau peu profonde.

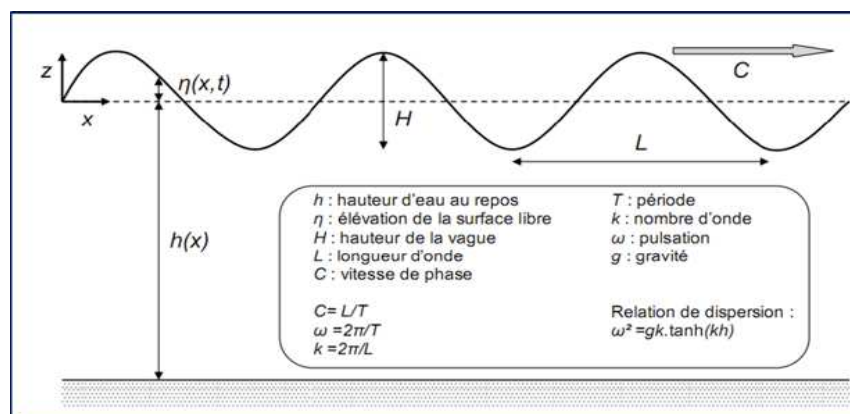


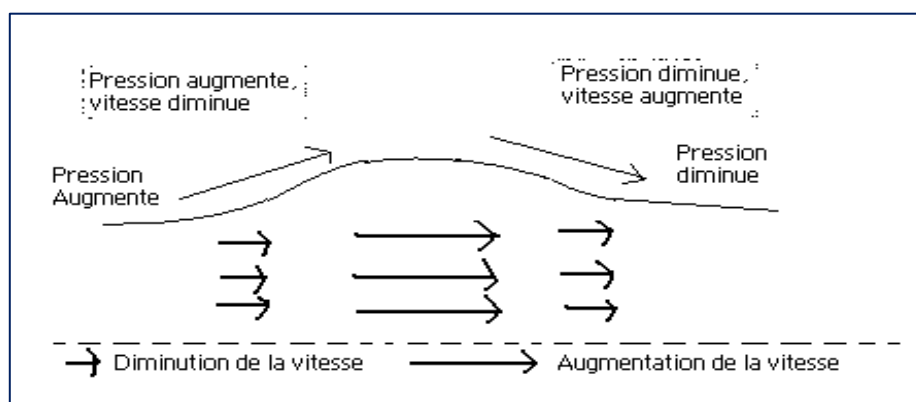
Figure I. 3: Illustration montrant les caractéristiques des vagues (GRASSO, 2009).

b) **Les ondes infragravitaires** : Les ondes infragravitaires résultent de la modulation de l'enveloppe des trains de vagues incidentes et dont la période est supérieure à celle de la houle ( $T \gg 30$  s). Lorsqu'ils sont réfléchis par le trait de côte, ils restent soit coincés dans la zone littorale en se propageant ; on parle d'ondes de bord (edge waves), soit ils repartent vers le large ; on parle alors d'ondes longues fuyantes (leaky waves), ou bien ils se propagent le long de la côte ; le cas des ondes de cisaillement (shear waves).

c) **La Marée** : La marée possède une amplitude généralement faible en Méditerranée, notre littoral algérien est donc de type microtidale. En pleine lune elle peut atteindre 25- 40 cm en moyenne, et celle de la nouvelle lune varie de 5 à 15 cm. À Oran, la marée est importante atteignant 80 cm, il est donc recommandé de prendre en considération le marnage dans les calculs des ouvrages maritimes.

### I.2.1. Propagation de la vague :

Dans un fluide en écoulement, la variation de la vitesse est inversement proportionnelle à la variation de la pression. Ce résultat peut aussi être appliqué dans le cas d'une vague.



**Figure I. 4** : Schéma montrant le principe de propagation de la houle. (www.sciencesconf.org, 2017)

Les vagues naissent et grandissent sous l'action du vent. Lorsque la vitesse des particules d'eau diminue, la pression augmente et le niveau d'eau augmente jusqu'à former «une bosse». La vitesse augmente alors au niveau de la bosse pour la faire tendre à sa position plane d'origine, cela signifie une diminution de la pression, par conséquent, la surface de l'eau redevient plane. Ce phénomène continu permet l'avancement de la vague à travers l'océan jusqu'à ce qu'elle meurt sur les côtes de nos plages (voir Figure I.4).

### I.2.2. Les mouvements de la houle :

Seules les vagues ayant une vitesse inférieure ou proche de celle du vent pourront être entretenues et ainsi voyager à travers l'océan. A partir du moment d'équilibre, moment où la structure de la vague passe de rides à un véritable mouvement d'oscillation (voir figure I.5), le mouvement n'a plus besoin d'être entretenu, il est sans perte d'énergie, appelé « Houle».

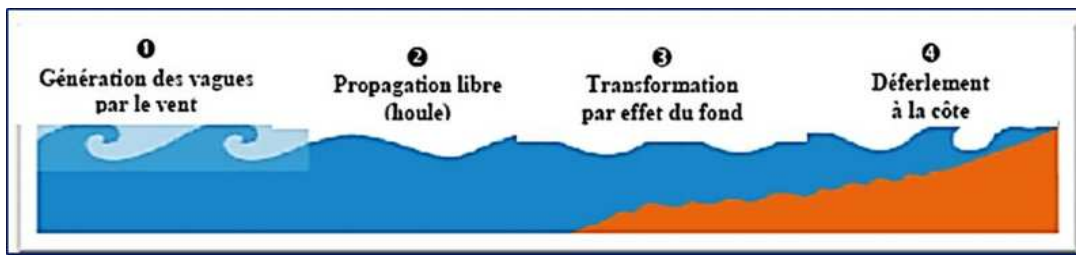


Figure I. 5 : Parcours des vagues et des houles du large vers le rivage (SHOM, 2012).

a) **Le déferlement** : C'est un processus dissipatif de l'énergie qui correspond à la dernière étape de vie d'une vague et qui a donc lieu à l'approche du rivage, il est causé par la diminution de la profondeur de l'eau qui conduit à la réduction de sa longueur d'onde ( $L$ ) et une hausse de son amplitude jusqu'à ce que la hauteur de crête ( $H$ ) augmente d'un facteur de 1,5 par rapport à sa hauteur en eau profonde. Ces deux phénomènes simultanés contribuent à une augmentation irrémédiable de la cambrure, ce qui obligera une vague à déferler provoquant deux phénomènes interdépendants, à savoir :

- Une surélévation du niveau moyen, et un courant de masse parallèle à la côte, appelé courant de houle qui est responsable du transport littoral.
- Une circulation dans un plan vertical perpendiculaire au littoral, dirigée sensiblement vers la côte en surface, et vers le large au fond. Cette dernière est responsable des modifications de profil de plage et de la formation des barres.

Dépendamment de la configuration locale du fond et de l'action du vent, Il existe plusieurs types de déferlement, en l'occurrence, glissant, plongeant ou gonflant (voir la Figure I.6).

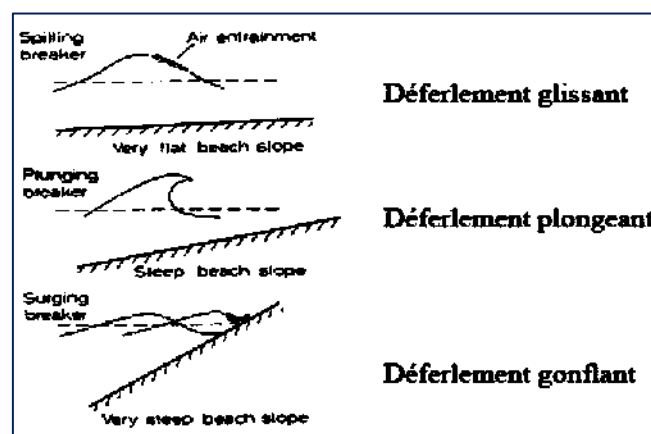


Figure I. 6 : Schéma montrant les types de déferlements. (www.enseeiht.fr, 2011)

L'équation régissant le déferlement est :

$$C_{lim} = 0,14 \tanh\left(2\pi \frac{d}{L}\right) \dots\dots(I.1)$$

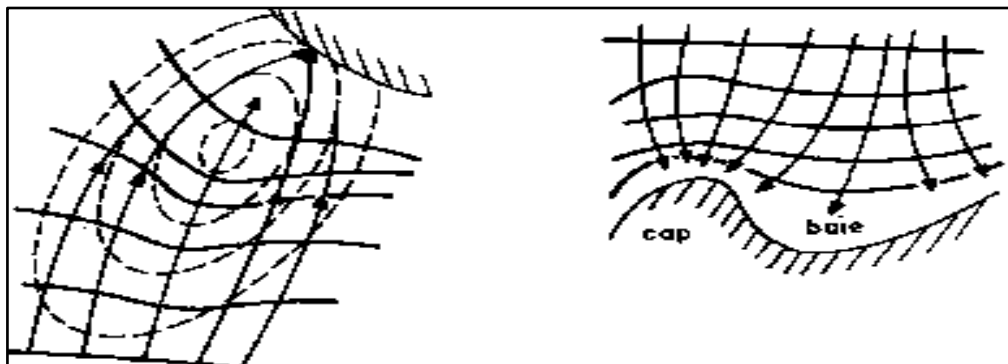
Clim : Cambrure limite,

Où  $d$  est la profondeur du sol marin et  $L$  la longueur d'onde de la vague.

**b) La réfraction :** Quand les fonds remontent ( $d < L/2$ ), la propagation de la houle s'oriente de façon à ce que les lignes des crêtes tendent à rétablir le parallélisme avec les lignes de niveau. Ce phénomène est prédominant surtout loin de la côte (zone de shoaling). Dans les baies, l'énergie s'étale spatialement (réfraction divergente) qui conduit à une diminution des hauteurs, en revanche, l'énergie se concentre au niveau des caps (réfraction convergente). Le coefficient de réfraction  $K_r$  est défini par :

$$K_r = \frac{K_{s_{local}}}{K_{s_{large}}} \dots\dots(1.2)$$

Avec  $K_s$  le coefficient de shoaling.



**Figure I. 7:** Schéma représentant des rayons et lignes de crête d'une houle se propageant sur une bathymétrie complexe. (in DAGHBADJ, 2015)

**c) La diffraction :**

La houle diffracte lorsqu'elle ne se propage plus en ligne droite par profondeur constante ou par fonds variables. La diffraction se traduit par un transfert latéral d'énergie depuis les points de forte amplitude vers les points d'amplitude plus faible. Ce phénomène se manifeste par la concentration ou la divergence des lignes de houle lors de l'affrontement d'un musoir, d'une passe ou d'autres géométries. Elle est d'autant plus marquée que la période de la houle est forte.

**d) La réflexion :**

Quand une vague rencontre perpendiculairement un obstacle vertical et imperméable (quai, digue), elle est donc réfléchiée en formant un angle par l'obstacle réfléchissant, ainsi il peut s'instaurer un système d'ondes stationnaires. L'énergie réfléchiée est importante lorsque les vagues se propagent sur un fond de faible pente.

### I.2.3. Les courants :

Le courant marin, est une masse d'eau qui se déplace sur de très longues distances, à la surface ou en profondeur des mers, ce phénomène a lieu, dès que l'influence des fonds marins ( $d < L/2$ ) commence à se faire sentir. Dans son déplacement le courant est susceptible de transporter des sédiments et de modeler le paysage littoral. Les principaux courants induits par la houle sont :

**a) Le courant de retour (undertow):** En milieu côtier la houle transporte de l'eau dans sa direction de propagation. Cela est vrai dans la zone de déferlement. Le courant de retour permet donc de compenser cet apport de masse en transportant les masses d'eau vers le large, il est également responsable d'un fort transport sédimentaire vers le large et de la migration de barres pendant les épisodes de tempête.

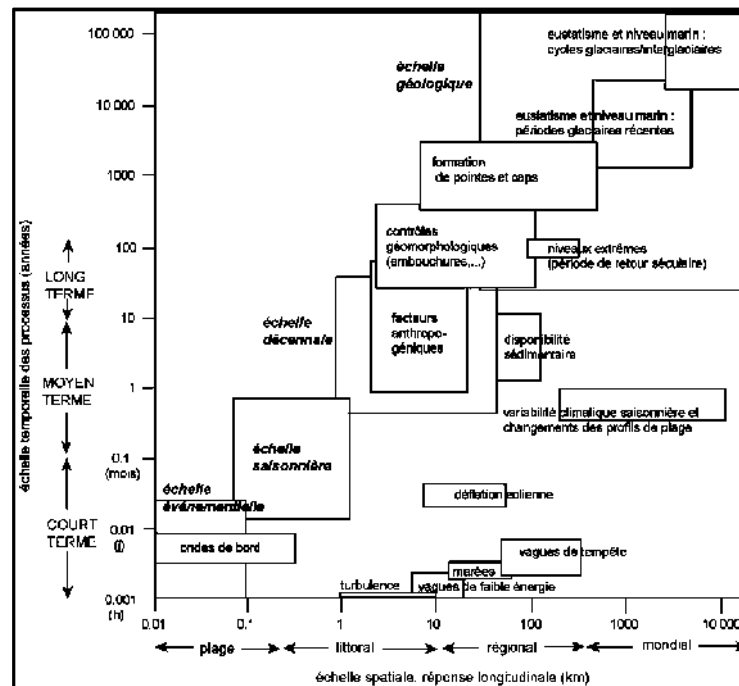
**b) Le courant de dérive (longshore) :** C'est un courant longitudinal, qui est dû aux vagues générées au large et qui arrivent proche des côtes avec un sens de propagation présentant un angle par rapport au rivage. Il prend alors naissance dans la zone de déferlement et se dirige parallèlement au rivage, avec une vitesse de l'ordre du mètre par seconde, ce qui permet d'assurer un important transport de volumes sédimentaires le long de la plage, appelé « dérive littorale ».

**c) Le courant d'arrachement (rip-current) :** Le courant sagittal est un courant intense et étroit dirigé vers le large, pouvant affecter une grande partie des plages, notamment là où la hauteur des vagues est la plus faible. Il s'étend vers le large à des vitesses pouvant atteindre plusieurs mètres par secondes.

**d) Les courants de marée :** Les oscillations du niveau des mers qu'entraîne la marée s'accompagnent de mouvements horizontaux de masses d'eau appelés courants de marée dont la puissance atteint parfois 6 m/s et qui influence le relief sous-marin.

### I.3. DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE DU LITTORAL SABLEUX :

La dynamique sédimentaire en zone littorale est contrôlée par des processus physiques, climatiques et anthropiques intervenant à diverses échelles temporelles et spatiales, ce qui laisse suggérer un découpage de la morphodynamique des plages selon quatre principales échelles spatio-temporelles intégrant les évolutions morphologiques comme un emboîtement de sous-systèmes (voir figure I.8).



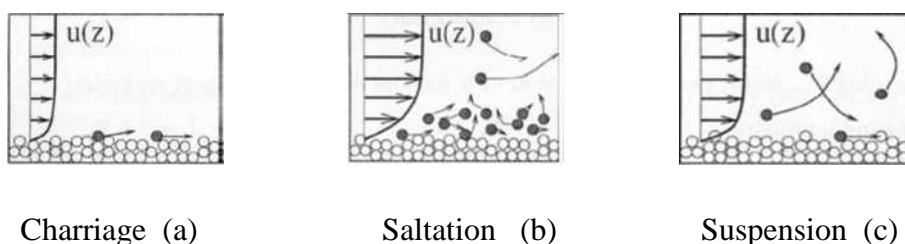
**Figure I. 8:** Répartition spatio-temporelle des facteurs impliqués dans la dynamique sédimentaire des littoraux (LEVOY, 2000)

### I.3.1. Processus sédimentaire :

Les courants, les houles et les vents sont susceptibles d'arracher des particules sédimentaires au littoral, et de les entraîner sur des distances importantes avant de les laisser se déposer en des lieux plus calmes. En cas de rupture de l'équilibre entre les apports et les emprunts sédimentaires, ces remaniements engendrent l'érosion ou l'engraissement de certaines zones. Avant d'envisager toute intervention sur un littoral, il est donc nécessaire de comprendre son fonctionnement sédimentaire.

### I.3.2. Transport sédimentaire :

Les particules sédimentaires sont transportées selon trois modes (voir figure I.9), pouvant apparaître simultanément. Leur importance respective varie donc en fonction du degré de la contrainte de cisaillement au fond, l'intensité des courants moyens, à cela s'ajoute la turbulence induite par le déferlement qui peut favoriser la remise en suspension des sédiments.



Charriage (a)

Saltation (b)

Suspension (c)

**Figure I. 9:** Illustration des différents types de transport sédimentaire (in AOUDJ, 2014).

Pour des contraintes de cisaillement proches du seuil de mise en mouvement des sédiments, le charriage domine, en particulier pour des sédiments relativement grossiers (galets) et des courants modérés. Il implique un contact continu des particules sédimentaires avec le fond (Figure I.9 (a)). La part du charriage dans le transport total diminue rapidement avec l'augmentation de la contrainte de cisaillement, pour laisser place à la saltation des sédiments (sable) (Figure I.9 (b)). La suspension des particules sédimentaires (vase) intervient pour des contraintes de cisaillement plus importantes qui induisent des mouvements turbulents supérieurs à leur vitesse de chute ( $W_s$ ) (Figure I.9 (c)).

### **I.3.2.1. Transport littoral par la houle :**

L'action de la houle dans le transport sédimentaire dépend du type de littoral et de l'obliquité de sa propagation par rapport à la direction générale du trait de côte. Elle se manifeste par deux mécanismes qui sont le transport par jet de rive et le transport par courant littoral.

- **Transport par jet de rive :**

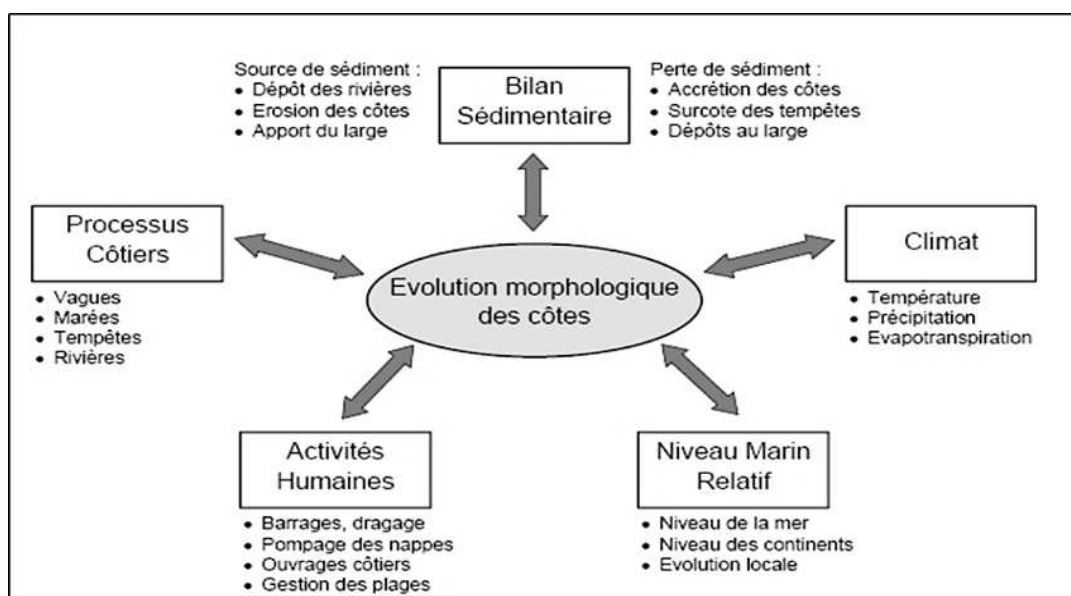
En déferlant, les lames arrachent des sédiments au fond et les ramènent en surface vers le haut de plage dans la direction de propagation de la houle. Après le déferlement, l'eau redescend sur la plage en entraînant les sédiments selon la ligne de plus grande pente. Ainsi, sous l'action de lames déferlantes, les sédiments suivent un chemin en dents de scie et progressent parallèlement au rivage dans le sens de l'obliquité de la houle.

- **Transport par courant littoral :**

Les houles de cambrure importante déferlent avant d'arriver sur le haut de plage. Leur courant de retour crée alors une barre de sable parallèle au rivage. En déferlant sur cette barre, l'eau remet le sable en suspension et l'entraîne dans le canal formé entre la barre et la plage. Les sédiments sont ensuite emportés par charriage et suspension par le courant littoral qui circule dans ce canal. On distingue aussi le transport transversal des sédiments comme l'arrachement des particules à partir de la plage et du fond marin de "la zone de surf" causé par le déferlement des vagues, des courants sagittaux et des courants marins, pour les faire transporter vers le large.

### **I.3.3. Evolution morphologique du littoral sableux :**

L'analyse de l'évolution des formes littorales s'inscrit dans un cadre d'approche morphodynamique qui s'intéresse aux échelles spatio-temporelles, en modélisant et quantifiant les interactions existant entre l'évolution des formes sédimentaires, et les processus physiques de transfert d'énergie et de matière (voir Figure I.10).



**Figure I. 10:** Synthèse des paramètres influençant l'évolution morphologique des côtes (GRASSO, 2009).

Dans cette perspective, le développement des mesures de variations topographiques des plages visent à apprécier leurs réponses morphologiques aux aléas des conditions d'agitation, et des processus de transports sédimentaires, à long et moyen termes. Ces phénomènes peuvent être appréhendés par l'analyse de la mobilité du trait de côte en se plaçant dans le cadre de la cellule sédimentaire (unité géomorphologique cohérente au sein de laquelle l'évolution des formes littorales résulte des logiques d'abrasion, de transport et d'accumulation des matériaux sédimentaires, sous l'action des courants de houle).

### I.3.3.1. Facteurs d'équilibre sédimentaire des plages :

Pour des conditions climatiques, hydrodynamiques et aérodynamiques données, la morphologie et l'équilibre sédimentaire d'une plage sur un site géographique donné dépend de la nature de la granulométrie et de l'abondance des sédiments disponibles ainsi que des obstacles situés en amont (ports, ouvrages, épis, ...). Aussi, la granulométrie des sédiments d'une plage est gouvernée par trois facteurs essentiels qui sont :

- les sources de sédiments,
- le niveau d'énergie des vagues,
- la pente générale du plateau sur lequel la plage s'est constituée.

L'environnement de la plage sélectionne la taille des grains appropriée à ses conditions particulières. Si les sources potentielles de sédiments ne sont pas susceptibles de fournir des sédiments appropriés, il ne pourra pas y avoir de plage.

### **I.3.3.2. Erosion côtière :**

L'érosion est d'abord un phénomène naturel lié aux effets météorologiques, hydrologiques et hydrodynamiques. Ce phénomène est toutefois accéléré par les effets perturbateurs liés à l'emprise humaine sur le rivage. Les transformations naturelles et anthropiques modifient sans cesse la morphologie d'une manière graduelle et réversible par des états morphologiques successifs interdépendants. Les changements que l'on observe sont le plus souvent rythmés par des épisodes de construction et de destruction (l'accumulation sédimentaire, le recul destructif des falaises). Cette alternance, et leur fréquence dans le temps et leur amplitude dans l'espace, conduisent à accorder une attention particulière aux plages. La réponse d'une plage sableuse résulte, donc, de transformations spatio-temporelles entre les processus hydrodynamiques et le stock sédimentaire mobile constituant la plage.

### **CONCLUSION :**

De ce premier chapitre, nous retenons que le phénomène de déferlement des vagues peut engendrer un transport transversal vers le large par les courants de retour. Cependant, la dérive littorale des sédiments est amorcée par les houles de propagation oblique. Afin d'estimer la pérennité sédimentaire d'une plage face aux forçages hydrodynamiques, il est impératif de vérifier les différentes sources de sédiments qui alimentent la plage. Le dimensionnement des ouvrages de protection nécessite une attention particulière à la pente de la plage car les faibles pentes provoquent une réflexion qui risque d'agiter continuellement la zone.

Ce chapitre nous a donc permis de décrire les principaux processus hydro-sédimentaires qui façonnent les plages sableuses, il rassemble aussi les notions conceptuelles du milieu littoral les plus fondamentales dans l'étude technique de l'évolution des systèmes côtiers aux différentes échelles locales et régionales, et qui demeurent comme capital dans la connaissance approfondie de ces territoires à risque, constamment confrontés aux différents aléas qui les exposent à une vulnérabilité affectant l'ensemble des enjeux associés à leur fonctionnement.

## **CHAPITRE II**

# **PRESENTATION DU SITE D'ETUDE**



## II.2. PRESENTATION GEOMORPHOLOGIQUE DU SITE :

La zone d'étude correspond à un front côtier caractérisé par une pente raide dont la hauteur diminue d'Est en Ouest tout en bordant une belle plage sableuse de quelques mètres de largeur, qui s'étend sur une longueur de 300 m, limitée à l'Est et à l'Ouest par des badlands.

Un rapport du LEM décrit la nature géologique de la zone d'Ain Franine : «L'âge est miocène supérieure, antérieure aux surrections de la plage qui est présentée par des faciès de marne à gypse sur des faciès gréseux. La présence d'une formation datant de l'âge tyrrhénien (division stratigraphique du quaternaire) est remarqué. Cette dernière désigne des couches de strombes qui se sont formées lors de la grande transgression et qui s'est traduite par le soulèvement des plages».

D'après les observations sur terrain, nous partageons le site en deux parties bien distinctes (voir figure II.2) :

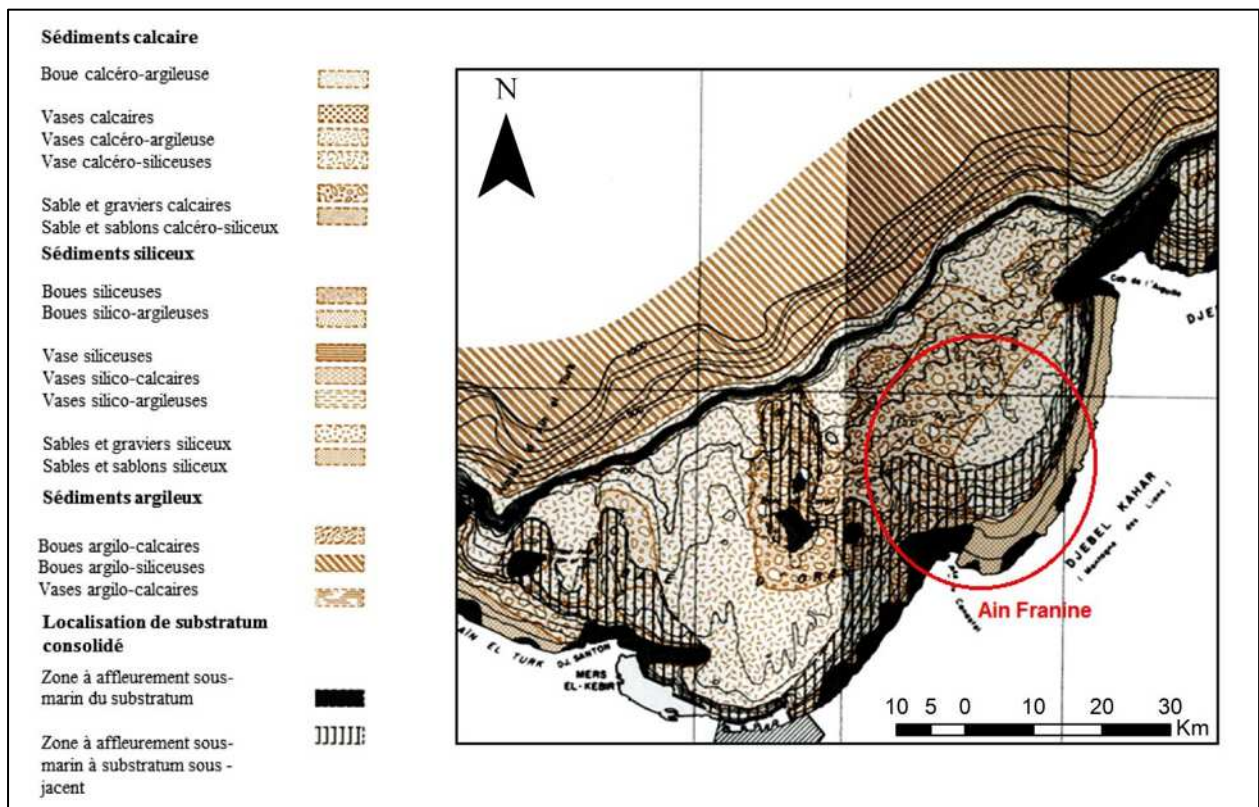
- Partie Est : caractérisée par un talus nu, vertical et de nature rocheuse. La falaise est haute d'environ 30 m et occupe un linéaire d'environ 110 m. On constate une érosion du pied de cette dernière causée par l'action de la mer très proche du rivage.
- Partie Ouest : elle constitue la continuité de la partie Est mais avec une morphologie plus ou moins différente puisque le talus dans cette partie du site présente un tracé légèrement convexe et une pente abrupte et parfois verticale et occupe un linéaire plus important qui est d'environ 180 m.



**Figure II. 2 :** Haut du talus terrassé par la route Ain Franine-Kristel.

Dans la zone infralittorale des côtes Oranaises, on retrouve le calcaire comme constituant majeur des sédiments, sous la forme d'un tapis de sables graveleux recouvrant tout le plateau continental ; en revanche, les sédiments siliceux sont faiblement représentés. Pour les vases calcaréo-siliceuses, elles couvrent une importante superficie du littoral, et sont assez riches en débris de roches et en coquilles fraîches et transparentes, alors que les boues argilo-siliceuses ne représentent qu'un faible pourcentage en bordure de cette zone (LECLAIRE, 1972).

### II.2.1. Nature et répartition des sédiments : (LECLAIRE, 1972)



**Figure II. 3:** Couverture sédimentaire de la région d'Oran. (LECLAIRE, 1972; modifié).

La zone d'étude d'Ain Franine est constituée de sédiments calcaires et siliceux. De la cote vers le large, nous retrouvons les différents types de sédiments suivants :

- a) **Les boues silico-argileuses** : Ces boues silico-argileuses délimitent essentiellement une sorte d'unité sédimentologique sous la dépendance de la vasière du Chélif.
- b) **Les sables et graviers** : Les sables et graviers calcaires de cette région sont plus ou moins argileux. Du Cap Falcon au Cap de l'Aiguille. Tandis que les sables du rebord ont une composition de débris d'algues et de sable bioclastique
- c) **Les vases calcaréo-argileuses** : Ce type de sédiment couvre la plus importante superficie dans cette région.

- d) **Les sédiments calcaires pélitiques** : Dans le golfe d'Oran et ses abords, les faciès calcaires forment un tapis qui recouvre la plate-forme littorale et le rebord continental.
- e) **Les sables et sablons silicieux** : caractérisant la bordure littorale sablonneuse de nature très homogène.

### II.3. CADRE GEOLOGIQUE :

#### II.3.1. Morphostructure du site d'étude :

Situé dans le domaine septentrional de l'Algérie alpine, le littoral Oranais se retrouve localisé dans les zones externes du domaine tellien de la chaîne des Maghrébides qui forme les plus hauts reliefs côtiers nord-africains, résultant de l'Orogenèse tertiaire (Eocène à Miocène) du cycle alpin (BENABDELLAH, 2011).

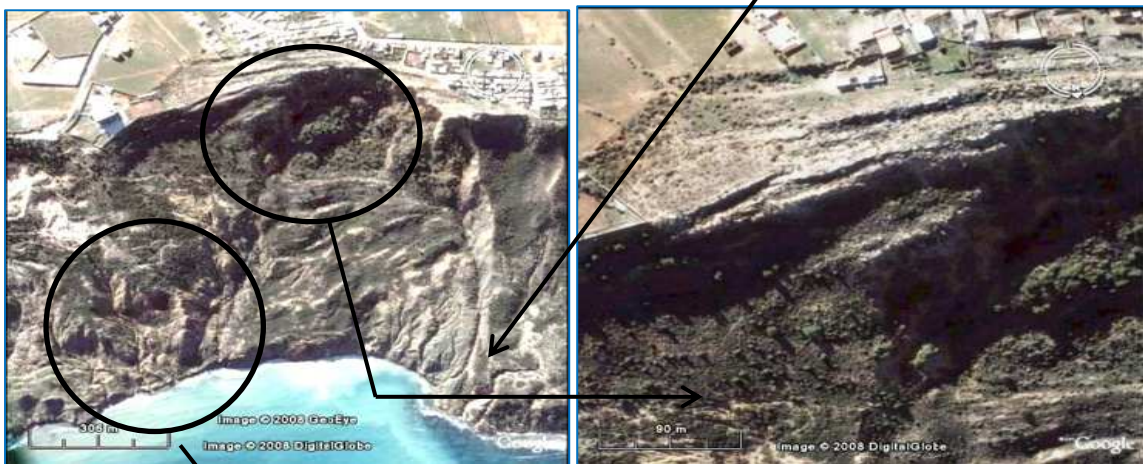
Les massifs côtiers du relief Oranais forment une chaîne montagneuse discontinue qui s'étend du Sud-Ouest au Nord Est. Il se dresse en véritable barrière naturelle assurant une protection contre la violence des vents marins du Nord-Est.

Au niveau du rivage d'Ain Franine, à l'Ouest, on retrouve un horst de 4 Km<sup>2</sup>, appelé Djebel Khar (la montagne des lions), qui est légèrement détaché du massif d'Arzew, il domine de sa masse trapézoïdale caractéristique du plateau d'Oran (voir figure II.4). A partir du Miocène supérieur, les massifs d'Oran et d'Arzew, commencent, à la faveur des failles, à traverser les formations sous-jacentes attribuées au Néogène. Ce phénomène de surrection, agissant sur des masses rigides, paraît être commandé par des jeux de compartiment du socle particulièrement importants. L'ampleur des mouvements verticaux étant important, par conséquent le soulèvement qui s'est réalisé était, bien évidemment, le complément de la subsidence. Ces actions ont entraînés une morphostructure à fortes inclinaisons qui peut engendrer de vastes phénomènes de glissement allant jusqu'à une véritable tectonique de couverture par gravité.

Dès lors, la structure géologique côtière du site d'Ain Franine se distingue par la manifestation de puissants mouvements de terrain, sous l'effet conjugué de la pesanteur, des agents de l'érosion et du travail corrosif de l'eau, obéissant aux lois de comportement de la mécanique des roches et des sols (BENABDELLAH, 2011). Ces mouvements observés s'apparentent à des glissements rotationnels (voir Figure II.5), qui représentent une déformation interne qui se manifeste à l'amont par des structures extensives (fente de tension, faille normale) et à l'aval par des structures compressives (faille inverse, pli). Par contre dans la partie centrale, peu dérangée, la structure initiale reste plus ou moins conservée (voir Figure II.6).



**Figure II. 4:** Mouvement de terrain de grande taille près d'Ain Franine (Google Earth Pro, 2017).



**Figure II. 5:** Glissement rotationnel d'Ain Franine (les rides d'extension menacent des habitations). (Google Earth Pro, 2017)



**Figure II. 6:** Glissement secondaire stabilisé (Google Earth, 2017).



**Figure II. 7:** Photographie de l'érosion provoquée par les glissements sur la côte d'Ain Franine.

De l'agglomération de Canastel à l'Ouest jusqu'à la plage d'Ain Franine, les falaises présentent une densité de fractures qui s'accroît en direction du grand glissement d'Ain Franine. Il faut savoir que sur le plan mécanique, la densité des fractures augmente, le plus souvent, avec la quantité d'allongement horizontale à pression constante et que la zone la plus densément fracturée se localise généralement près du bord mobile (JORAND, 2007 in BENABDELLAH, 2011). A cet effet, on suppose que la limite latérale Ouest du glissement Ain Franine ne peut, éventuellement, correspondre qu'à la supposée faille décrochante d'Arbal-Ain Franine (voir figure II.8).



**Figure II. 8 :** Failles transversale déduites de l'analyse de la forme des masses glissées (Google Earth, 2017).

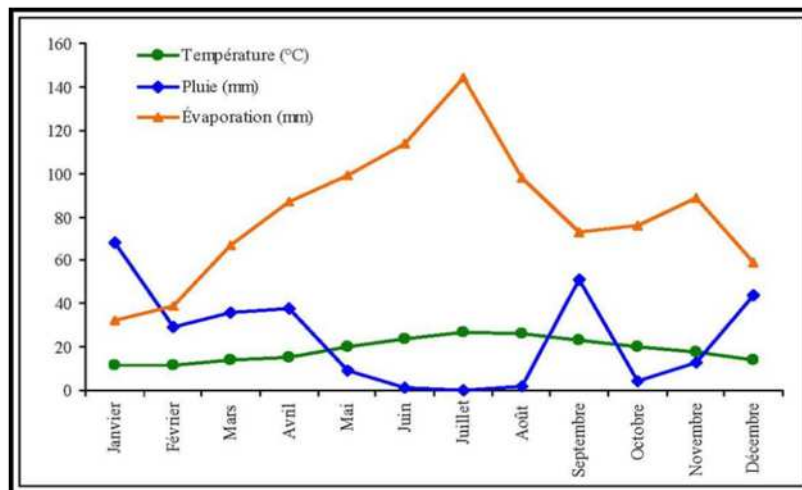
## II.4. PRESENTATION HYDRO-CLIMATIQUE :

### II.4.1. Facteurs météorologique et hydrologique :

**II.4.1.1. Climat et température :** La température est un élément fondamental en océanographie. Ce facteur contrôle en surface l'intensité des échanges mer-atmosphère et conditionne largement et significativement l'écologie des systèmes marins et côtiers.

Le climat de toute la région d'Oran est de type Méditerranéen caractérisé par un été chaud et sec et un hiver frais et humide, avec des températures minimales et maximales, qui sont respectivement de - 3°C en Décembre et + 41°C en Aout. La saison froide s'étend de Novembre à Avril. Les températures moyennes enregistrées à Oran sont de + 10.9°C et Janvier et de + 25°C en Aout, avec une moyenne annuelle de + 17.4°C.

**II.4.1.2. Précipitations :** La distribution pluviométrique sur les côtes algériennes montre une profonde dichotomie entre les deux climatologies (marine et continentale), avec une variabilité spatiotemporelle importante. Les renseignements concernant la pluviométrie dans la région d'Oran, tirés des statistiques de la station météorologique de l'Aéroport d'El Sénia, indiquent des précipitations annuelles moyennes de l'ordre de 406 mm environ 61 jours de pluie par an. Les pluies sont surtout importantes d'Octobre à Avril avec un maximum en Décembre et Janvier de près de 100 m.



**Figure II. 9:** Valeurs moyennes mensuelles des paramètres climatiques à Oran en 2009 (ONM).

### II.4.1.3. Les vents :

Les données de vents sont reprises à partir des statistiques de l'US Naval Weather Services Command intitulé Summary of Synoptic Meteorological Observations (SSMO/zone 4-Oran)

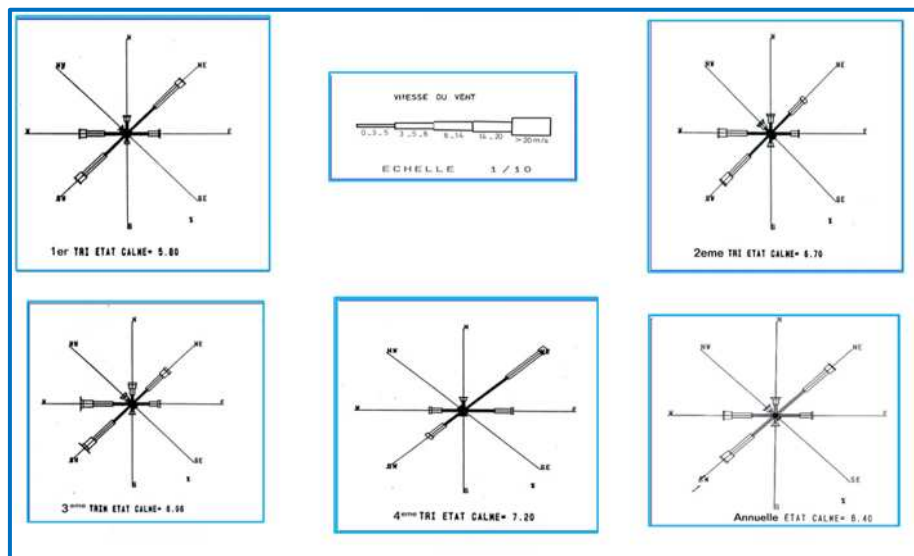
pour la période de 1914 à 1970 et durant laquelle 24905 relevés de vents ont été effectués. L'analyse des données montre que les vents dominants sont ceux provenant des secteurs ENE et OSO. Ces deux secteurs représentent 70 % du temps en moyenne annuelle.

DIRECTION	S.O	O	N.O	N	N.E	E	S.E	S
%	22.5	17	5	6	24	13	2	4

**Tableau II. 1:** Répartition annuelle des vents par direction.

VITESSE m/s	DIRECTIONS								
	S.O	O	N.O	N	N.E	E	S.E	S	TOTAL
10 à 15	14.4 %	35.4 %	3.94%	23.85%	5.63%	1.58%	0.56%	2.25%	87.66%
> 15	1.01%	8.33%	1.46%	1.12%	0.23%	0%	0%	0.23%	12.34%

**Tableau II. 2:** Répartition des vents d'intensité supérieure à 10 m/s.



**Figure II. 10 :** Rose trimestrielle et annuelle des vents (données SSMO).

En se basant sur les données du SSMO (Figure II.8), on a déterminé les fréquences d'apparition du vent par direction et par vitesse pour toute l'année (Tableau II.1 et II.2). Il ressort de l'analyse de ces données deux périodes distinctes :

- Une période hivernale où le secteur Ouest à Sud-Ouest est caractérisé par des vents fréquents et quelquefois forts et qui sont régulièrement répartis entre le premier et le quatrième trimestre de l'année.

- Une période estivale, où le secteur Est à Nord-Est est caractérisé par des vents très fréquents et forts pendant le deuxième et troisième trimestre de l'année avec des périodes de pointes pendant le troisième trimestre.

## II.4.2. Facteurs hydrodynamiques :

### II.4.2.1. Les houles :

Les données de la houle au large ont été récoltées par le SSMO (Tableau II.3). Pour la côte d'Ain Franine, nous observons des enregistrements de houles annuels dont deux secteurs sont virulents sur les parties dégagés de la côte ; le premier est une houle frontale de secteur Nord et le second est une houle oblique de secteur Nord-Ouest avec des périodes de 6, 8 et 10 secondes (voir Figure II.9). Le choix du secteur angulaire pour l'étude de la réfraction de la houle se portera, tout naturellement, sur ces deux derniers secteurs. Notons que le rivage d'Ain Franine est abrité des autres directions (Est, Ouest et Nord-Est) en raison d'une disposition de la côte qui couvre la zone pour ces directions.

Direction/Période	Nord	Nord est	Est	Sud Est	Sud	Sud-Ouest	Ouest	Nord-Ouest
6	1.07	1.15	1.05	0.87	0.95	1.22	1.16	1.11
8	2.68	2.56	2.62	2.26	2.51	2.64	2.67	2.49
10	7.12	5.84	/	/	/	5.22	4.83	4.53

**Tableau II. 3:** Hauteurs significatives (SSMO, 2014).



**Figure II. 11:** Direction des houles défavorables au niveau de la plage d'Ain Franine (Google Earth Pro, 2017).

#### **II.4.2.2. Les courants :**

Sur la côte Oranaise, il a été mis en évidence un courant (qui domine au large de la région d'étude), d'origine atlantique, il se déplace d'Ouest en Est le long des côtes algériennes sous l'effet de la force de Coriolis, dans un ordre de grandeur de 0,5 à 1 mètre/seconde. Ce courant entre 1° et 2° Est devient instable pour former des tourbillons anticycloniques accompagnés de phénomènes d'upwelling (La remontée d'eau). Aussi, au niveau du littoral oranais se produit un contre-courant issu d'une branche du courant atlantique appelé courant algérien. Il représente un courant compensateur sur le fond dont la dynamique s'effectue en direction du large, ce qui permet le déplacement de la fraction fine dans le fond et de créer une extension de la grande vase vers le secteur Est de la côte Algérienne.

#### **CONCLUSION :**

Ce deuxième chapitre a permis de collecter des informations sur le littoral oranais en général. Ces données vont permettre de mener des études encore plus précises et détaillées sur la zone d'étude. La bâti géomorphologique dénote la présence de corps sédimentaires majoritairement à sédiments calcaires avec un taux élevé de vase calcéro-siliceuse très argileuse qui recouvre la plate-forme littorale. Le site est aussi recouvert de faciès de marne à gypse caractérisés par une lithologie peu résistante.

Le volet hydrodynamique a permis de retenir une zone où sévissent des houles qui attaquent principalement de secteur Nord et Nord-Ouest, ainsi, des courants de retour et des tourbillons qui participent à la migration sédimentaire vers le large.

Le volet météorologique désigne un vent de secteur Nord, Nord-Ouest et Ouest dont la vitesse est la plus importante, cependant, les vents dominants sont de secteur Nord-Est, freinés par les reliefs côtiers en perpétuels glissement donnant naissance à des cisaillements qui pourraient provoquer un coulissage horizontal exposant la structure côtière à un effondrement.

**CHAPITRE III**

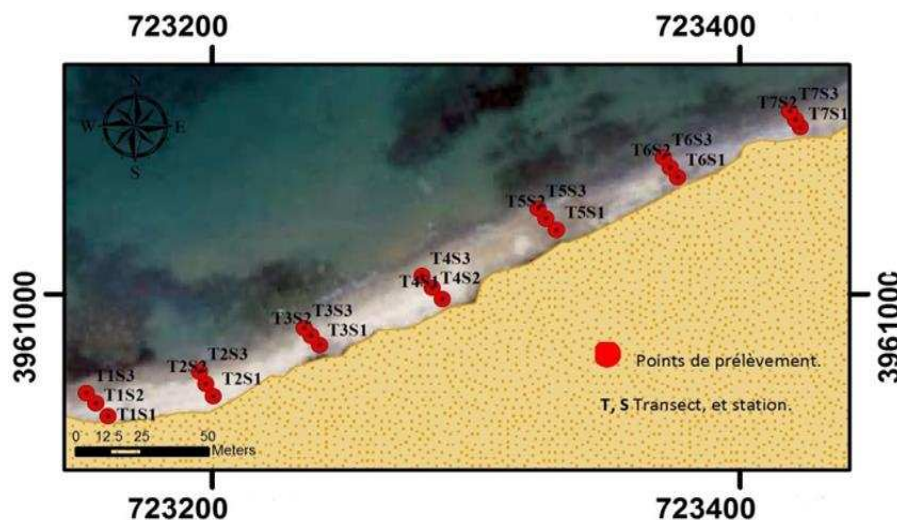
**ETUDE GRANULOMETRIQUE**

**INTRODUCTION :**

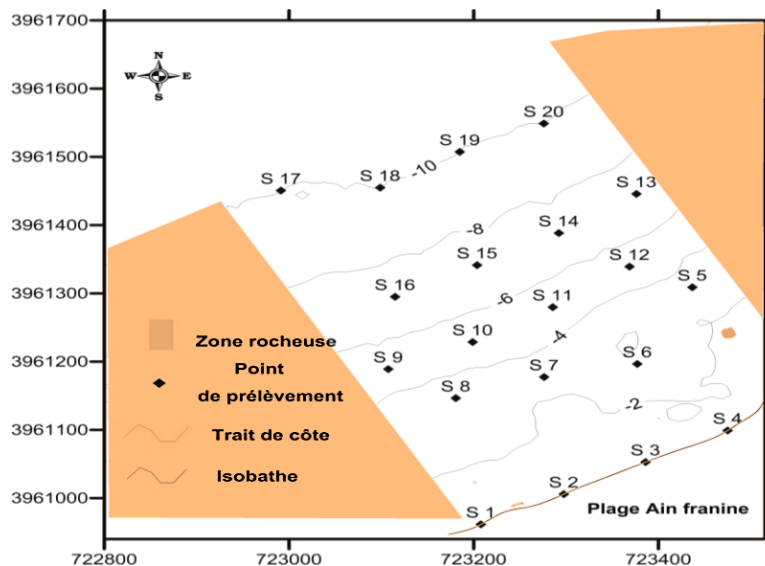
Dans ce chapitre, nous allons étudier la répartition granulométrique des différents faciès sédimentaires présents dans notre site d'étude. La sortie sédimentologique a eu lieu le 18 Mai 2017. Le nombre d'échantillons prélevés est de 21, répartis sur 7 transects qui recouvrent d'Ouest en Est la plage d'Ain Franine et 20 échantillons de sédiments pour la partie marine répartis sur 8 profils, réalisés aux profondeurs de 0, -3 ; -5 ; -7 et -10 m.

**III.1. LE PRELEVEMENT DES SEDIMENTS :**

Les sédiments sont tout d'abord caractérisés par la répartition des fractions granulométriques. Le prélèvement d'une quantité de sédiments au niveau de la plage aérienne a été réalisé par la méthode directe à la main (voir figure III.1). Cependant, pour la partie marine, le prélèvement s'est fait par la méthode indirecte (voir figure III.2). Les échantillons sont référencés et conditionnés dans des sachets de congélation.



**Figure III. 1 :** Carte illustrative des points de prélèvements de la partie aérienne.



**Figure III. 2 :** Carte de positionnement des points de prélèvements de la partie marine.

### III.2. METHODE D'ANALYSE AU LABORATOIRE :

L'ensemble des prélèvements sédimentaires a été analysé au laboratoire selon les techniques classiques de tamisage. La granulométrie consiste à évaluer le pourcentage de la masse totale correspondant à chaque dimension de particule. L'étude granulométrique d'un sédiment comporte généralement deux phases :

#### III.2.1. Une phase expérimentale :

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

##### a. Analyse de la fraction fine :

L'analyse consiste à séparer la fraction fine de la grossière par voie humide et par tamisage à travers une maille de 40  $\mu\text{m}$  selon le protocole suivant :

- Séchage de 300 g de chaque échantillon de sédiment à l'étuve 105° pendant 24 h.
- Pesée de 200 g du sédiment sec, puis lavage dans un tamis de 40  $\mu\text{m}$  sous l'eau du robinet afin de séparer la fraction pélitique de la fraction grossière.
- Le refus récupéré est séché à l'étuve pendant 24 h à 105 ° (voir figure III.3).
- La différence de poids obtenu après séchage, entre l'échantillon brut et le refus permet de déterminer le poids des pélites et donc calculer son pourcentage.

##### b. Analyse de la fraction grossière :

- Tamisage, pendant 10 mn, de la fraction grossière séchée sur une colonne de tamis répondant aux normes AFNOR : constituée de tamis de dimension croissante (40-63-80-100-140-160-180-200-250-315-400-500-630-800-1000  $\mu\text{m}$ ) (voir figure III.4).
- Pesée du refus de chaque tamis à l'aide d'une balance analytique.
- Evaluation en pourcentage des refus de chaque tamis.



Figure III. 3: Séchage à l'étuve.



Figure III. 4: Tamiseuse AFNOR.

### III.2.2. Une phase de traitement des résultats obtenus :

Dans cette phase, nous avons effectué le calcul des paramètres granulométriques grâce à un programme sur MATLAB qui est basé sur l'interpolation entre deux matrices (tamis et les diamètres des tamis). Les calculs obtenus des résultats de l'analyse granulométrique de la plage aérienne et sous-marine sont utilisés pour cartographier la distribution spatiale des différents paramètres et indices qui nous renseignent sur la granulométrie de notre zone.

### III.3. EXPLOITATION DES DONNEES :

Dans cette phase de l'étude, nous allons définir les caractéristiques des échantillons par l'emploi des paramètres granulométriques obtenus.

#### III.3.1. Courbe granulométrique :

Celle-ci consiste à représenter sur une échelle logarithmique la dimension des grains et des particules correspondant aux ouvertures des mailles de tamis du type AFNOR, en fonction des pourcentages cumulés des particules de taille supérieure à la dimension donnée sur l'axe des abscisses. A partir de cette courbe on peut déduire les paramètres granulométriques.

#### III.3.2. Les paramètres et indices granulométriques :

Les paramètres de position : Les paramètres de positions extraits à partir de la courbe de fréquence cumulative permettent de calculer les différents indices granulométriques.

##### Les quantiles

**Q1** : 25% : diamètre du grain à l'ordonnée 25% (quartile).

**D50** : 50% : diamètre du grain à l'ordonnée 50% (médiane).

**Q3** : 75% : diamètre du grain à l'ordonnée 75% (quartile).

**D90** : 90% : diamètre du grain à l'ordonnée 90% (décile).

**D10** : 10% : diamètre du grain à l'ordonnée 10% (décile).

**Le mode granulométrique** : Le mode granulométrique ( $M_o$ ) correspond à la dimension la plus significative de la distribution granulométrique, c'est-à-dire la dimension la plus représentative des grains d'un sédiment.

**Les indices granulométriques :** Les indices granulométriques sont calculés à partir des paramètres granulométriques cités précédemment. Ce sont les valeurs de la taille qui correspondent à chaque pourcentage.

**Indice central :** Cet indice permet de fournir un positionnement global de l'échantillon sur l'échelle des dimensions des sédiments (voir Tableau III.1). Il traduit alors la puissance moyenne des paléo-écoulements. La moyenne a été établie par (FOLK et WARD, 1954) selon la relation suivante :

$$M_z = (\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84}) / 3 \dots\dots(III.1)$$

Limite de Mz	Taille Moyenne
Mz < -6	galet
6 < Mz < -2	granule
-2 < Mz < -1	sable très grossier
-1 < Mz < 0	sable grossier
0 < Mz < 1	sable moyen
1 < Mz < 2	sable fin
2 < Mz < 3	sable très fin
3 < Mz < 3.98	vase

**Tableau III. 1:** Les valeurs adoptées de Mz.

**Indice de dispersion :** Cet indice (Si) permet d'apprécier le degré de classement d'un sédiment (voir Tableau III.2) en nous renseignant sur l'étalement de la courbe au tour de son grain moyen. Il est défini par (FOLK et WARD, 1954) selon la relation suivant :

$$S_i = [(\Phi_{84} - \Phi_{16}) / 4] + [(\Phi_{95} - \Phi_5) / 6,6] \dots\dots(III.2)$$

Valeur de Si	Le classement
Si < 0.35	Très bien trié
0.4 < Si < 0.5	Bien trié
0.5 < Si < 0.7	Modérément bien trié
0.7 < Si < 1	Modérément trié
1 < Si < 2	Mal trié
2 < Si < 4	Très mal trié
4 < Si	Extrêmement mal trié

**Tableau III. 2:** Les valeurs adoptées de classement Si.

**Le coefficient d'asymétrie :** Il caractérise le degré de symétrie de la courbe par rapport à la médiane (voir Tableau III.3), en indiquant l'étalement de la courbe granulométrique vers les sédiments fins ou les sédiments grossiers. Il est défini par la relation suivante (FOLK et WARD, 1954) :

$$SK = \frac{\Phi_{16} + \Phi_{84} - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{84} - \Phi_{16})} + \frac{\Phi_5 + \Phi_{95} - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{95} - \Phi_5)} \dots\dots (III.3)$$

Les limites de SK	L'asymétrie
<b>SK &lt; 1</b>	Classement maximum vers les fines
<b>SK = 1</b>	Symétrie parfaite
<b>SK &gt; 1</b>	Classement maximum vers les grossiers

**Tableau III. 3:** Les valeurs adoptées pour l'asymétrie SK.

**Les indices d'angulosité :** Cet indice (le kurtosis) mesure l'angulosité de la courbe des fréquences (voir Tableau III.4). Si le mode est concentré dans des classes granulométriques restreintes, la distribution est leptocurtique, s'il est dispersé elle est platycurtique. Il est défini d'après (FOLK et WARD, 1954) par la relation suivante :

$$K = \frac{(\Phi_{95} - \Phi_5)}{2,44(\Phi_{75} - \Phi_{25})} \dots\dots(III.4)$$

Limite du K	Acuité du mode
<b>3 &lt; K</b>	Courbe extrêmement leptocurtique
<b>1,5 &lt; K &lt; 3</b>	Courbe très leptocurtique
<b>1,1 &lt; K &lt; 1,5</b>	Courbe leptocurtique
<b>0,9 &lt; K &lt; 1,11</b>	Courbe mesocurtique
<b>0,67 &lt; K &lt; 0,9</b>	Courbe platycurtique
<b>K &lt; 0,67</b>	Courbe très platycurtique

**Tableau III. 4:** Les valeurs adoptées de K pour l'acuité du mode.

**III.3.3. Caractères sédimentologique des dépôts superficiels :**

Chaque type de dépôt peut être caractérisé par sa teneur en pélites (fraction inférieure à 0,05 mm) et en fraction grossière (fraction supérieure à 0,05 mm). Pour l'analyse granulométrique de la fraction grossière, il a été choisi la classification suivante :

- sables fins : 0,05 – 0,25 mm,
- sables moyens : 0,25 – 0,50 mm,
- sables grossiers : 0,50 - 1 mm,
- sables très grossiers : > 2 mm.

Cette classification permettra de représenter sur une carte la répartition spatiale des sédiments.

### III.4. PARTIE AERIENNE :

#### III.4.1. Analyse de la fraction fine :

Les teneurs en fraction fine ( $< 0,05$  mm), calculées pour l'ensemble des échantillons ont permis d'établir une carte de répartition des pélites (voir Figure III.5), qui représente la majeure partie de cette fraction estimée entre 3% et 4%. Ces faibles taux de particules fines sont probablement dus à des forces éoliennes agissant sur cette partie du littoral, cela indique, aussi, que les sédiments de cette zone sont en remaniement permanent et en présence d'une forte dissipation d'énergie de la houle sur la plage. On peut alors penser que l'hydrodynamisme de la zone est considérablement fort.

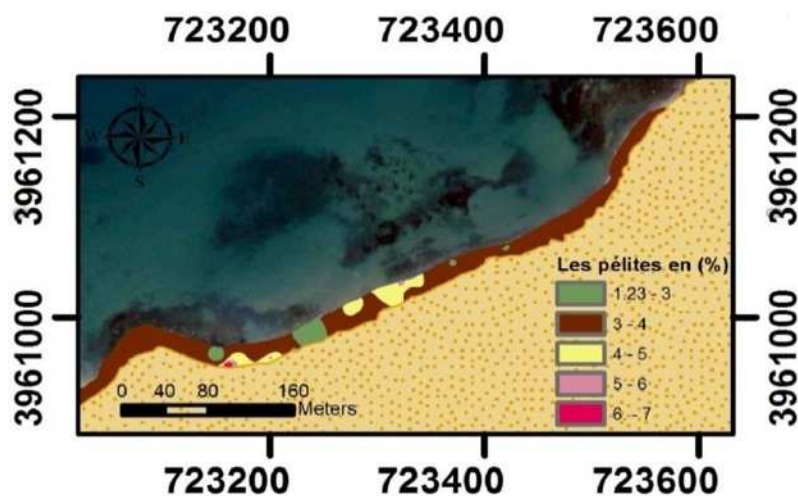


Figure III. 5 : Carte de répartition spatiale de la fraction fine de la plage d'Ain Franine.

#### III.4.2. Analyse de la fraction grossière :

##### III.4.2.1. D25 (quartile inférieur) :

La répartition du quartile inférieur (voir Figure III.6) dégage trois faciès différents. Le premier faciès se situe au niveau du côté Est de la plage d'Ain Franine de diamètre variant entre 0,17-0,21 mm. Le deuxième faciès, d'assez forte dominance spatiale, s'étend le long de la face centrale de la plage avec un diamètre atteignant 0,25 mm. Le troisième faciès, présentant les diamètres les plus importants de ( $\sim 0,3$  mm) se concentre au niveau de la partie Ouest de la plage. Respectivement d'Est en Ouest ; on a un sable fin qui tend vers un sable moyen.

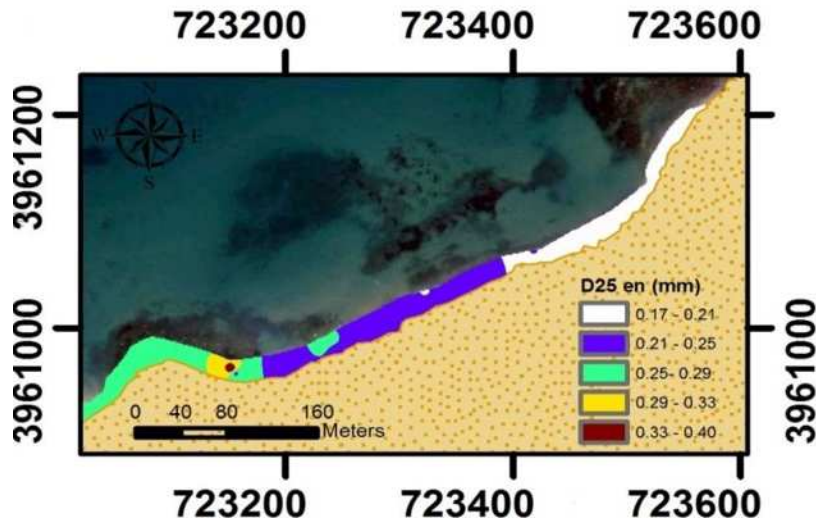


Figure III. 6: Carte de répartition du D25 de la plage aérienne.

**III.4.2.2. D50 (médiane) :**

Pour la représentation de la médiane (Figure III.7), on remarque que le diamètre de 0,25 mm à 0,30 mm recouvre la majorité de la zone avec une prédominance des diamètres voisins de 0,25 mm au centre Est. Les diamètres augmentent vers le côté Ouest de la plage, avec une petite proportion à 0,30 mm, et une petite répartition zonale pour des diamètres supérieurs à 0,40 mm, pour n'avoir, enfin, à l'extrémité ouest qu'une surface à un diamètre de l'ordre de 0,35 mm.

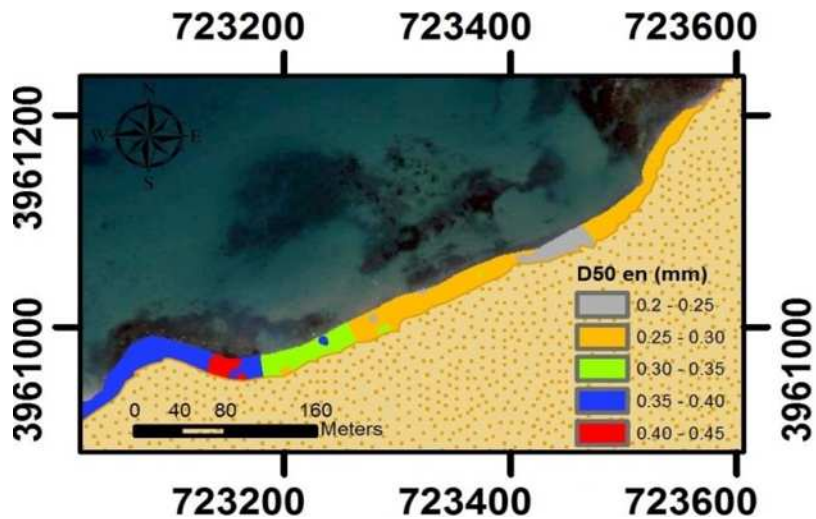


Figure III. 7: Carte de répartition du D50 de la plage aérienne.

**III.4.2.3. D75 (quartile supérieur) :**

La distribution des diamètres dégage deux faciès distincts (voir Figure III.8) ; le premier réparti dans la zone Est de la plage, avec des diamètres de 0,32 mm à 0,37 mm, et le second, à l'Ouest, correspondant à des diamètres variant entre 0,37 mm et 0,42 mm.

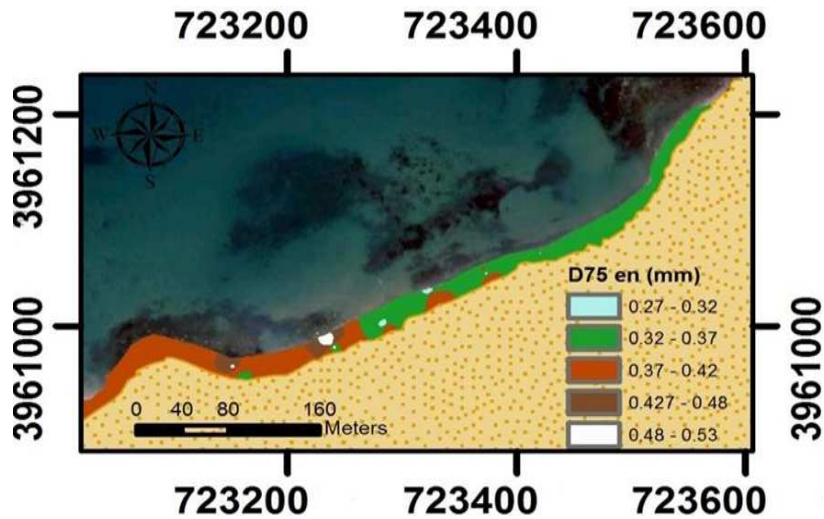


Figure III. 8: Carte de répartition du D75 de la plage aérienne.

#### III.4.2.4. L'indice central :

On observe trois groupes distincts de taille moyenne, répartis selon une distribution homogène de faciès sédimentaire à sable moyen ( $0,26 \text{ mm} < M_z < 0,46 \text{ mm}$ ) tout au long de la plage (Figure III.9). Toutefois, l'indice central ( $M_z$ ) de la fraction grossière augmente d'Est en Ouest progressivement jusqu'à atteindre les diamètres les plus importants de sable moyen au niveau de la falaise à l'extrémité Ouest de la plage, celle-ci étant assez accentuée vers le large pourrait jouer le rôle d'obstacle lors du déplacement du sable moyen de la partie aérienne.

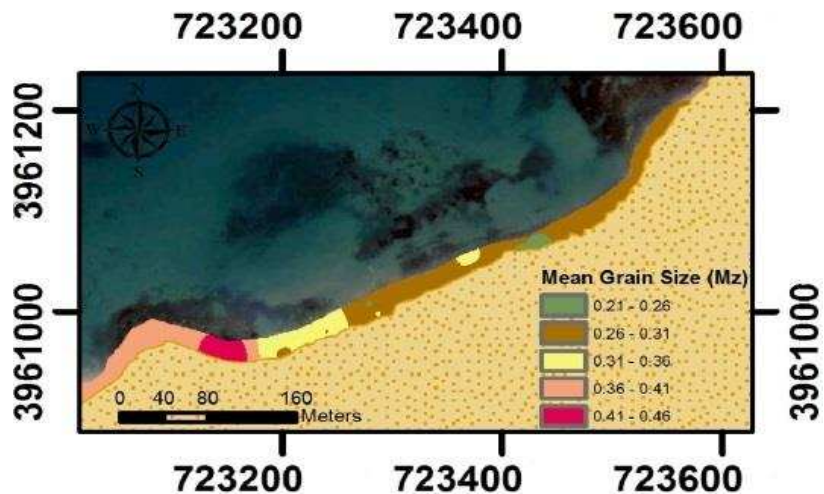
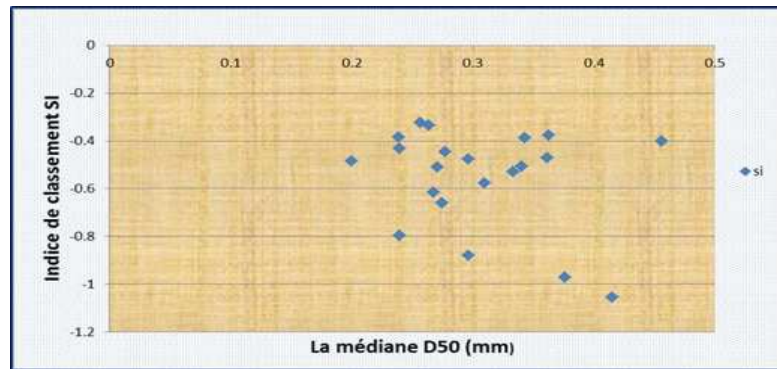


Figure III. 9: Carte de la distribution de  $M_z$ .

#### III.4.2.5. L'indice de dispersion :

En se référant au résultat du calcul de  $S_i$  (voir en Annexe I) et au classement obtenu selon les valeurs adoptés pour  $S_i$  (Tableau III.2), on conclut que le classement de nos échantillons a donné tri positive (Figure III.10), avec nos stations toutes très bien classées, mais toutefois dispersés d'un secteur à un autre.

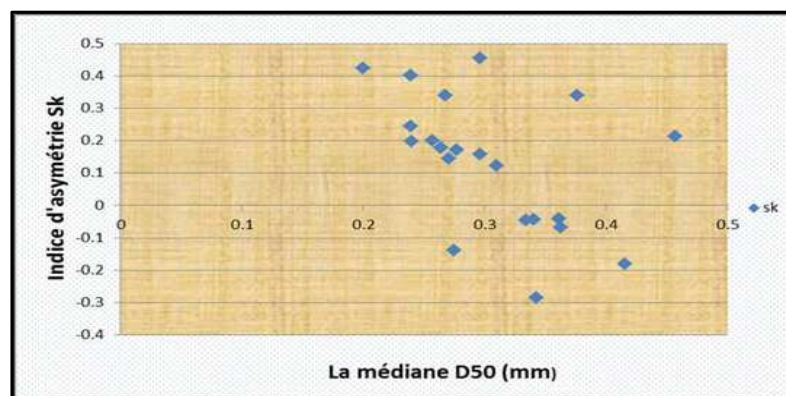


**Figure III. 10:** Représentation graphique de Si.

#### III.4.2.6. Le coefficient d'asymétrie :

Les valeurs de l'indice d'asymétrie des échantillons prélevés présentent 5 classes :

- La première classe a une valeur de SK qui varie entre -0,1 et -0,3 et cela traduit une asymétrie négative pour les échantillons 1, 4 et 6.
- La deuxième classe varie sur un intervalle de  $-0,1 < SK < 0,1$ , avec une asymétrie pour l'ensemble des échantillons 5, 8, 9 et 10.
- Pour la troisième classe, avec  $0,1 < SK < 0,3$ , on obtient une asymétrie positive pour les échantillons 3, 7, 11, 12, 13, 15, 16, 17 et 21.
- La dernière classe, concernant le reste des échantillons 2, 14, 18, 19 et 20, ils présentent une asymétrie très positive pour des valeurs de SK supérieures à 0,3.



**Figure III. 11:** Représentation graphique de SK.

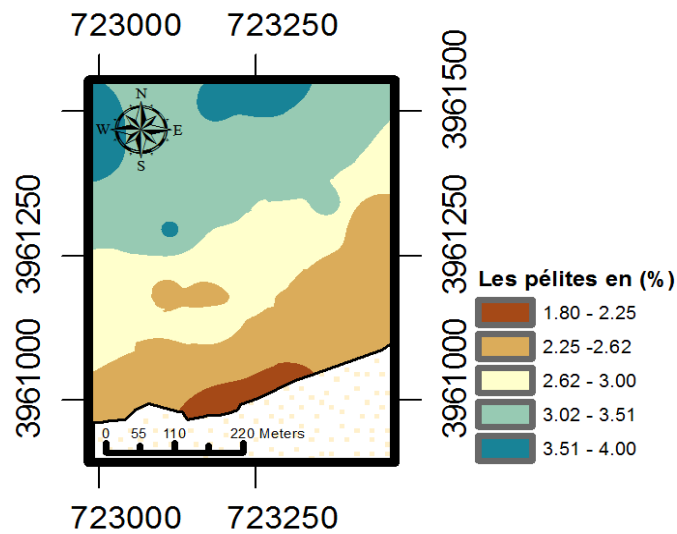
#### III.4.2.7. L'indice d'angulosité :

L'angulosité de la courbe des fréquences est généralement leptocurtique à l'Est, mesocurtique à l'Ouest, et très faiblement platycurtique (voir Annexe I).

**III.5. PARTIE MARINE :**

**III.5.1. Analyse de la fraction fine :**

La distribution des pélites est classique, avec une augmentation graduelle de la côte vers le large (Figure III.12). On remarque un stock des pélites de 4 % à -10 m où l'hydrodynamisme est impassible, alors qu'à partir des faibles fonds à -2 m, on observe des teneurs plus faibles qui atteignent les valeurs de 1,80 %, cela est probablement dû à l'action de la houle déferlée au niveau de la zone de Swash où un remaniement sédimentaire permanent existe.

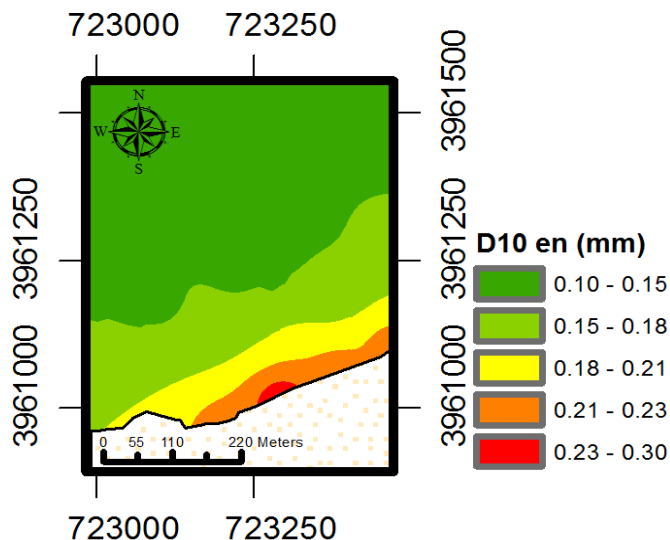


**Figure III. 12:** Carte de répartition spatiale de la fraction fine de la plage sous-marine.

**III.5.2. Analyse de la fraction grossière :**

**III.5.2.1. D10 (décile inférieur) :**

La répartition du décile inférieur dégage trois faciès différents dont le diamètre diminue graduellement de la côte au large (Figure III.13).



**Figure III. 13:** Carte de répartition du D10 de la plage sous-marine.

Le premier faciès aux environs de -10 m, ses diamètres varient entre 0,10 mm et 0,15 mm et s'étalent à 0,18 mm aux environs de -7 m. Concernant le deuxième faciès, les diamètres atteignent les 0,21 mm à -4 m. Le troisième faciès identifié, les diamètres sont de 0,23 mm à des profondeurs de -1 m et cela continue jusqu'à atteindre les 0,30 mm à la côte. Le sable fin au large devient donc moyen à la côte.

### III.5.2.2. D50 (médiane) :

On remarque sur la répartition spatiale de la médiane de notre zone d'étude (Figure III.14) une distribution classique du grain médian, à savoir une grande décroissance de la côte vers le large. Les diamètres compris entre 0,15 mm à 0,25 mm sont répartis sur la quasi-majorité de la zone au large, augmentant progressivement vers la côte en passant par des diamètres de 0,38 mm à des profondeurs de -4 m, et 0,50 mm à -1m, jusqu'à 0,75 mm près de la côte. On conclut qu'au niveau de la côte les sables grossiers tapissent le fond, alors qu'au large le sable est fin.

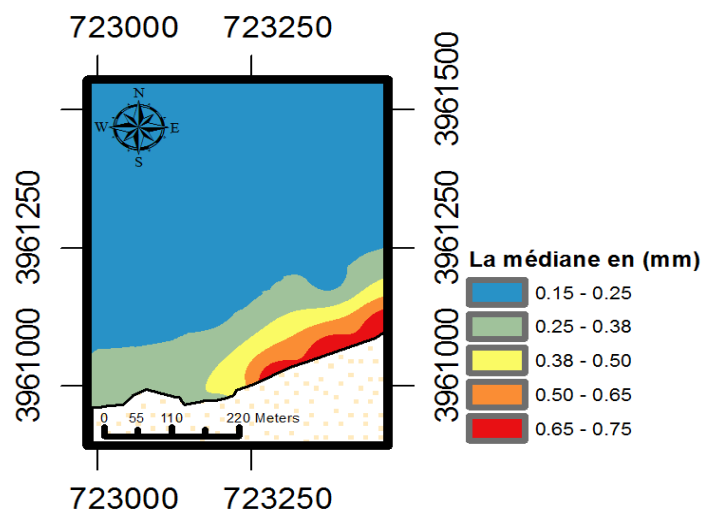


Figure III. 14: Carte de répartition spatiale de la médiane de la plage sou marine.

### III.5.2.3. D90 (décile supérieur) :

La distribution du décile supérieur (Figure III.15) nous permet de distinguer trois faciès sédimentaires à forte granulométrie. Le premier entre 0,22 mm et 0,92 mm montre une répartition spatiale dominante qui entoure presque toute la zone de prélèvement au large, où ce sable hétérogène pourrait décanter. Le second entre 0,92 mm à 1,62 mm se localise à des profondeurs de -6 m qui représente un sable grossier, augmentant jusqu'à atteindre le dernier faciès de 2,32 mm à 4 mm en se rapprochant du rivage, où le sable est très grossier. Ces observations peuvent constituer une preuve de très forts courants qui atteignent le rivage.

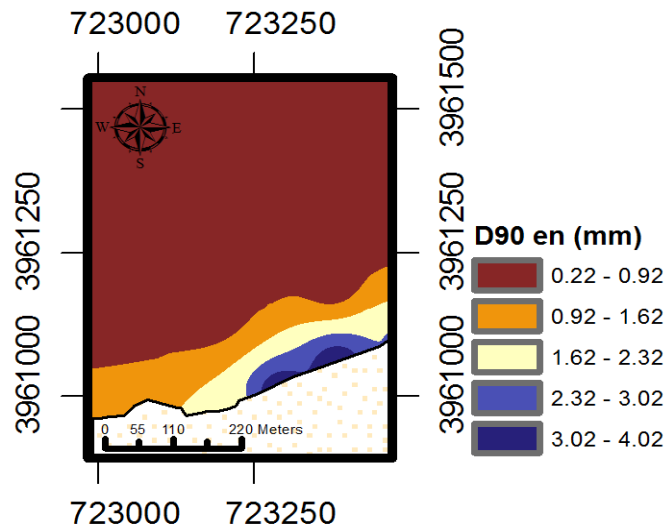


Figure III. 15: Carte de répartition spatiale du D90 de la plage sous-marine.

**III.5.2.4. L'indice central :**

La distribution spatiale de grain moyen (Figure III.16) montre une prédominance d'une gamme de sable moyen de l'ordre de 0,26 mm à 0,30 mm au large. Ces valeurs augmentent en enregistrant des valeurs entre 0,35 mm et 0,45 mm en se dirigeant vers le rivage. Les valeurs plus élevées sont probablement dues à la concentration d'énergie de la houle au voisinage de la côte.

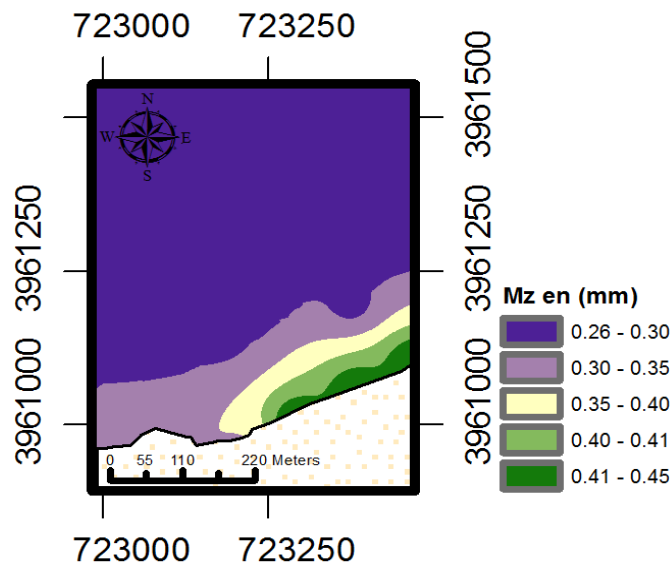
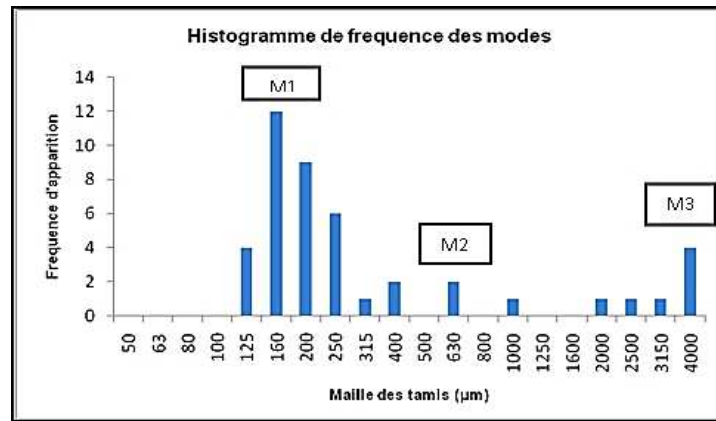


Figure III. 16 : Carte de la distribution de Mz de la plage sous-marine.

**III.5.2.5. Analyse modale :**

L'histogramme de fréquence des répartitions dimensionnelles permet de distinguer trois modes représentés sur la figure III.17, les suivants :



**Figure III. 17:** Histogramme de fréquence des modes.

**Mode M1 :** Le mode M1 est compris entre 125 µm et 315 µm avec un maximum à 160 µm. Ce mode occupe la majorité des prélèvements. Son pourcentage varie de 20 à 100 %.

**Mode M2 :** Ce mode est compris entre 400 µm et 1000µm avec un maximum à 630 µm. Le pourcentage le plus élevé est de l'ordre de 44 % représenté par l'échantillon S4.

**Mode M3 :** Ce mode est compris entre 2000 µm et 4000 µm avec un maximum à 4000 µm. Ce mode concerne les échantillons S1, S2, S3, S4. Son pourcentage est compris entre 8 et 35 %.

## CONCLUSION :

Nous concluons à partir de l'analyse granulométrique de la partie aérienne de la plage d'Ain Franine que les teneurs faibles en fraction fine prouvent une forte dissipation des houles remaniant les sédiments, ce qui nous laisse supposer un déferlement à la côte très violent. L'étude des paramètres (Q25, D50, Q75) pour la plage aérienne fait apparaître des faciès sédimentaires à sable moyen qui se concentrent surtout au niveau de la côte Ouest où l'hydrodynamisme semble être le plus fort. Les indices nous ont permis de distinguer une distribution de sable moyen, une asymétrie positive dominante, et un bon classement de ce dernier. Au niveau de la partie marine, les faibles teneurs en fraction fine augmentent de la côte vers le large, ce qui suppose une réfraction faible des vagues au large créant des conditions favorables de dépôt qui pourrait se faire en périodes d'accalmie. Les sédiments de cette partie représentent un M1 (125-315µm) à fort pourcentage au large avec une fréquence de 12 %, un M2 (400µm-1000µm) et M3 (2000-4000µm) importants à la côte. L'étude des paramètres (D10, D50, D90) a fait apparaître un grano-classement classique ; de la ligne de côte, on a un sable moyen et grossier, qui laisse place à un sable fin au fur et à mesure qu'on se déplace vers le large, sauf pour le D90 où les faciès ont un sable très grossier qui pourrait laisser supposer la présence de forts courants littoraux. Pour l'indice central, on dénote un sable moyen dont le diamètre augmente près de la côte, ce qui nous emmène à présager des attaques frontales de houle au voisinage du rivage.

## **CHAPITRE IV**

# **ETUDE BATHYMETRIQUE ET HYDRO- SEDIMENTAIRE**

## INTRODUCTION :

Le but de cette étude est de déterminer les principales circonstances du climat de houle en fonction de différentes périodes de l'année qui peuvent affecter l'équilibre sédimentaire de notre zone. De là, nous obtiendrons des éléments de compréhension des différents régimes responsables de la dynamique hydro-sédimentaire caractéristique au site d'étude. Ce chapitre est divisé en cinq parties, à savoir :

- Description du code de calcul.
- L'étude bathymétrique.
- La modélisation de la réfraction de la houle avec le modèle SW.
- La modélisation des courants générés par la houle au moyen du modèle HD.
- La modélisation du transport sédimentaire à l'aide du modèle ST.

### IV.1. DESCRIPTION DU MODELE DE SIMULATION MIKE :

MIKE 21 développé par le Danish Hydraulics Institute (DHI) est un code de calcul qui utilise des maillages structurés (grille rectangulaire ou curviligne) ou pour certains modules, des maillages non structurés (triangulations). Il est capable de simuler le processus de propagation de la houle, la courantologie et le transport sédimentaire résultant des sédiments non cohésifs avec respectivement les modèles SW, HD et ST.

#### IV.1.1. Modèle SW :

C'est un modèle spectral qui simule dans le temps la croissance des vagues par l'action du vent, l'interaction non-linéaire vague-vague ou vague-courant, la dissipation due au frottement de fond ou au déferlement de la vague, la réfraction de la houle par les variations de profondeur. La discrétisation des équations constitutives est effectuée sur des maillages triangulaires qui permettent une résolution spatiale grossière pour la zone au large et une haute résolution en eau peu profonde et le long du littoral. Il permet l'établissement du climat des vagues dans une région côtière en fonction des vagues du large. Ainsi la génération des cisaillements de radiations des vagues pour le calcul des courants côtiers. Le résultat généré sert à aider à la prise de décision lors de la conception et optimisation des structures de défense de ports et/ou de marinas.

#### IV.1.2. Modèle HD :

Il est destiné à la simulation tridimensionnelle des écoulements. Il permet également de calculer les courants littoraux en prenant en compte les contraintes de radiation dues à la houle dans la zone de déferlement, ceci en résolvant les équations bidimensionnelles classiques de Saint-Venant, sur maillage structuré ou non structuré.

Les principales applications des modèles HD concernent les études d'optimisation d'un diffuseur sous-marin d'eaux usées, modélisation écologique et choix de site de mariculture, conception et analyses des structures côtières et offshore, aménagement des ports en présence de courants à l'entrée et ensablement, inondation des terres côtières et prévision des ondes de tempêtes.

#### IV.1.3. Modèle ST :

Le modèle de transport de sédiment non-cohésif (sable) calcule le taux de transport de sédiments sur le fond et en suspension sous l'action combinée des courants et des vagues. Cependant, il offre deux formulations pour le calcul du transport sédimentaire : la formulation de Bijker (courants seuls) et la formulation Sediment transport program (STP) dans les conditions combinées de la houle et du courant. Les deux utilisent l'équation du transport sédimentaire qui est calculée comme suit :

$$qtb = qb + qs \dots\dots(IV.1)$$

Où  $qtb$  représente la quantité totale de sédiments,  $qb$  la quantité de sédiments transportée par charriage et  $qs$  la quantité de sédiments transportée par suspension (DHI, 2014).

La méthode STP traite les différences de phase de l'écoulement oscillatoire, la contrainte de cisaillement au fond et la concentration sédimentaire en suspension. Dans cette optique le choix d'une méthode de simulation via le modèle STPQ3D s'impose. Les principales données utilisées (inputs) lors de la simulation sont : conditions des vagues issues du modèle SW, bathymétrie, les caractéristiques des sédiments des fonds et les conditions des courants issues du modèle HD.

#### IV.1.4. Méthodologie :

Les phases de la modélisation des mouvements sédimentaires dans la zone d'étude sont les suivantes :

- Introduction du modèle d'étude (Mesh file interpolé).
- Détermination de conditions climatologiques représentatives à l'échelle locale, notamment celle des niveaux d'eau.
- Génération de la table sédimentaire (Q3D sédiment transport tables) 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 lors de la définition du modèle MIKE 21-ST.
- Finalisation des données de simulation (input) au niveau du modèle numérique spectral wave MIKE21-SW, en entrant les valeurs de hauteur, direction et période des différentes houles enregistrées dans notre zone d'étude.
- Lancement de la simulation couplée propagation de houle / courantologie / transport sédimentaire après avoir enregistré les (outputs) sous format (.DFSU).

#### IV.2. L'EXPLOITATION DES CARTES MARINES SOUS MIKE 21 :

##### IV.2.1. Etude bathymétrique :

La carte marine d'Oran a été géoréférencée sous le système de coordonnées projetées WGS84\_UTM zone 30 grâce à «Image Rectifier», un éditeur de Mike 21, utilisé pour caler la carte avec des points de coordonnées géographiques.

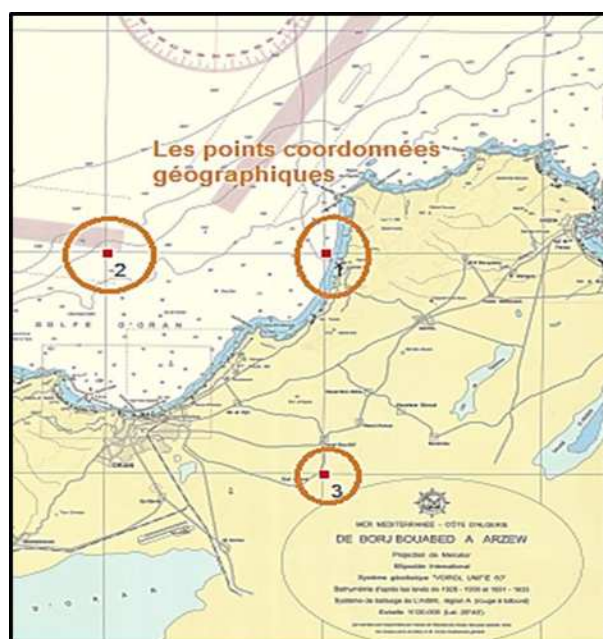


Figure IV. 1: Géoréférencement de la carte marine.

Une fois la carte géoréférencée, les isobathes (-10 m, -20 m, -50 m, -100 m, 200 m, -500 m, allant jusqu'à -1000 m) et le trait de côte sont digitalisés dans MIKE 21 et dessinés sur la carte marine pour en définir les limites. Le résultat est enregistré au format .XYZ (fichier texte 'DOS') afin d'en sortir la latitude, la longitude et la profondeur.

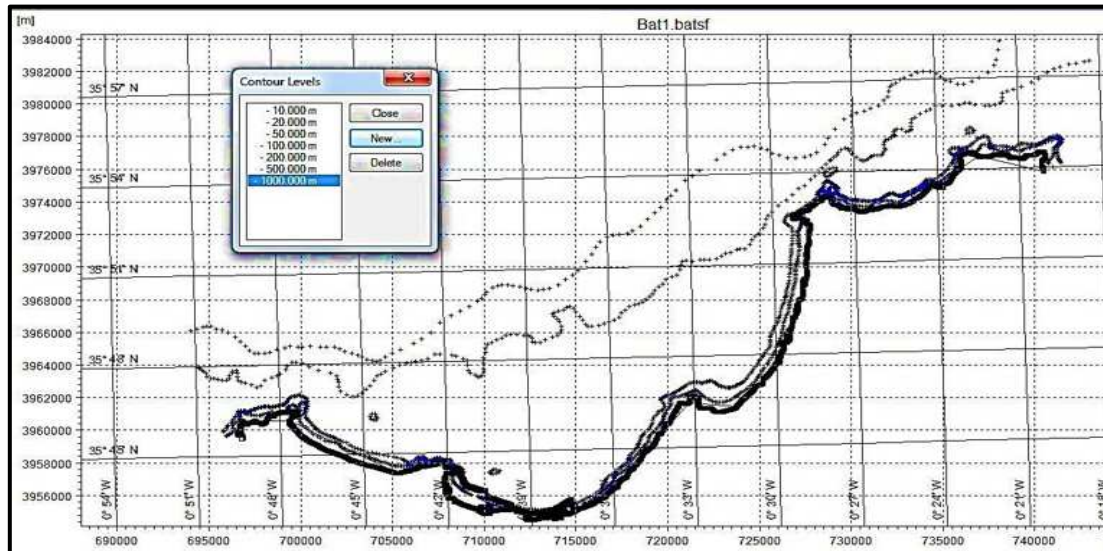


Figure IV. 2 : Digitalisation des isobathes de la carte marine d'Oran.

Le polygone où le maillage sera généré est alors défini et la génération de maillage est lancée en précisant la valeur de l'angle minimal dans les triangles ainsi que la surface maximale des éléments.

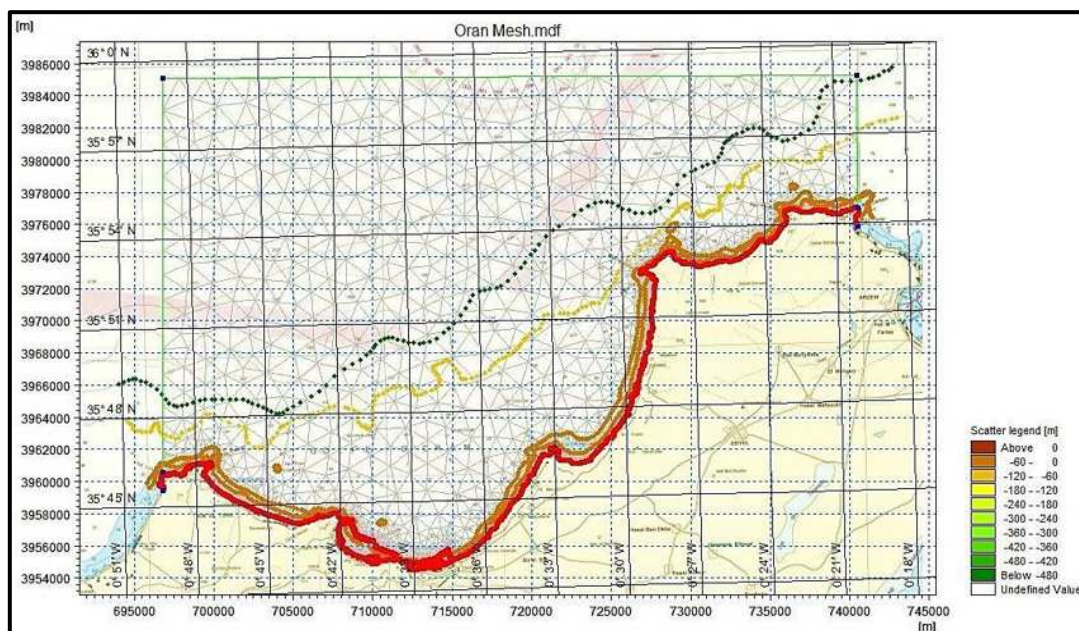
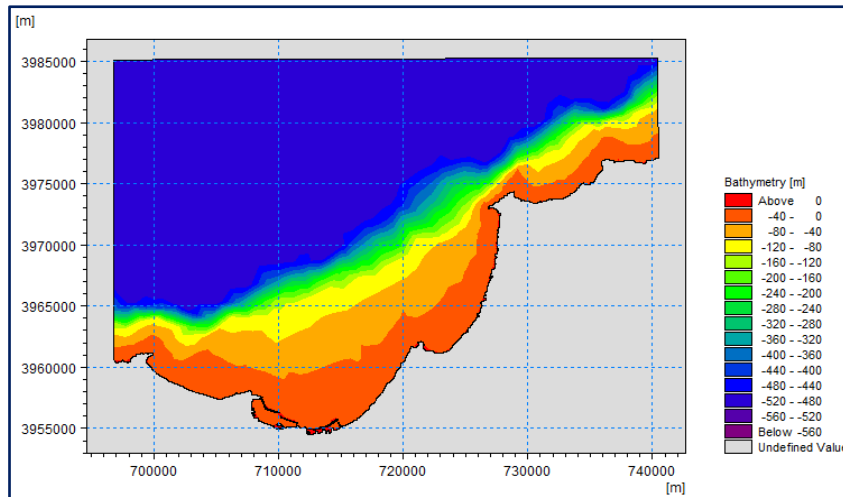


Figure IV. 3 : Le maillage résultant.

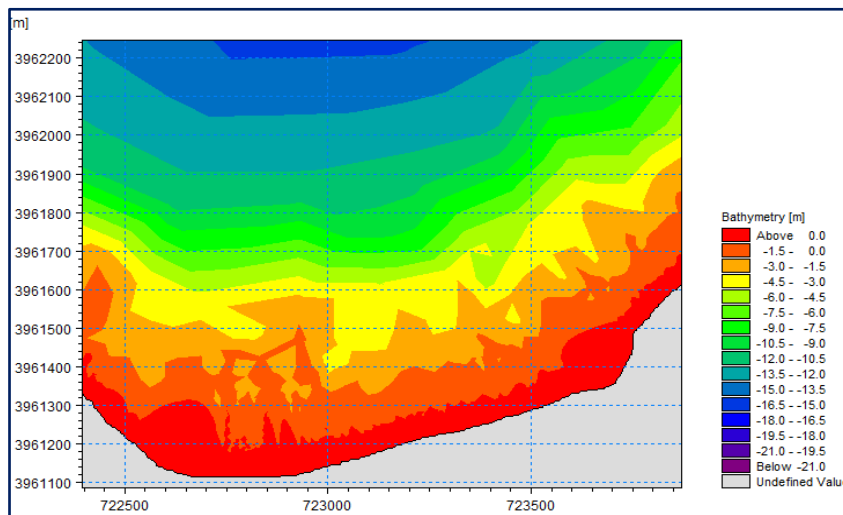
Le maillage issu est composé d'éléments triangulaires dont la taille a été ajustée suivant les évolutions bathymétriques. Le maillage subit ensuite plusieurs opérations de lissage avant l'interpolation de la bathymétrie.

**IV.2.1.1. Résultats :**

La bathymétrie interpolée obtenue du golf d'Oran présente des valeurs comprises entre -40 m et -560 m de profondeur.



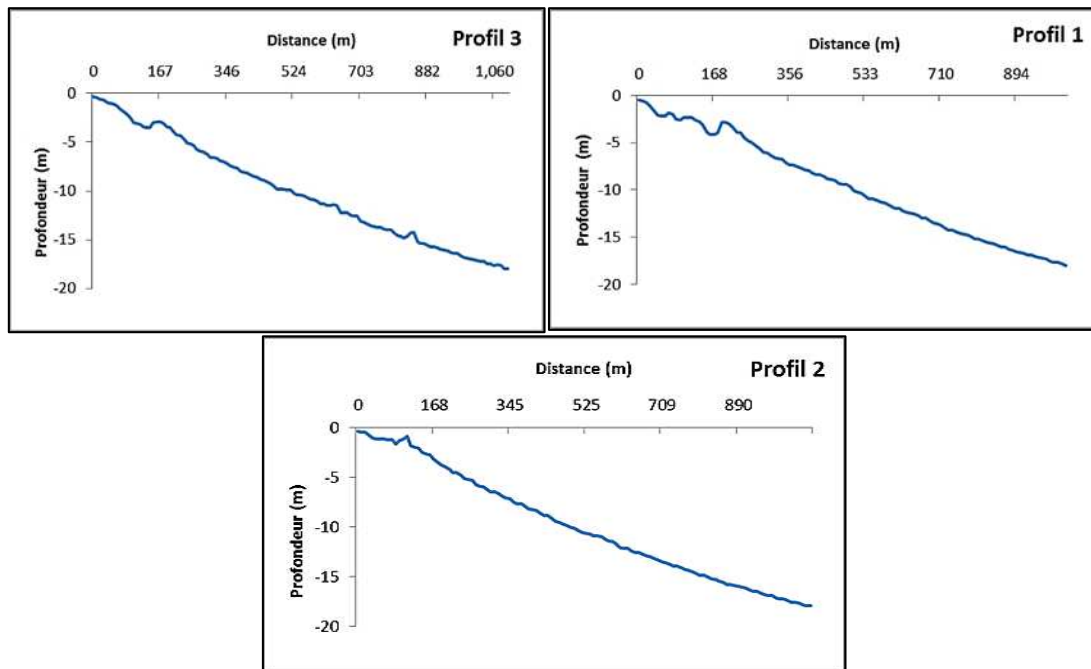
**Figure IV. 4 :** Carte bathymétrique du golf d'Oran réalisé par MIKE 21.



**Figure IV. 5 :** Carte bathymétrique du site d'étude réalisé par MIKE 21.

L'analyse de la carte bathymétrique révèle un fond marin caractérisé par des isobathes irrégulières entre le trait de côte et l'isobathe - 4 m. Au-delà des - 4 m, la bathymétrie semble régulière avec des isobathes espacés. Ces fonds sont moins actifs par rapport à ceux de la zone côtière.

Des profils bathymétriques ont été tracés afin de nous aider à caractériser la typologie sous-marine de notre zone.



**Figure IV. 6 :** Profils bathymétrique de la plage d'Ain Franine.

**Le profil 1 :** ce profil, situé dans la partie Est de la zone d'étude, montre que le fond marin est irrégulier entre la côte et -4 m. Il descend avec une pente de 3% formant un creux qui correspond, probablement, à une fosse de lévigation. Le fond remonte avec une pente de 8% pour former une barre sableuse à 170 m de la côte, résultat probable d'amas dû au glissement de terrain côtier. Au de-là de la barre, le profil continue avec une pente douce de 1,5%.

**Le profil 2 :** ce profil situé au centre de la zone d'étude indique que le fond marin n'est pas régulier entre la côte et -2m. Le fond descend avec une pente douce de 1,6 %, presque plat, puis remonte avec une pente de 3% pour former un semblant de bourrelet sableux, à environ 150m de la côte. Au-delà du bourrelet, le fond est régulier et présente une pente de 1%

**Le profil 3 :** ce profil est situé au niveau de la partie Ouest de la zone, révèle la présence d'une potentielle fosse de lévigation qui descend jusqu'à -4m avec une pente de 2,5%. Le fond remonte avec une pente de 3,7 % pour former une barre sableuse située à environ 170 m de la côte. Le fond continue jusqu'à les profondeurs de -18 m avec une pente relativement faible de l'ordre de 2%.

L'analyse de la carte bathymétrique et des profils a révélé que la morphologie est irrégulière entre 0 et -4 m avec un fond accidenté les deux premiers mètres, et réguliers au de-là de -4 m.

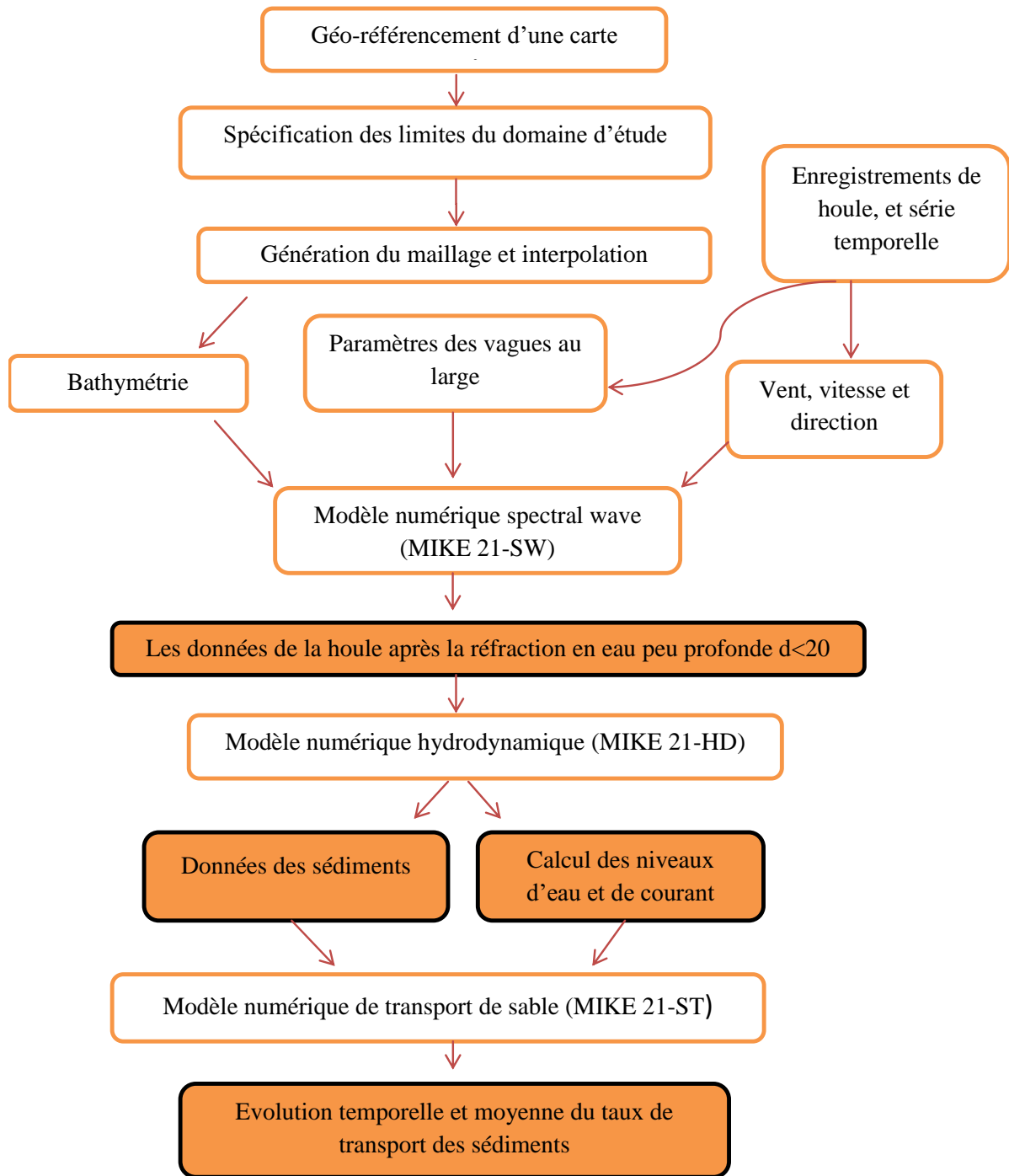
Cette analyse a permis de mettre en évidence un léger replat et un petit bourrelet au centre du site. Ainsi, qu'une barre sableuse à environ 170 m de la côte à l'Est et à l'Ouest de la zone d'étude. Ces barres sableuses se forment lors des périodes de tempêtes qui créent un dégarnissement du haut de plage, les sables arrachés s'accumulent dans la zone externe au déferlement, en donnant un nouveau profil de plage défini par une barre et une fosse. Ces barres sont alimentées par le courant de dérive littoral et interrompue par des espaces inter-barre causés par le courant de retour. La morphologie de la plage d'Ain Franine est donc caractérisée par une dynamique sédimentaire importante entre les petits fonds et la plage aérienne.

#### **IV.2.2. Etude hydrodynamique :**

La simulation de l'évolution du littoral dans le secteur d'intérêt nécessite l'intégration de la dynamique naturelle des processus de l'environnement côtier. L'étude hydrodynamique a suscité l'usage du modèle couplé MIKE21/3 FM. C'est un modèle d'hydraulique numérique par éléments finis, intégrés pour simuler les processus hydrauliques dans des eaux peu profondes, couplant des vagues, des courants et le transport de matériel (sable).

Les étapes de lancement des simulations sur le modèle couplés MIKE21/3 FM :

- Définition du nombre d'intervalle de temps ; 30 intervalles de temps de 1800 secondes.
- Importation du domaine de calcul interpolé (la bathymétrie), définition des limites spatiales de simulation, et calibration des modules.
- Introduction des paramètres des vagues au large de chaque frontière dans le module de simulation de la réfraction «spectral wave MIKE21-SW».
- Introduction des paramètres climatologiques (vents et niveaux d'eau), et faire le choix d'utilisation des données de sortie de la réfraction dans le module de simulation des courants «MIKE21-HD».
- Importation de la table sédimentaire Q3D dans le module «MIKE21-ST», et effectuer le choix d'utilisation des données de sortie de réfraction et courantologie pour la simulation du transport sédimentaire.

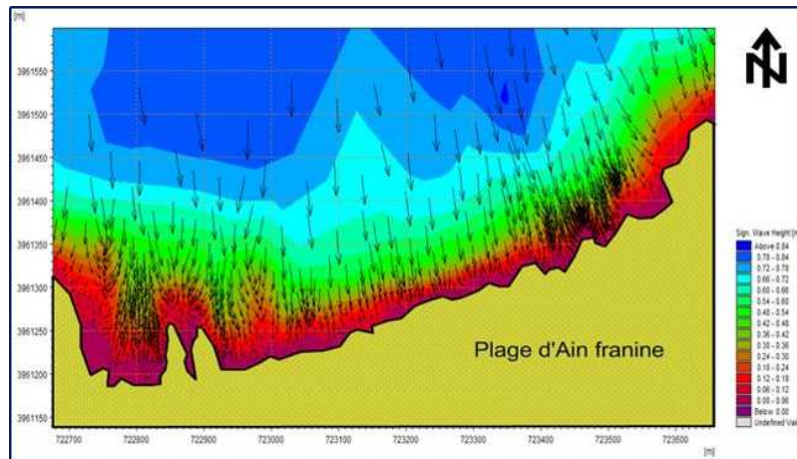


**Figure IV. 7 :** Schéma récapitulatif de l’approche méthodologique de la modélisation par les codes MIKE 21.

#### IV.2.2.1. Résultats de la simulation numérique :

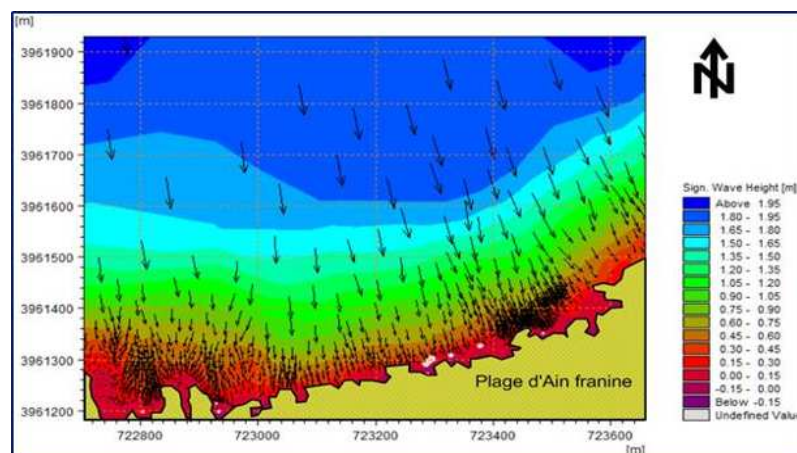
- IV.2.2.1.1. Propagation des houles de direction Nord au large (360°) :

Le résultat de la réfraction de la houle de direction 360 °N pour la période de 6 secondes et une hauteur significative (Hs) au large égal à 1,07 m, montre des attaques frontales au niveau de la plage d'Ain Franine, avec une déviation de l'angle d'incidence dirigé vers l'Ouest de la plage où la pente moyenne peut causer un déferlement plongeant.



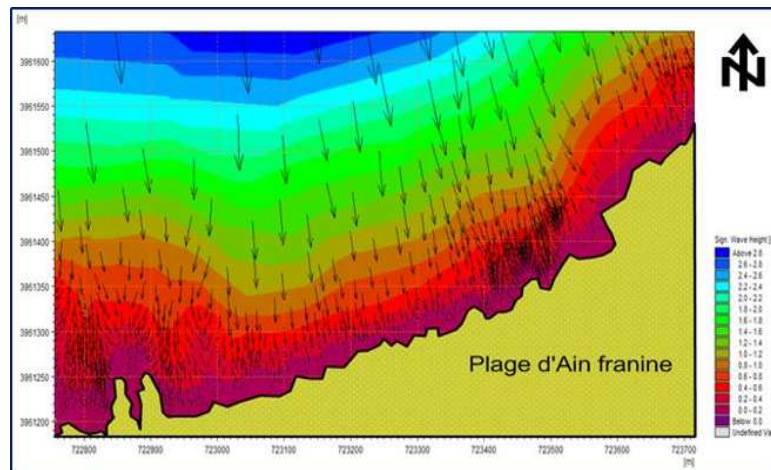
**Figure IV. 8 :** Champs de houles (MWD=360°) pour T= 6 s H=1,07 m.

À -10 m, la hauteur varie de 0,84 m à 0,72 m avec un coefficient de réfraction égale à 0,8, la dissipation de l'énergie est assez faible au large. En se dirigeant vers la côte, la hauteur des houles diminue jusqu'à 0,42 m à -4 m de profondeur, et atteint les 0,06 m avec une forte dissipation sur la plage.



**Figure IV. 9 :** Champs de houles (MWD=360°) pour T=8 s et Hs = 2,68m.

Pour les houles de direction  $360^{\circ}\text{N}$  pour la période de 8 s et un  $H_s$  au large égal à 2,68 m ; celles-ci frappent de façon frontale le rivage, avec une forte intensité sur le segment Est où on remarque une concentration d'énergie qui peut supposer une réfraction convergente. À des profondeurs de -10 m, la hauteur des houles diminue au fur et à mesure que l'effet du fond commence à se faire ressentir. À l'approche de la côte, elle diminue de 1,95 m à 1,05 m avec un coefficient de réfraction égale à 0,8, ce qui nous laisse penser que la dissipation de l'énergie est très faible à ces profondeurs. Cette décroissance est brusque à - 4 m où la bathymétrie devient irrégulière avec une hauteur qui atteint 0,45 m pour un coefficient de réfraction égale à 0,2, preuve que la dissipation est importante à ce niveau. À -1 m, la hauteur des houles atteint 0,15 m, ces derniers finissent par se dissiper sur la plage.



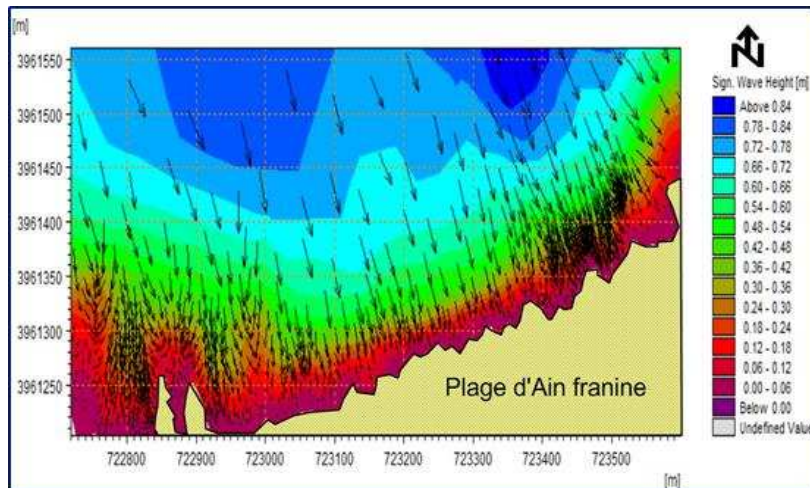
**Figure IV. 10:** Champs de houles (MWD= $360^{\circ}$ ) pour T=10 s  $H_s= 7,12$  m.

Les houles de direction  $360^{\circ}\text{N}$  pour la période de 10 secondes et un  $H_s$  au large égal à 7,12 m, montrent un dynamisme assez perpendiculaire au centre de la plage, marquant à -10 m de profondeur ; une hauteur de 2,6 m à 1,2 m en se dirigeant vers les petits fonds pour un coefficient de réfraction avoisinant 0,3. À partir de l'isobathe - 4,5 m, la hauteur varie de 0,8 m à 0,6 m pour un coefficient de réfraction de 0,1 démontrant une réfraction importante avant la côte. L'énergie des houles a pu être dissipée complètement avant son arrivé sur la plage.

D'après les résultats obtenus, on conclut que les houles annuelles de secteur nord se propagent de manière frontale et gardent une grande partie de leur énergie, avec une faible réfraction au large. Pour les houles de période 6s et 8s, ils ne perdent que 20 à 30 % de leur énergie au large, en se propageant de façon frontale pour enfin déferler à l'approche de la côte et se dissiper sur la plage d'Ain Franine. À l'exception des houles de période de 10 s qui perdent 50% de leur énergie au large et se dissipent avant leur arrivé sur la plage.

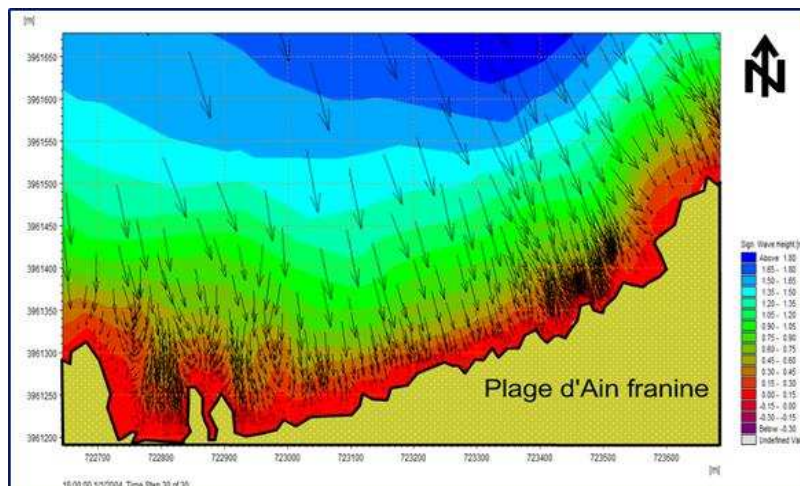
• **IV.2.2.1.2. Propagation des houles de direction Nord-Ouest au large (315°) :**

Pour les houles de direction 315 °N pour la période de 6 s et un Hs au large égale à 1,11 m, on remarque l’abattement de ces houles en coups de fouet sur la côte avec un pivotement visible des orthogonales à l’approche de l’isobathe -1m à l’Ouest de la plage (auprès de la falaise).



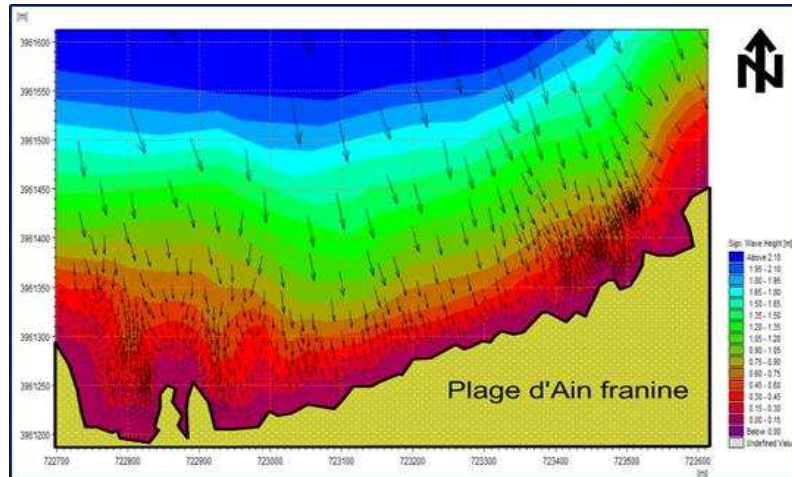
**Figure IV. 11 :** Champs de houles (MWD=315°) pour T= 6 s Hs= 1,11m.

La hauteur est de 0,84 m au large pour un coefficient de réfraction égal à 0,75, et de 0,06 m à -1.5 m pour un coefficient de réfraction de 0,05. Ces houles ont donc subi une réfraction moyenne au large (perte d’énergie), et finissent par déferler au niveau des petits fonds causant une dissipation complète de l’énergie.



**Figure IV. 12 :** Champs de houles (MWD=315°) pour T= 8 s Hs= 2,49 m.

Les houles de direction de  $315^\circ\text{N}$  pour la période de 8 s et un  $H_s$  au large égal à 2,49 m arrivent en oblique à la côte, et tendent vers une concentration d'énergie auprès des deux falaises à l'extrémité de la côte où la réfraction pourrait être convergente. Au large, la hauteur est de 1,50 m et le coefficient de réfraction de 0,6 se traduit par une dissipation moyenne de l'énergie. Le coefficient de réfraction atteint les 0,06 pour des hauteurs de 0,15 m à -2 m, on peut dire que ces houles déferlent et perdent la totalité de leurs énergies à l'avant côte sous l'influence de la bathymétrie.



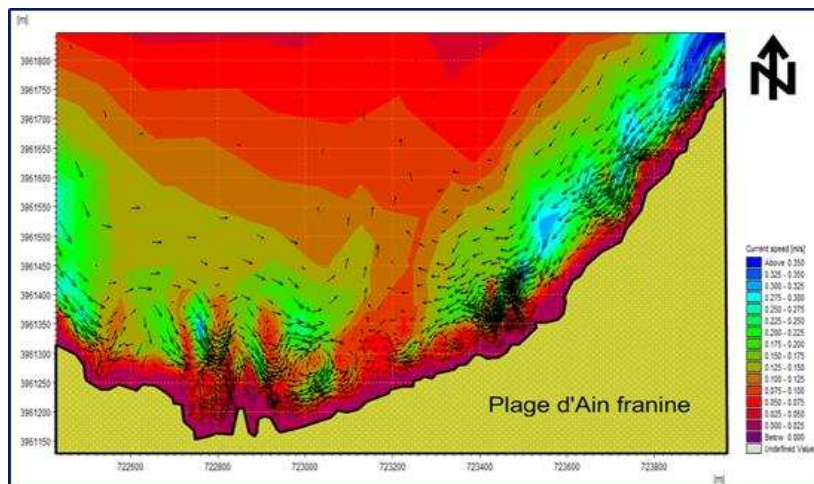
**Figure IV. 13:** Champs de houles (MWD=315°) pour T= 10 s et Hs = 4,53 m.

Les résultats de l'étude de la réfraction de la houle de direction  $315^\circ\text{N}$  pour une période 10 s et un  $H_s$  égal 4,53 m démontrent une propagation oblique, la réfraction semble être convergente au niveau des falaises aux deux extrémités de la plage en raison de la concentration de l'énergie observée. Cependant, elle est divergente au centre de la plage dont la forme est semblable à une baie. À -10 m de profondeur, le coefficient de réfraction est égal à 0,4 pour des hauteurs qui varient de 2,10 à 1,50, la hauteur diminue graduellement en avançant vers la côte allant de 1,35 m à -6 m jusqu'à 0,30 m à -1 m pour un coefficient de réfraction égal à 0,06. La réfraction faite au large a permis la dissipation de l'énergie.

Les houles annuelles du secteur Nord-Ouest se propagent obliquement, subissent une réfraction et atteignent la plage avec une grande partie de leur énergie dissipée (50%) au niveau de la zone de shoaling, pour un coefficient de réfraction de 0,6 à 0,4 au large. On estime que le coté Est et Ouest de la plage sont très affectés par ces houles avec un coefficient de réfraction dépassant parfois 0,8. Ceci peut s'expliquer par l'influence de la bathymétrie (présence de falaise avec un fond en pente qui ne permet pas une bonne dissipation de l'énergie de la houle), le déferlement se produit près de la côte.

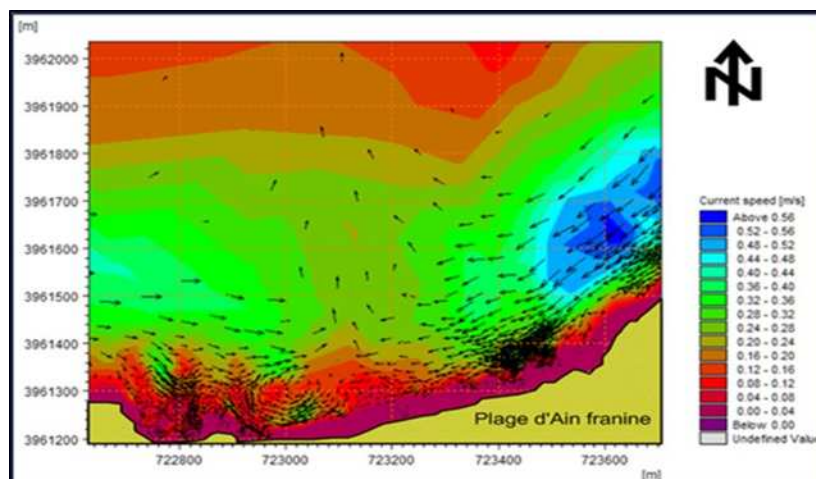
• **IV.2.2.1.3. Les champs de courant de direction Nord au large (360°) :**

Les champs de courants de direction 360°N pour T= 6 s et Hs égale à 1,07 m, montrent une activité hydrodynamique tourbillonnaire dans toute la zone d'étude, particulièrement dans la partie Est exposée aux houles frontales où on dénote un courant littoral de dérive important, dirigé vers l'Ouest avec une vitesse de l'ordre de 0,75 m/s, ainsi qu'un très faible courant littoral de dérive dirigé vers l'Est. Au croisement de ces deux courants littoraux, on remarque un déplacement des masses d'eaux vers le large (courant de retour) avec des vitesses de 0,05 m/s à 0,075 m/s.



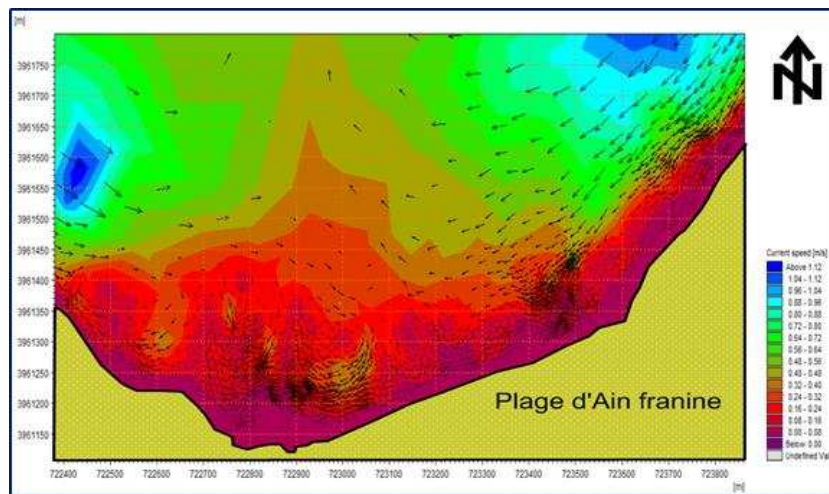
**Figure IV. 14:** Champs de courants (MWD=360°) pour T= 6 s Hs= 1,07m.

Une partie du courant littoral d'Est-Ouest prend une forme tourbillonnaire au fur et à mesure de son avancement le long de la partie centrale de la plage, son intensité diminue graduellement atteignant une vitesse de l'ordre de 0,05 m/s. Au niveau de la partie Ouest, une turbulence est enregistrée en raison de la faible dissipation de l'énergie des vagues au large enregistrée (voir Figure IV.8) pour des vitesses de 0,050 m/s.



**Figure IV. 15:** Champs de courants (MWD=360°) pour T= 8 s Hs= 2,68 m.

Pour les champs de courants de direction  $360^{\circ}$ N pour  $T=8$  s et  $H_s = 2,68$ m ; on observe un courant littoral parallèle à la côte avec une vitesse atteignant  $0,56$  m/s au niveau du segment Est de la plage, qui diminue progressivement passant par des vitesses moyennes de l'ordre de  $0,40$  m/s à  $0,16$  m/s. Ce courant continue à évoluer sur la même gamme de vitesses jusqu'à la partie centrale de la plage où il diverge vers le large avec une vitesse de  $0,12$  m/s, formant un courant de retour. La partie Ouest de la plage est marquée par de grandes recirculations au niveau de la falaise avec des vitesses plus faibles par rapport à l'Est, variant entre  $0,12$  m/s et  $0,04$  m/s.



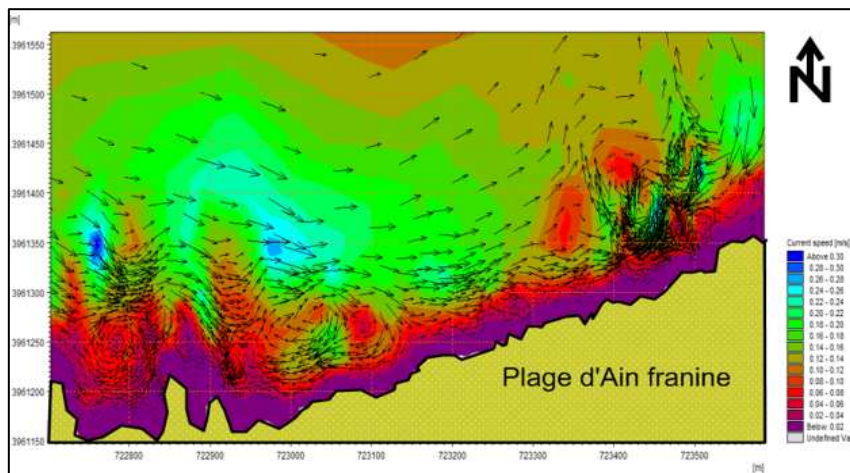
**Figure IV. 16 :** Champs de courants (MWD=360°) pour T=10 s Hs= 7,12 m.

Concernant les champs de courants de direction  $360^{\circ}$ N pour  $T=10$  s  $H_s = 7,12$  m ; les directions et vitesses des courants générées par la réfraction des houles avant leur arrivés à proximité de la côte nous démontrent des champs de courant de dérive littoral d'Est-Ouest importants avec des vitesses atteignant  $1,04$  m/s, qui se dirigent vers le large avec une vitesse de  $0,64$  m/s, formant des courants d'arrachement qui emportent les sédiments vers le large. Une partie du courant de dérive provoque l'apparition de tourbillons à l'Ouest de  $0,24$  m/s.

Les champs de courant de direction Nord montrent ; des circulations tourbillonnaires des courants de masse majoritairement présente sur le côté Ouest de la plage. Et un courant de dérive littorale Est-Ouest susceptible d'être à l'origine de l'érosion de la plage Est tout en alimentant la barre sableuse constatée à l'Ouest à  $170$  m au large de la côte. Cependant, les courants dirigés vers le large au niveau de la partie centrale de la plage peuvent être des courants de retour capables d'emporter les sédiments du haut de plage vers le large.

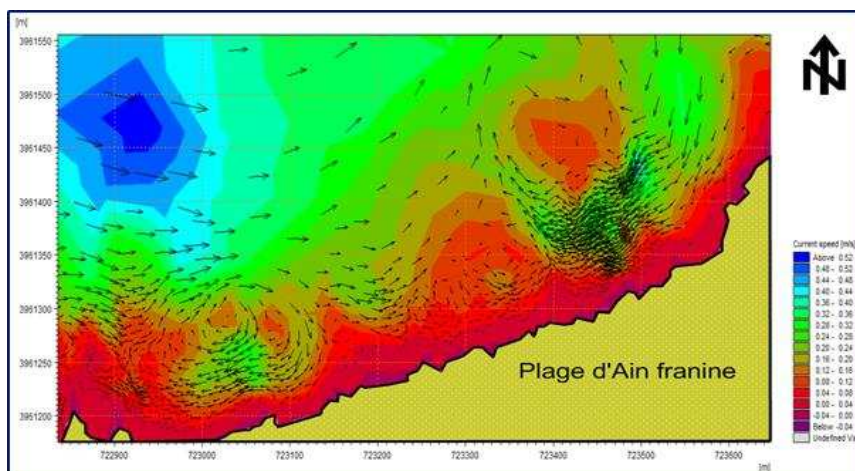
• **IV.2.2.1.4. Les champs de courant de direction Nord-Ouest au large (315°) :**

Les champs de courants créés par une propagation de houles de direction Nord-Ouest 315° pour un T= 6 s et Hs égal à 1,11 m, montrent des courants de dérives littoraux parallèles à la côte se dirigeant vers l'Est, avec une faible intensité de vitesse de 0,26 m/s à 0,12 m/s. En se rapprochant du rivage l'intensité des courants littoraux diminue jusqu'à 0,04 m/s tout en formant des tourbillons à l'Ouest moins énergétiques que les courants de retour de l'Est avec des vitesses de 0,16 m/s, ceci peut être expliqué par l'exposition du côté Est de la plage à cette dérive qui s'étale spatialement à ce niveau.



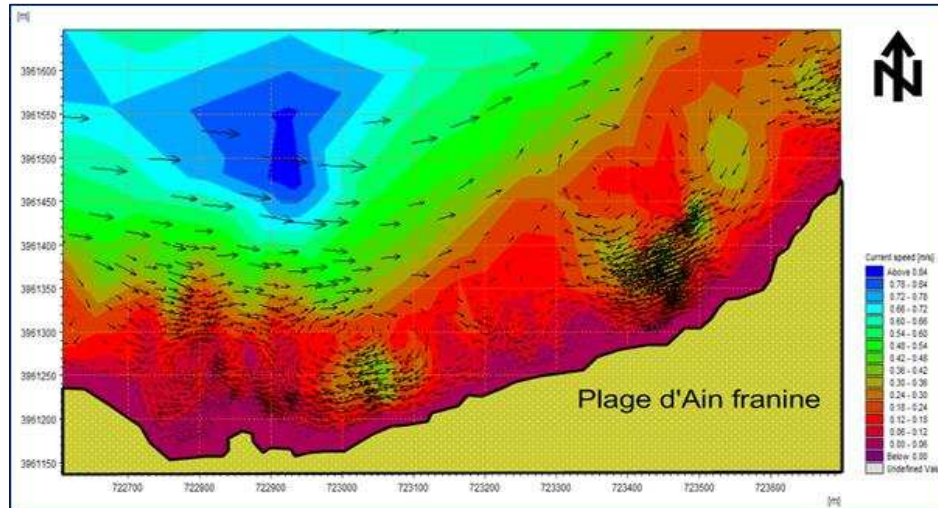
**Figure IV. 17 :** Champs de courants (MWD=315°) pour T= 6 s et Hs = 1,11 m.

Alors que pour les champs de courants de direction Nord-Ouest 315° pour T= 8 s et Hs = 2,49 m ; on remarque une circulation identique à celle constatée précédemment, mais avec des vitesses plus importantes, pour le courant de dérive de direction Ouest-Est de 0,48 m/s diminuant jusqu'à des vitesses de l'ordre de 0,20 m/s.



**Figure IV. 18 :** Champs de courants (MWD=315°) pour T= 8 s et Hs = 2,49 m.

Concernant les champs de courants de retour au niveau du rivage Est ; ils sont faibles et migrent avec des vitesses de 0,24 m/s. Il faut noter que la circulation de ces champs est espacée, à cause de la dissipation observée dans l'étude de réfraction produite près de la côte pour les mêmes paramètres (voir Figure IV.12).



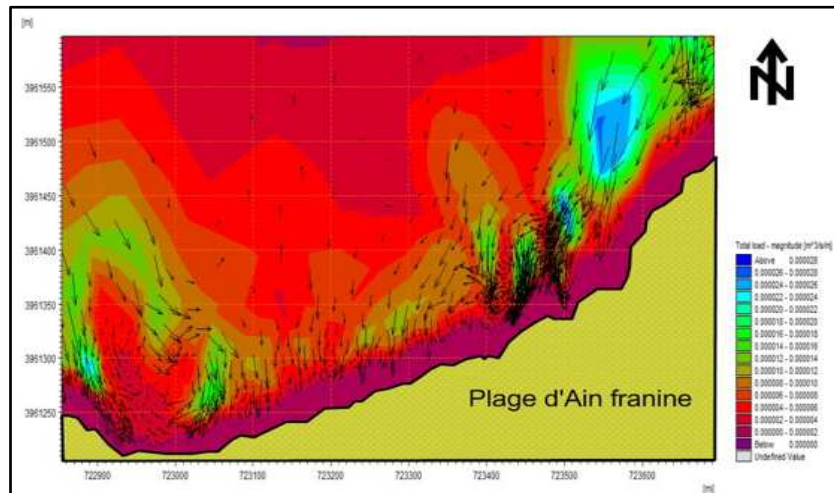
**Figure IV. 19 :** Champs de courants (MWD=315°) pour T= 10 s et Hs = 4,53 m.

Pour les champs des courants de direction Nord-Ouest 315° pour T= 10s et Hs égal à 4,53 m ; on constate au niveau de la plage une assez forte activité hydrodynamique avec un courant de dérive littoral de direction Ouest-Est dominant avec des vitesses de 0,84 m/s à 0,36 m/s. Au niveau de la côte la circulation tourbillonnaire paraît intense avec de faibles vitesses variant de 0,24 m/s à 0,06 m/s car la dissipation de l'énergie s'est faite au niveau de la zone de shoaling et non à la côte (voir Figure IV.13). Le résultat est donc en accord avec la réfraction de la houle de direction Nord-Ouest.

Les champs de courants résultants de la propagation des houles Nord-Ouest montrent un courant de dérive littoral Ouest-Est pour les trois périodes, dont la vitesse est plus importante pour la période de 10s. Ce courant longitudinal pourrait assurer un important transport de volumes sédimentaires le long de la côte et à alimenter la barre sableuse détectée à l'Est de la plage, à 170 m au large de la côte. Les courants tourbillonnaires et de retour présents au niveau des petits fonds ont de faibles vitesses, pouvant ainsi assurer qu'un faible transport vers le large.

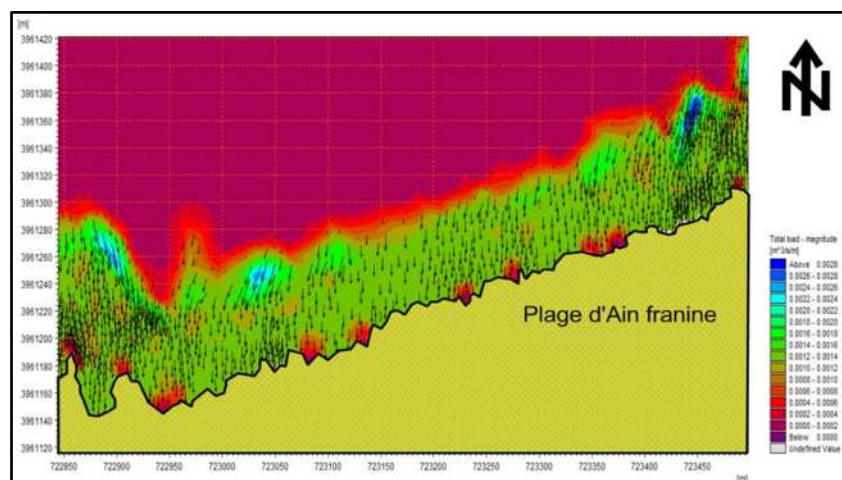
• **IV.2.2.1.5. La capacité de transport solide de direction Nord 360° :**

Le résultat de la simulation de la capacité du transport solide pour des houles de direction Nord 360° , un T= 6 s et Hs égal à 1,11m reflète un transport sédimentaire au niveau du site d'étude qui suit exactement le sens des champs de courants pour la même fréquence (voir Figure IV.14).



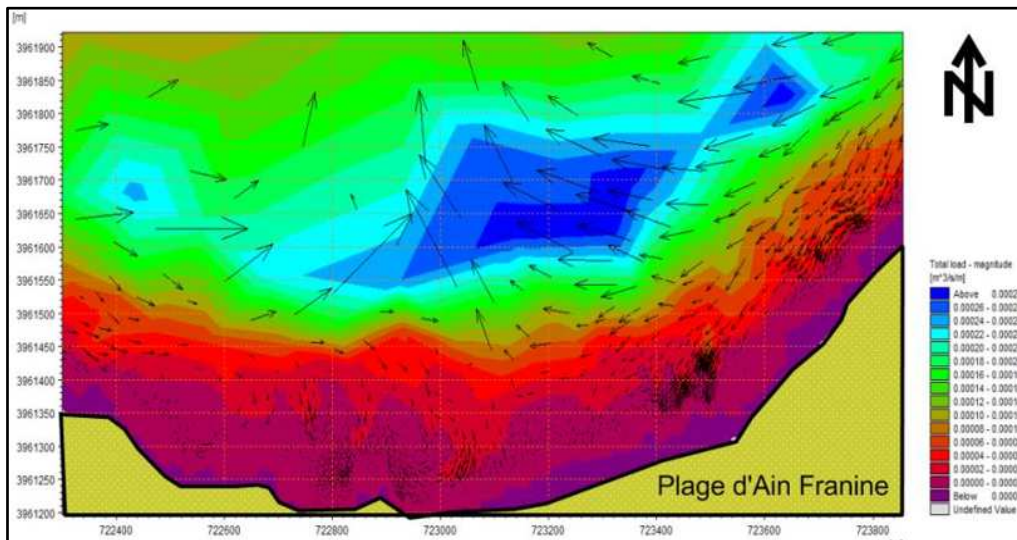
**Figure IV. 20 :** Capacité de transport solide (MWD=360°) pour T= 6 s Hs = 1,07 m.

La zone littorale est donc sujette à une dérive sédimentaire d’Est-Ouest dont la capacité diminue de 757 m³/an/m à 189 m³/an/m, la partie centrale de la plage est caractérisé par un transit de l’ordre de 126 m³/an/m, et une faible migration des sédiments vers le large estimé à 63 m³/an/m à cause de la faible vitesse des courants de retour transportant ces sédiments. Les flux sédimentaires qui atteignent le coté Ouest de la plage enregistrent une capacité de 442 m³/an/m.



**Figure IV. 21 :** Capacité de transport solide (MWD=360°) pour T=8 s et Hs = 2,68m.

Le transport solide par les houles Nord  $360^\circ$  pour un  $T=8$  s et  $H_s$  égal à 2,68m ; montre un transport sédimentaire par jet de rive, engendré par les courants de dérive littorale Est-Ouest plus intense à l'Est de la plage avec une capacité de transport variant de  $75686 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$  à  $37843 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$  aux deux extrémités de la plage. Au niveau du segment centre de la plage, la capacité de transport est de l'ordre de à  $37843 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$  dans la direction de propagation des houles de secteur Nord. On remarque que les champs de courant tourbillonnaires formés à l'Ouest de la plage (Figure IV.15) n'ont aucun effet migratoire sur le transport sédimentaire en vue de leur faible vitesse.



**Figure IV. 22 :** Capacité de transport solide (MWD= $360^\circ$ ) pour  $T=10$  s  $H=7,12$  m.

Le transport solide par les houles Nord  $360^\circ$  pour  $T=10$  s et  $H_s$  égal à 7,12 m ; démontre une dérive littorale Est-Ouest dont la capacité de transport varie de  $1892 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$  à  $946 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$  à l'Est de la plage. Au niveau de la partie centrale de la plage, on a un transit sédimentaire important de  $3154 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$ , et une capacité de transport solide toute aussi importante variant de  $2838 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$  à  $4730 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$  emportée par les courants de retour distingués (à voir Figure IV.16). À l'Ouest de la plage, il existe un transport d'une capacité de  $1577 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$  qui diminue en arrivant sur la côte atteignant une capacité de  $316 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$ .

Le transit sédimentaire reproduit donc l'activité hydrodynamique observée dans les champs des courants pour ces mêmes fréquences. La dérive littorale Est-Ouest semble ne pas suffisamment alimenter en apports sédimentaires la zone d'étude à cause du transit des sédiments dans le profil (de la côte vers le large) observé pour les périodes de 6s et 10s. Cependant, une importante capacité de transport par jet de rive est enregistrée pour la période de 8s.

• IV.2.2.1.6. La capacité de transport solide de direction Nord-Ouest 315° :

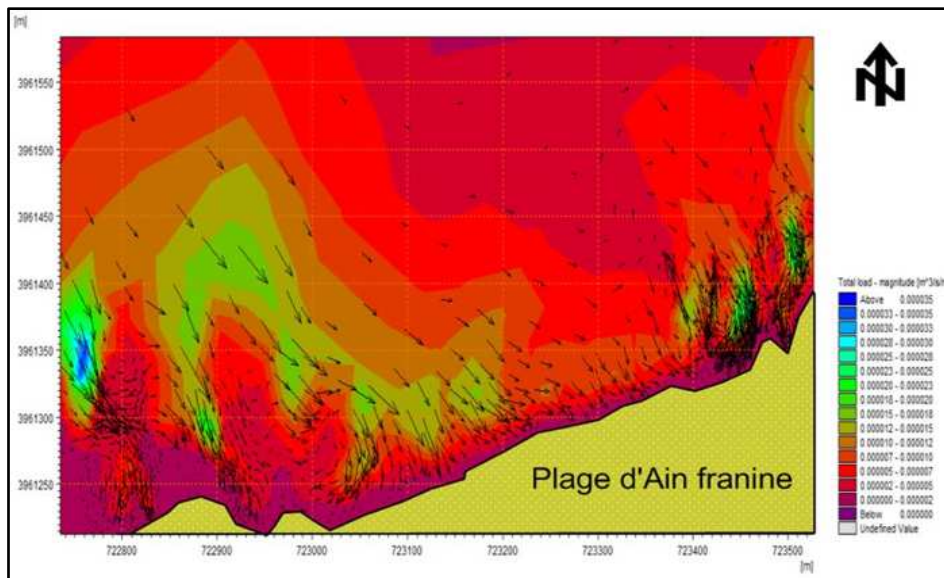


Figure IV. 23 : Capacité de transport solide (MWD=315°) pour T= 6 s et Hs = 1,11 m.

Les flux sédimentaires occasionnés par les houles Nord-Ouest 315° pour T = 6 s et Hs égale à 1,11 m, se dirigent vers la côte avec une capacité de transport de 473 m³/an/m, diminuant au fur et à mesure, atteignant une capacité de 157 m³/an/m au niveau des segments centre et Ouest de la plage. Alors que la capacité de transport solide de 378 m³/an/m à l’Est de la plage est plus intense formant presque des tourbillons sédimentaires, ceci pourrait être expliqué par la forte intensité des champs de courants de dérive littorale Ouest-Est présents à ce niveau-là (voir Figure IV.17).

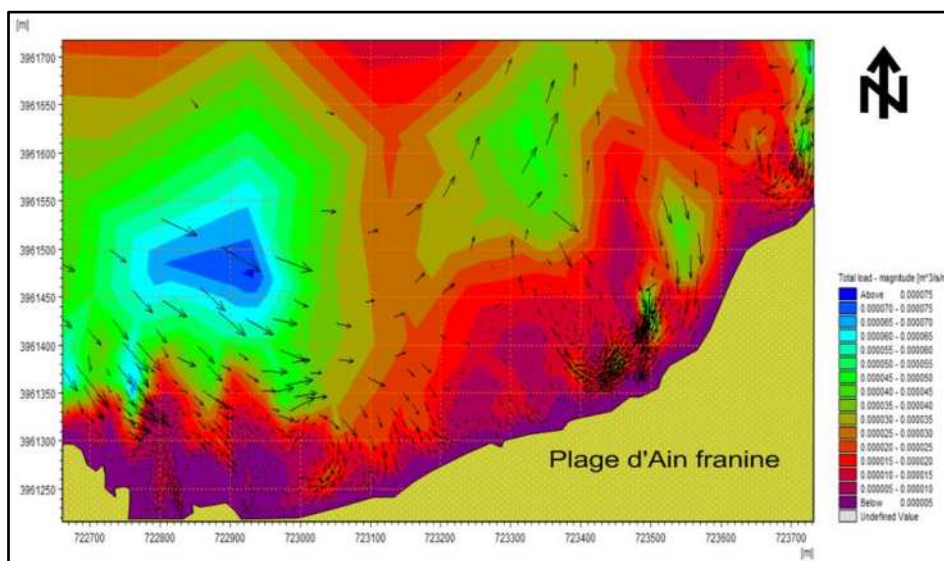
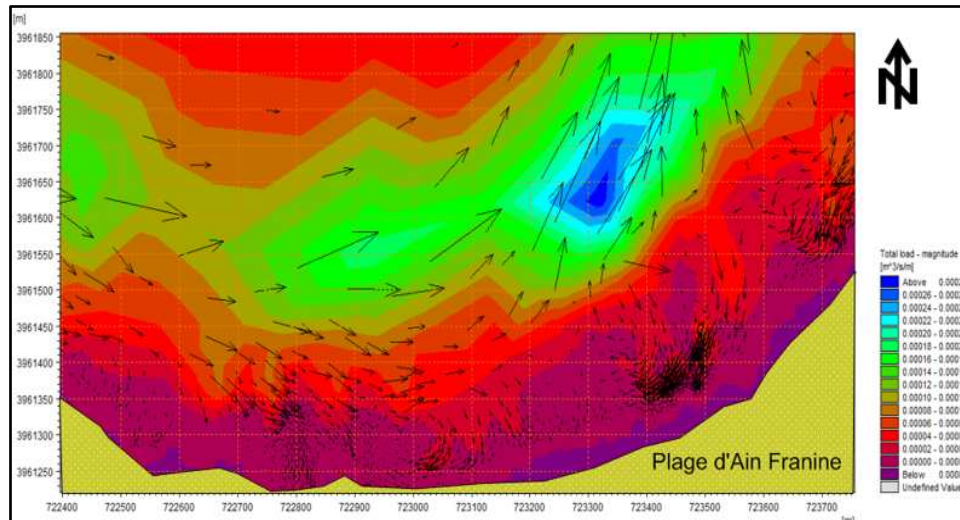


Figure IV. 24 : Capacité de transport solide (MWD=315°) pour T= 8 s et Hs = 2,49 m.

Le résultat de la simulation du transport sédimentaire entrainé par les houles Nord-Ouest  $315^\circ$  pour  $T= 8$  s et  $H_s = 2,49$  m, permet de constater une dérive sédimentaire Ouest-Est d'une capacité de transport estimée à  $2092 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$ , qui alimente la plage avec seulement  $315 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$  par rapport à la capacité de  $1104 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$ , avec laquelle le transit migre au large à l'Est de la plage sous l'action des forts courants de retour présents (voir Figure IV.18).



**Figure IV. 25 :** Capacité de transport solide (MWD=315°) pour T= 10 s et Hs = 4,53 m.

Le résultat du transport sédimentaire engendré par les houles Nord-Ouest  $315^\circ$  pour un  $T= 10$  s et  $H_s = 4,53$  m, représente une dérive sédimentaire Ouest-Est parallèle à la côte qui suit exactement le sens du courant de dérive littorale remarqué précédemment (Figure IV.19), elle est d'une capacité de transport de  $5045 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$ , et migre vers l'Est avec une capacité de  $3154 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$ . On retrouve un transit sédimentaire d'une capacité de  $1892 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$  à l'avant côte, qui alimente le centre de la plage avec une capacité de transport de  $630 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$ , cette diminution revient à la présence des barres et bourrelets sableux le long du rivage.

La dérive sédimentaire Ouest-Est suit le sens des courants de dérive littorale pour les trois fréquences. La dérive Ouest-Est pour la période de 6s et 10s représente un important transit sédimentaire capable d'alimenter la plage d'Ain Franine surtout au niveau de son segment Est caractérisé comme très vulnérable. Néanmoins, un transport transversal vers le large est détecté pour la période de 8s.

**CONCLUSION :**

A partir des résultats obtenus de la réfraction, on conclut que les houles de direction Nord-Ouest  $315^\circ$  sont plus réfractées que celles des houles frontales provenant du secteur Nord ( $360^\circ$ ). Le choix de la houle pour le dimensionnement d'un ouvrage de protection va donc se porter sur les houles de secteur Nord  $360^\circ$ .

Les houles Nord-Ouest  $315^\circ$  dissipées au large, créent des courants de dérives littorales Ouest-Est, qui peuvent favoriser un puissant transit sédimentaire. Alors que les houles Nord  $360^\circ$  qui dissipent leur énergie près de la côte créent de faibles courants de dérive littorale et de forts courants de retour qui tendent à migrer vers le large.

Le transport solide par la dérive littorale suit exactement la direction des courants de dérive littorale. Ainsi, la capacité du transit sédimentaire peut varier avec la vitesse des courants repérés pour les mêmes fréquences. L'alimentation de la plage d'Ain Franine et des barres sableuses est en faveur des transports de direction  $315^\circ$ , alors que la migration des sédiments vers le large est plus avantageée par les transports de direction  $360^\circ$  à cause de la présence d'importants courants de retour. La régénération de la plage sur le plan sédimentologique n'est donc pas suffisamment favorisée par le régime hydrodynamique de direction Nord.

## **CHAPITRE V**

# **APPLICATION DES SIG AU SUIVI DE L'EVOLUTION DU TRAIT DE CÔTE**

## **INTRODUCTION :**

La compréhension de l'évolution du littoral est une priorité en termes d'aménagement côtier. L'étude de l'évolution du trait de côte à différentes échelles spatio-temporelles permet de faire une analyse de l'état d'équilibre de notre linéaire côtier, ainsi de formuler des prédictions sur sa pérennité. L'objectif de ce chapitre s'articule, d'une part sur la théorie d'érosion côtière, et d'autre part sur le développement d'une analyse de l'évolution du trait de côte.

### **V.1. EVOLUTION DU TRAIT DE CÔTE :**

L'étude de l'évolution du trait de côte contribue à l'appréciation des facteurs et des phénomènes qui interviennent dans l'évolution de la morphologie côtière, tant que la formation d'une plage résulte principalement de l'apport de sédiments détritiques transportés par les cours d'eau ou produits par l'érosion marine des côtes rocheuses. L'équilibre entre le dépôt de sédiments et leur redistribution par les courants côtiers détermine alors la stabilité d'une plage, tandis que le déséquilibre en faveur de l'un de ces deux facteurs entraîne respectivement l'engraissement ou l'érosion d'un littoral.

### **V.2. EROSION COTIERE ET SIG :**

Ces dernières décennies, de nombreuses approches dans le domaine du traitement numérique de l'information géographique ont été développées pour améliorer notre compréhension et tenter de prédire l'évolution morphodynamique des plages sableuses. Parmi ces méthodes, nous utiliserons une approche incluant les SIG et l'imagerie satellitaire s'appuyant sur leur analyse graphique pour mesurer et cartographier les positions successives des indicateurs du trait de côte.

### **V.3. METHODOLOGIE :**

#### **V.3.1. Récolte des données :**

On dispose de sept images satellitaires (entre 2011 et 2017) issues de Google Earth qui est un logiciel SIG permettant d'accéder via internet à une très large base de données géographiques, avec une résolution de 30 m, Ces images sont issues d'entreprises de commercialisation d'images et sont archivées sur le serveur de Google Earth Pro.

**V.3.2. Moyens et procédures :** Pour le traitement et l'exploitation de ces images satellitaires, on utilise le logiciel ArcGis 10.2.2.

- **Aperçu du logiciel ArcGis 10.2.2 :**

ArcGIS est une plateforme logicielle SIG développée par la société ESRI. Elle offre de nombreuses potentialités pour la manipulation, la gestion, l'analyse et l'édition des données spatiales. Différentes couches d'informations spatiales peuvent être manipulées offrant la possibilité d'analyser une ou plusieurs couches sous le contrôle des autres. Le logiciel ArcGIS10.2.2 comprend quatre applications principales, à savoir :

**ArcCatalog :** un explorateur de données tabulaires et cartographiques offrant des outils de création, gestion et d'organisation des bases de données et des fichiers de différents formats, donnant aussi la possibilité de gérer les métadonnées de l'aménagement de l'ensemble de données.

**ArcMap :** une application fondamentale du logiciel ArcGIS. Elle contient une boîte à outils organisés sous forme de modules indépendants (extensions), permettant de gérer, manipuler, analyser et éditer les différentes couches d'informations de la base de données.

**ArcToolbox :** contenant des outils de géotraitement, de conversion et d'analyse des données.

**ArcGlobe :** permettant d'afficher de grandes quantités de données SIG en trois dimensions.

- **Aperçu de l'extension DSAS :**

Digital System Analysis Shoreline (DSAS) est une application logicielle disponible gratuitement, fonctionnant dans le Système d'information géographique ArcGIS. DSAS permet de générer le transect selon le pas de mesure défini, et de calculer les statistiques de taux de changement pour une série chronologique des données vectorielles du littoral.

**Les indicateurs à calculer :** Les transects permettent de définir les secteurs d'évolution et d'en calculer les valeurs moyennes grâce à des attributs statistiques dont deux sont à retenir :

- **Mouvement net des rivages (NSM) :** Le mouvement du littoral net rend compte de la distance totale entre les rivages les plus anciens et les plus jeunes pour chaque profil.

- **Le taux de point final (EPR):** Il est calculé en divisant la distance de déplacement du littoral par le temps écoulé entre la rive la plus ancienne et la rive la plus récente ( $N_a$ ), cet attribut est exprimé en m/an, sous le libellé «vitesse de l'évolution». Ses avantages sont la facilité de calcul et l'exigence de deux traits de côte pour évaluer la cinématique littorale.

$$EPR = \frac{NSM}{N_a} \quad \dots\dots(V.1)$$

## V.4. PROCEDURE DE SUIVI DE TRAITEMENT :

### V.4.1. Volet cartographique :

#### V.4.1.1. Géoréférencement et digitalisation :

Le géoréférencement et la digitalisation représentent l'étape la plus importante, qui doit être menée avec grande précision. On sélectionne quatre points repères au niveau de notre zone d'étude (voir figure V.1), on note les coordonnées géographiques en degré, minute, seconde de chaque point. Celles-ci sont ensuite converties en coordonnées métriques à l'aide du logiciel «UTM converter », en fixant la zone de projection à UTM 30.

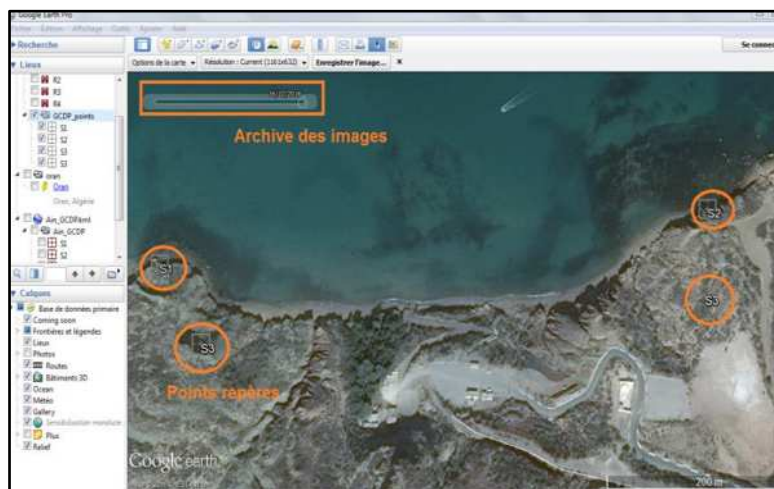


Figure V. 1 : Téléchargement des images sur Google Earth avec les points de repères.

Sous ArcCatalog, nous avons créé sept couches pour chaque année puis, nous les avons géoréférencées grâce à l'outil de géoréférencement (voir Figure V.2), en introduisant au niveau de chaque repère leurs coordonnées en mètre, et cela sous le système de coordonnées horizontales projetées: WGS 84\_ UTM\_Zone\_30N.

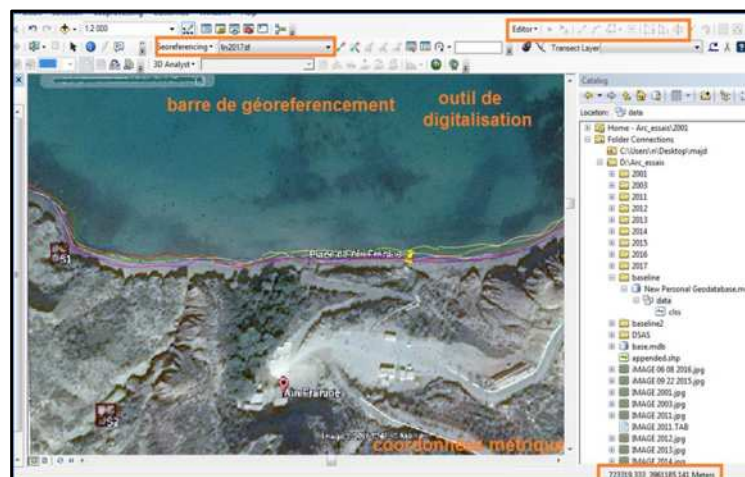


Figure V. 2: Géoréférencement et digitalisation des traits de cotes sur ArcMap.

Toujours, sur ArcCatalog, nous avons créé une base de données où toutes les données ont été stockées. Dans la géodatabase, un jeu de classe d'entité a été créé, qui permet de regrouper toutes les classes d'entités de forme ligne. Par la suite, on active l'éditeur et on commence à digitaliser les traits de côte des sept images sélectionnées (voir la Figure V.2).

#### V.4.1.2. Génération de ligne de base et transects:

La génération de la ligne de base et des transects passe par plusieurs étapes, à savoir :

- Création d'une géodatabase dans laquelle les classes d'entités pour la ligne de base et les traits de côtes seront stockées, ensuite, on utilise l'outil «Merged» pour fusionner nos deux traits de côte de deux années consécutives, puis grâce à l'outil «Buffer» de la barre «Géoprocessing» ; on va fixer la distance de 120 m entre la Baseline, parallèle au changement moyen des différents rivages que nous voulons créer, et les deux traits de côtes, à partir desquels les transects sont générés.
- Préparation de la table attributaire de chaque entité, selon les normes proposées par USGS, notons que la ligne de base et les traits de côtes doivent impérativement avoir le même système de coordonnées projeté (WGS84\_UTM 30) et le même type de géométrie.
- Génération d'une série de profils (37 transects) séparés de 25 m et possédant une longueur de 300 m (voir Figure V.3) perpendiculaires à la base de la ligne de référence et des différents traits de côte.

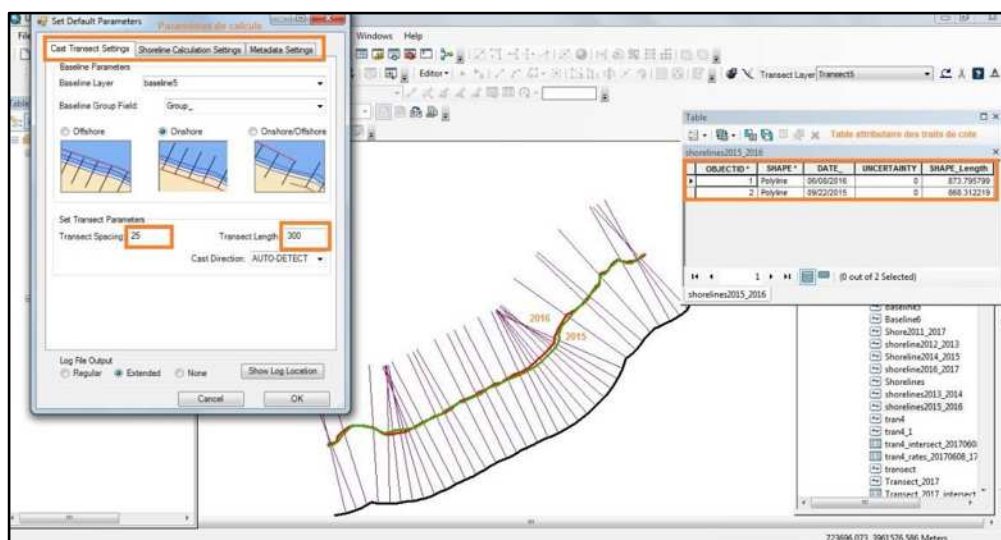


Figure V. 3: Introduction des paramètres d'entrées dans l'outil DSAS et remplissage de la table attributaire des traits de côte.

## V.4.2. Volet graphique et statistique :

Les transects générés servent à mesurer les écarts entre les traits de côte en calculant les taux moyens de déplacement le long de chaque transect, à l'aide des indicateurs NSM et EPR. Les résultats statistiques traités permettent d'estimer le recul ou avancée du trait de côte. Notons que pour que le calcul d'indicateurs s'effectue, on doit avoir notre fuseau horaire programmé à celui des états unis d'Amérique et une version de Framework à jour.

- Définition de la couche de transect opérationnelle, et le lancement du calcul d'indices sous DSAS (voir Figure V.4).

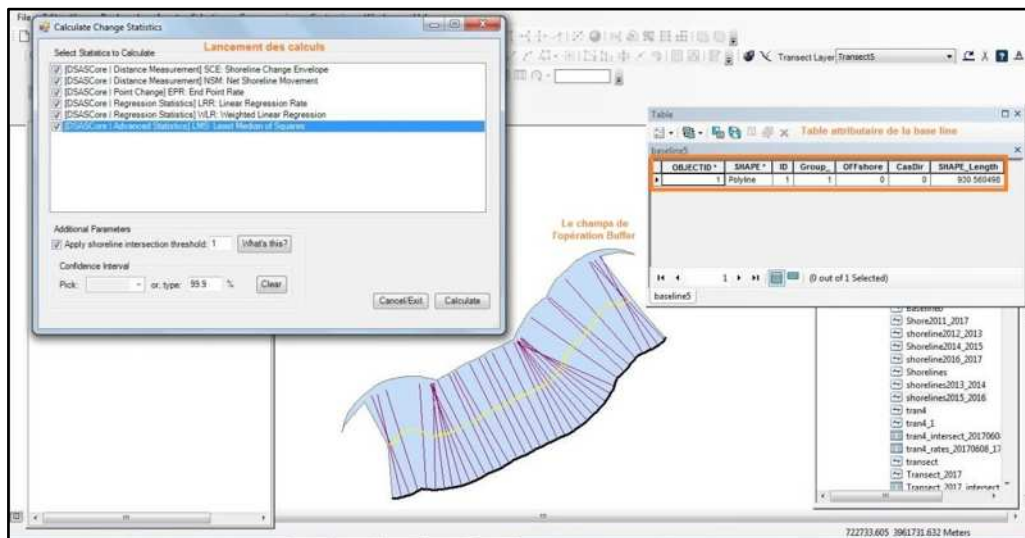


Figure V. 4: Lancement des calculs statistiques.

- Les tableaux résultants des calculs (voir en Annexe III), contiennent les taux d'érosion et d'accrétion ainsi de la distance entre les tracés consécutifs du rivage, qui seront utilisés pour le développement des cartes.
- Superposition de chaque point de calcul à son profil spatialement correspondant.
- Pour quantifier les pertes et les gains en sédiment le long des littoraux étudiés, les déplacements du trait de côté sont exprimés en termes de surfaces par la digitalisation des surfaces d'évolution d'érosion et d'accrétion entre les tracés de deux années consécutives.

## V.5. RESULTAT DE LA MANIPULATION :

### V.5.1 Variation de la ligne de cote :

- Période 2011-2012 :

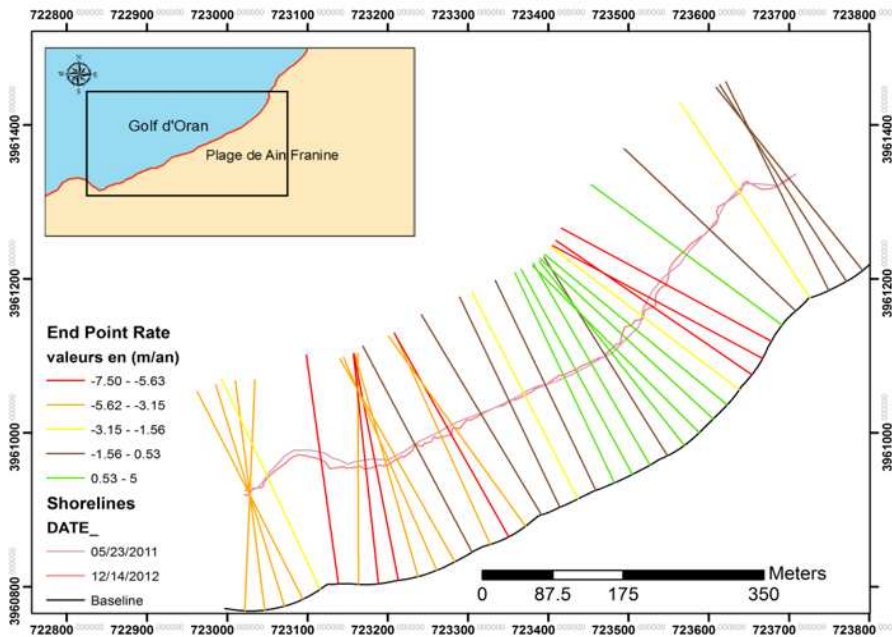


Figure V. 5: Carte d'évolution du trait de côte entre 2011-2012.

Dans la représentation (figure V.5) le déplacement moyen du trait de côte montre une tendance érosive. Le recul le plus prononcé se situe au bord des deux falaises qui délimitent la plage, avec un taux atteignant -7,50 m/an. Cependant la partie centrale de la plage connaît une fluctuation entre accrétion et érosion. L'accumulation observée au centre-Est atteint des taux de 5 m/an en raison des apports sédimentaires émanant des ruissellements du haut de la falaise, et qui se déversent sur la partie centrale Est (photo du ruissellement en Annexe III).

• Période 2012-2013 :

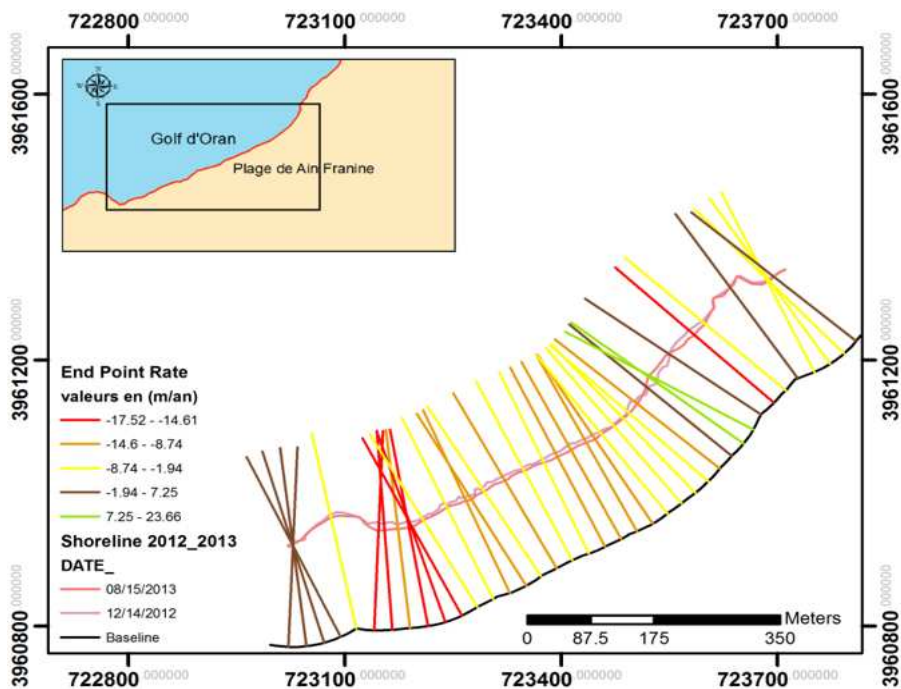
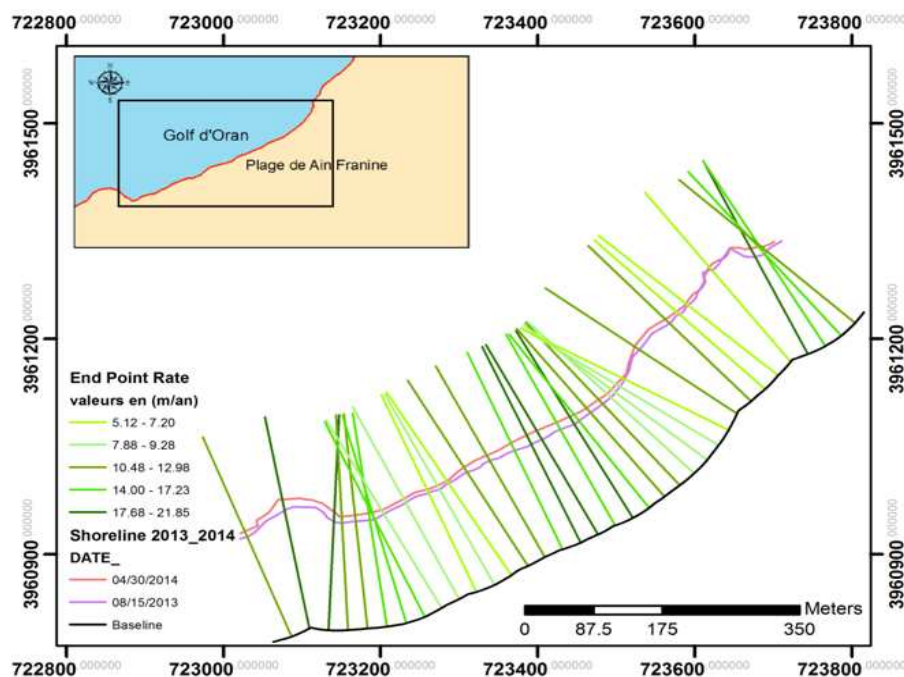


Figure V. 6 : Carte d'évolution du trait de côte entre 2012-2013.

On observe durant 2012-2013 une nette érosion du site d'étude, engendrant un recul visible du trait de côte variant de -8,74 m/an à -17,52 m/an. Cette évolution est plutôt uniforme tout au long de notre côte, à l'exception des quatre premiers transects à l'Ouest qui démontrent un engraissement, engendrant une évolution de +7,25 m/an, et des transects 30 et 31 qui ont enregistré un engraissement très significatif à l'Est. On peut supposer que le recul a pu être causé par une période de tempête sachant que les images satellitaires à partir desquelles nous avons digitalisé nos traits de côte ont été prises en saison hivernale, durant laquelle la nappe de retrait est assez importante.

- **Période 2013-2014 :**



**Figure V. 7 :** Carte d'évolution du trait de côte entre 2013-2014.

La période 2013-2014 fait apparaître une tendance à l'accrétion successive et continue sur l'ensemble des 37 transects, avec une moyenne de + 12,38 m/an. L'avancée maximale du trait de côte est de +21,85 m/an au niveau du transect 2 et de 20 m/an pour le transect 17. Pour la quasi-majorité des autres transects, elle varie de 4 m/an jusqu'à 14 m/an. Cet engraissement peut avoir comme origine un climat de houle favorable à la dynamique de régénération de la plage, minimisant les effets des courants de retour et d'arrachement.

- Période 2014-2015 :

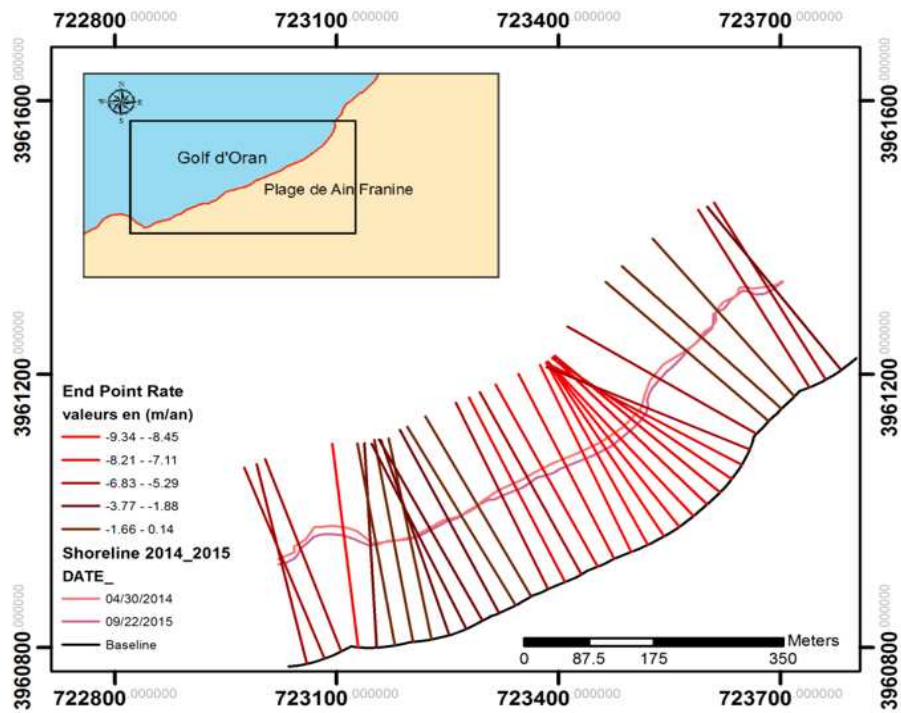


Figure V. 8 : Carte d'évolution du trait de côte entre 2014-2015.

La période 2014-2015 est marquée par un recul de la ligne de rivage tout le long de la plage, variant de -1 m/an jusqu'à -9 m/an. Les transects en globalité ont connu une pénurie de sable qui a conduit à un taux de recul atteignant une valeur de -9.34 m/an au niveau des transects 3 et 22. Aucune avancée du trait de côte n'a été enregistrée, ce rythme annuel juste après une période d'engraissement, nous laisse supposer que la dynamique sédimentaire d'Ain Franine est instable, phénomène qui peut être expliqué en se référant aux enregistrements de houle durant ces deux années ou alors aux activités d'extraction/rechargement qui se sont déroulées pendant cette période. Le piétinement et la grande fréquentation touristique ne sont pas à exclure surtout durant la période estivale.

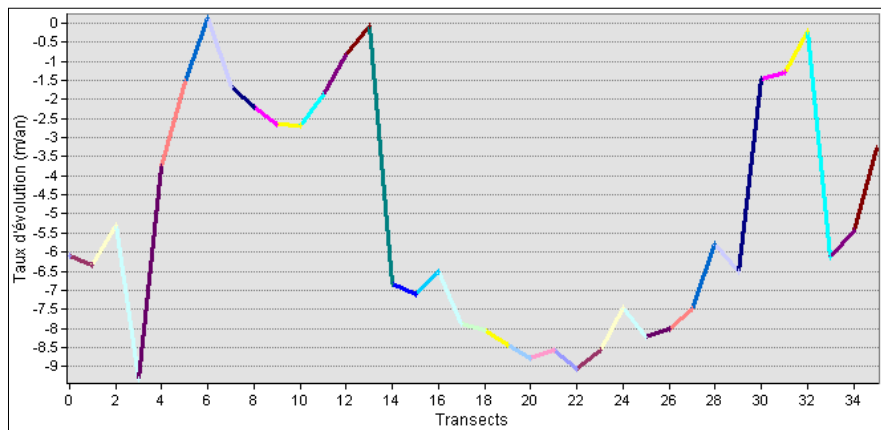


Figure V. 9 : Graphe de l'évolution du trait de côte 2014-2015.

- Période 2015-2016 :

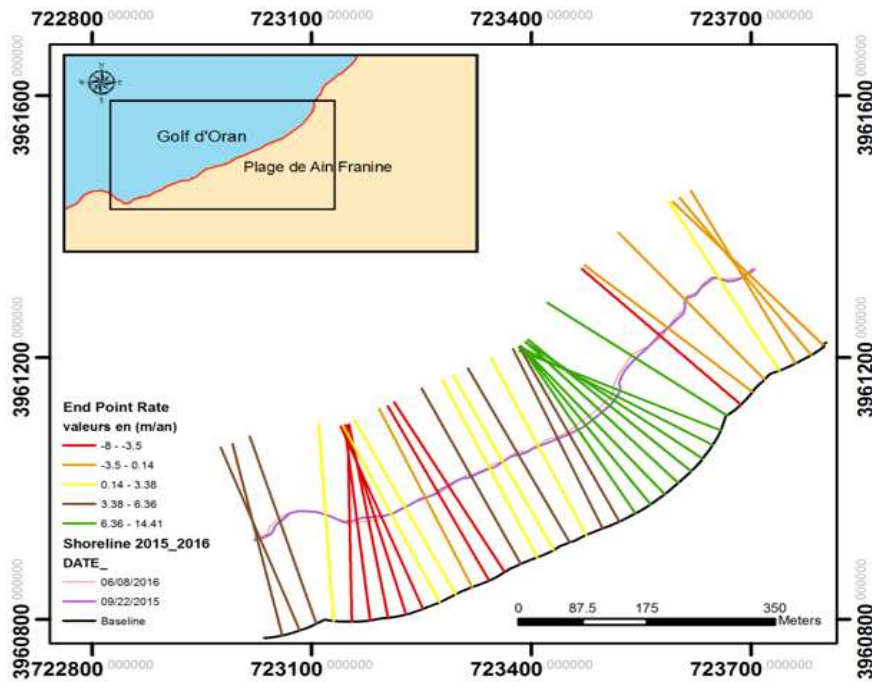


Figure V. 10 : Carte d'évolution du trait de côte entre 2015-2016.

Les évolutions de 2015 à 2016 sont disparates, et la tendance évolutive du rivage est caractérisée par un engraissement généralisé de l'ordre de 6 m/an. L'avancée maximale de 10 m/an à 14,41 m/an a été enregistrée du transect 22 jusqu'au 29. Cependant, les transects 6 et 7 à l'Ouest et le transect 30 à l'Est ont connu une pénurie de sable estimée à presque -7 m/an, capable de conduire à un recul du trait de côte spatialement réduit. L'engraissement est par conséquent le plus représentatif durant cette période, et surtout au coté Est de la plage.

- Période 2016-2017 :

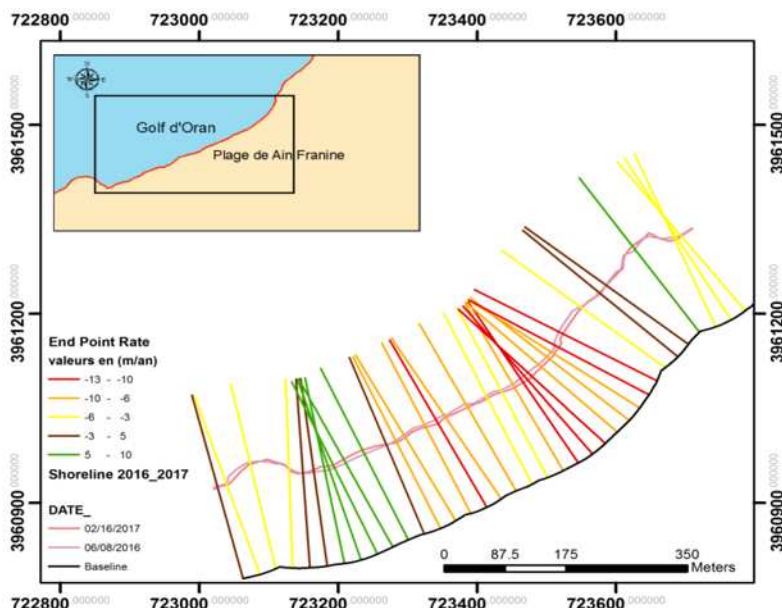
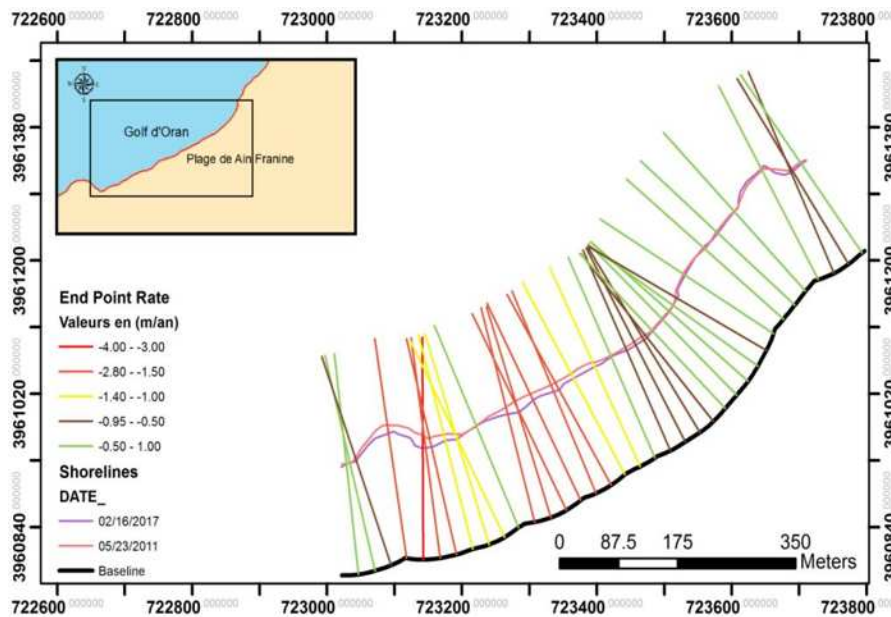


Figure V. 11 : Carte d'évolution du trait de côte entre 2016-2017.

Pour cette période, le rythme de l'évolution est différent de celui de l'année précédente. On remarque que la partie Est est la plus touchée par un recul du trait de côte graduel, avec un taux variant de -6 m/an à -13 m/an. Ainsi, nous relevons un engraissement au niveau des transects 4 à 11 à l'Ouest, 31 et 32 à l'Est pour un taux de 10m/an. Le taux d'accumulation globale sur la plage en cette période est de l'ordre de 1,79 m/an. Quant au recul, il est plus important, estimé à -4,96 m/an.

- **Période de 2011-2017 :**



**Figure V. 12 :** Carte d'évolution du trait de côte entre 2011-2017.

L'évolution observée le long des six années est récapitulée dans la Figure V.12. Nous remarquons un recul significatif dans la partie Ouest et la partie centrale (profils du rouge au jaune) avec un taux de l'ordre de -1,40 m/an jusqu'à -4m/an, alors que l'avancée de la ligne de rivage est faible avec un taux de 0,50 m/an. L'évolution du trait de côte de la plage d'Ain Franine de 2001 à 2017 est marquée par une érosion très intense d'une vitesse de -0,93 m/an. L'origine de cette érosion pourrait être due aux facteurs anthropiques régissant la dynamique sédimentaire de la plage (la construction de barrage en haut de la falaise qui pourrait bloquer la charge sédimentaire transportée à la plage), ou naturels (effets des courants littoraux). Cependant, le faible engraissement de 0,02 m/an classe la plage en état de recul alarmant.

### V.5.2. L'évolution des surfaces des plages entre 2011 et 2017 :

Les mesures de distances linéaires ne traduisant qu'un mouvement unidimensionnel du rivage, elles ont été complétées par un bilan surfacique qui offre une vision de la cinématique littorale en deux dimensions. La cartographie de l'évolution surfacique de la plage d'Ain Franine pour une période de six ans a permis de calculer les surfaces d'érosion et d'accrétion représentés sur la Figure V.13. Ainsi, l'analyse de l'historique montre d'une façon synthétique que dans notre zone d'étude, l'érosion  $-4208 \text{ m}^2$  a pris l'avantage sur l'engraissement de  $3942 \text{ m}^2$ . En termes de bilan, la zone présente un bilan négatif avec une valeur de  $266 \text{ m}^2$ .

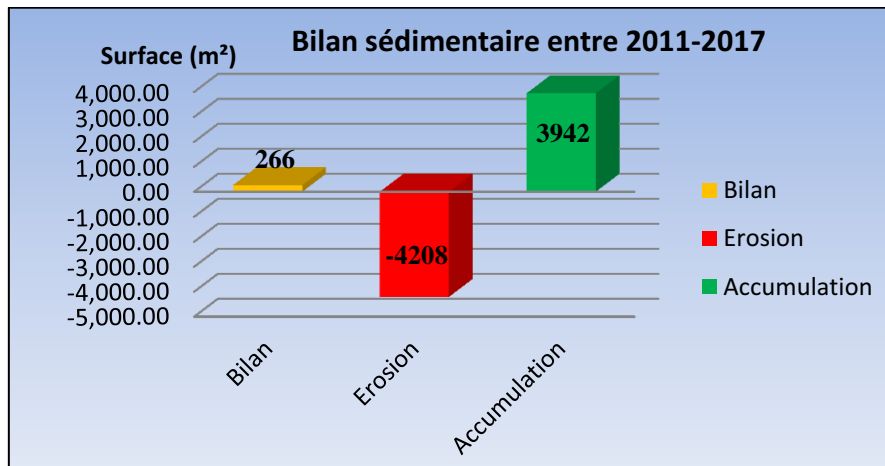


Figure V. 13 : Représentation graphique du bilan sédimentaire 2011-2017.

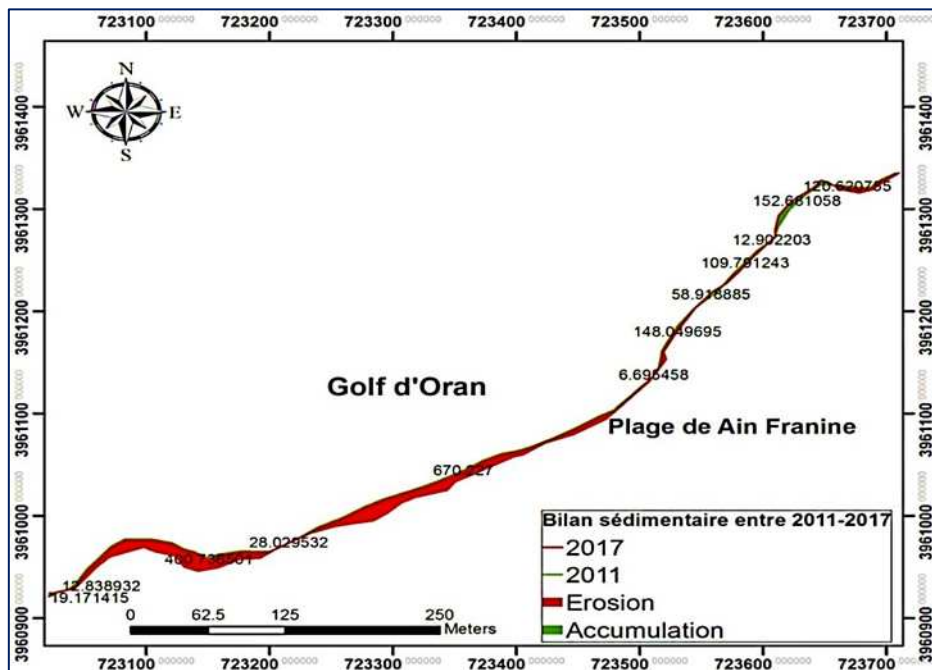


Figure V. 14 : Carte du bilan sédimentaire de la plage d'Ain Franine entre 2011 et 2017.

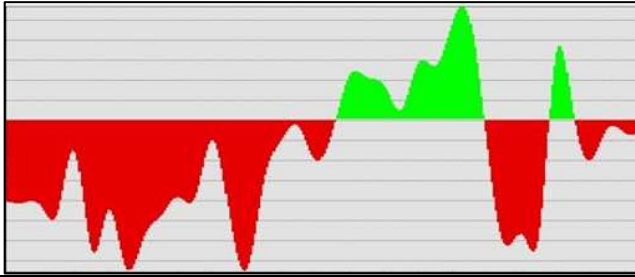
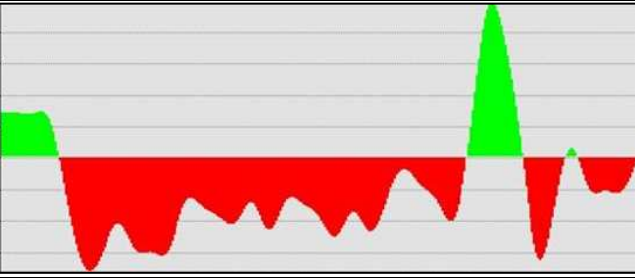
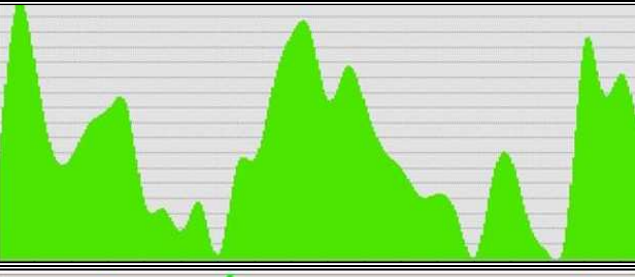
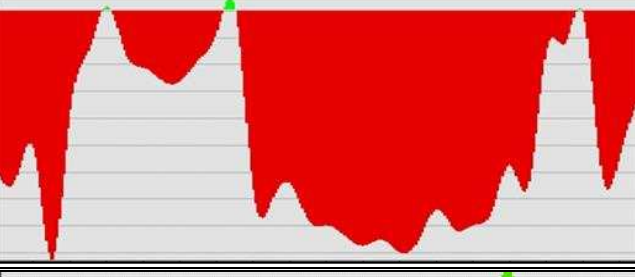
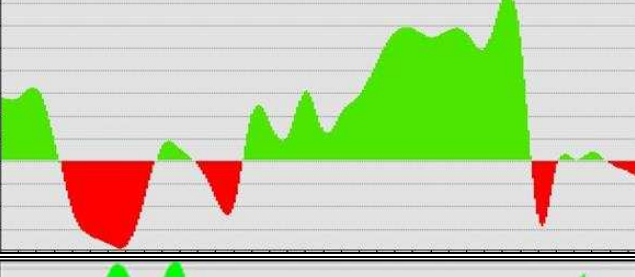
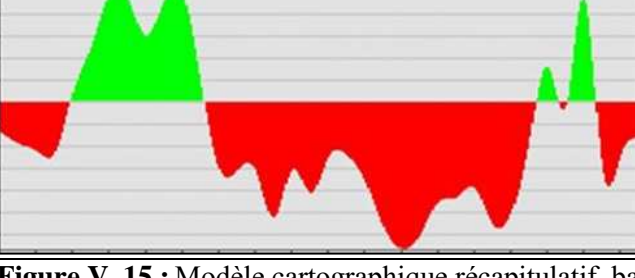
+657 m <sup>2</sup> /an -701,33 m <sup>2</sup> /an sur 37 transects +3942 m <sup>2</sup> - 4208 m <sup>2</sup>		TAUX	
		TOTAL	
	- 2,34 m/an +0,70 m/an	2011-2012	<b>Vitesse de l'évolution</b>
	-7,67 m/an +2,16 m/an	2012-2013	
	+12,38 m/an -0,00 m/an	2013-2014	
	- 5,15 m/an + 0,14 m/an	2014-2015	
	-1,24 m/an +4,22 m/an	2015-2016	
	-4,96 m/an +1,79 m/an	2016-2017	

Figure V. 15 : Modèle cartographique récapitulatif, basé sur le calcul de l'End Point Rate (EPR) de la plage d'Ain Franine entre 2011 et 2017.

**CHAPITRE VI**

**ETUDE DE VULNERABILITE CÔTIÈRE**

## INTRODUCTION :

Les changements climatiques auront des répercussions importantes au cours du prochain siècle. Parmi celles-ci figurent une augmentation du taux et de l'ampleur de l'érosion ainsi qu'une avancée de la mer sur les terres. L'identification des secteurs où les dégâts seraient considérables constitue un élément décisif pour anticiper la réaction du littoral aux modifications probables suite à un scénario sinistre.

### VI.1. LA VULNERABILITE COTIERE :

La vulnérabilité côtière est une approche prospective qui permet d'apprécier le degré auquel un système risque d'être affecté négativement par les effets néfastes de plusieurs facteurs conjugués, exerçant une pression directe ou indirecte, tel la variabilité climatique. Cette vulnérabilité dépend du caractère, de l'ampleur et du rythme des changements survenus, ainsi que de la sensibilité du territoire, et de sa capacité d'adaptation.

#### VI.1.1. Indice de vulnérabilité physique :

L'indice côtier de vulnérabilité physique (CVI) de (GORNITZ et al, 1994) nous donne la possibilité d'apprécier dans quelle mesure la zone côtière est susceptible de subir des perturbations d'ordre physique, selon l'évaluation du niveau de risque des variables qui le composent.

#### VI.1.2. Méthodologie suivie :

Afin de déterminer cette vulnérabilité sur chaque segment du rivage, nous avons opté pour la segmentation de notre site d'étude en 74 cellules, chacune d'un périmètre de 39.9 m. Ceci s'est fait sur le logiciel «MapInfo», après calage de notre image satellitaire, et création d'une grille cartographique, en précisant ses dimensions, sa taille, l'espacement et le type de lissage.

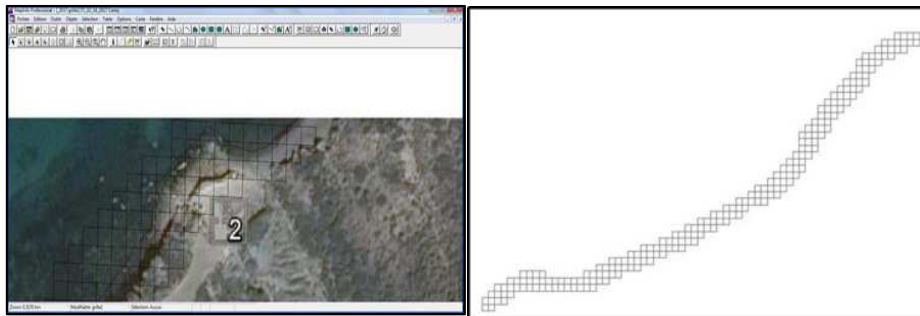


Figure VI. 1: Création d'une grille de cellules sur MapInfo Professional 8.0.

### VI.1.2.1. Choix des variables :

Le calcul de cet indice nécessite six variables relatives aux risques, qui seront employées pour formuler ce dernier, à savoir :

- La géomorphologie,
- la pente côtière,
- le taux de recul du trait de côte,
- la vitesse de l'élévation relative du niveau de la mer,
- les amplitudes moyennes de la marée,
- les amplitudes moyennes de la houle.

Chacune de ces variables est dotée d'une valeur relative de risque basée sur l'importance potentielle de sa contribution aux changements physiques sur la côte.

### VI.1.2.2. Affectation des scores :

Après avoir déterminé les variables, il est attribué à chacune une valeur relative de risque classée selon une échelle linéaire de 1 à 5, suivant un ordre de vulnérabilité croissante. Selon cette échelle les segments du littoral avec des valeurs d'indice élevées auront des reliefs bas, un substrat facilement érodable, un recul du trait de côte important, et seront exposés à des énergies élevées de vagues, donc plus fragiles.

Variables	Classe de l'indice côtier de vulnérabilité (CVI)				
	Très bas 1	Bas 2	Modéré 3	Elevé 4	Très élevé 5
<b>Géomorphologie.</b>	Falaise et Côte rocheuse	Falaise moyenne et baie	Falaise basse, dépôt glaciaire, plaine alluviale	Plage à galets, estuaire, lagune	Flèche, plage sableuse, marais, dépôt vaseux, delta, récifs à coraux et mangroves.
<b>Pente côtière (%)</b>	>12	12 - 9	9 - 6	6 - 3	<3
<b>Remontée relative du niveau de la mer (mm/an).</b>	<1,8	1,8 – 2,5	2,5 – 3,0	3,0 – 3,4	>3,4
<b>Recul/Avancée du trait de côte (m/an).</b>	> (+2,0)	(+1,0)-(+2,0)	(-1,0) – (+1,0)	(-2,0) – (-1,0)	< (-2,0)
<b>Amplitude moyenne de la marée.</b>	>6,0	4,0 – 6,0	2,0 – 4,0	1,0 – 2,0	<1,0
<b>Hs (m)</b>	<0,55	0,55 – 0,8	0,85 – 1,05	1,05 – 1,25	>1,25

**Tableau VI : 1:** Les six variables physiques utilisées pour la détermination de l'index côtier de vulnérabilité (THIELER et HAMMAR-KLOSE, 2001 in NIAZI, 2007).

Une fois que chaque section du littoral est assignée d'une valeur de risque basée sur chaque variable spécifique de données, l'indice côtier de vulnérabilité est calculé d'après la formule de (GORNITZ et al, 1994) :

$$CVI = \frac{\sqrt{a \times b \times c \times d \times e \times f}}{6} \dots\dots(VI.1)$$

où *a* représente la géomorphologie, *b* la pente côtière, *c* le taux relatif d'élévation de niveau de la mer, *d* le taux de recul du trait de côte, *e* la gamme moyenne de marée et *f* l'amplitude moyenne de la houle.

Ainsi quatre classes de risque sont déterminées :

- Indice bas: faible risque ;  $CVI < 10$ .
- Indice modéré: risque modéré ;  $10 < CVI < 20$ .
- Indice élevé: risque élevé ;  $20 < CVI < 30$ .
- Indice très élevé: risque très élevé ;  $CVI > 30$ .

- **VI.1.2.2.1. La géomorphologie :**

Les formes géomorphologiques de l'Ouest du site d'étude apparaissant sur la figure VI.2 montrent ; un segment de plage sableuse qui s'étend jusqu'à une falaise à galets amassés à son extrémité, classant ainsi le secteur comme à risque élevé car cette dernière est vive et en perpétuel reprofilage dû à son remarquable pendage.

La plage sableuse Est de la figure VI.3 est dépourvue de dune sableuse, ce qui laisse supposer que sa formation est peut être due à l'érosion de la falaise vu les multiples dépôts sédimentaires et le produit d'érosion que l'on observe sur ce segment. De surplus, on remarque la présence d'un ruissellement dont l'origine provient des sources naturelles en haut de la falaise (voir en Annexe III).

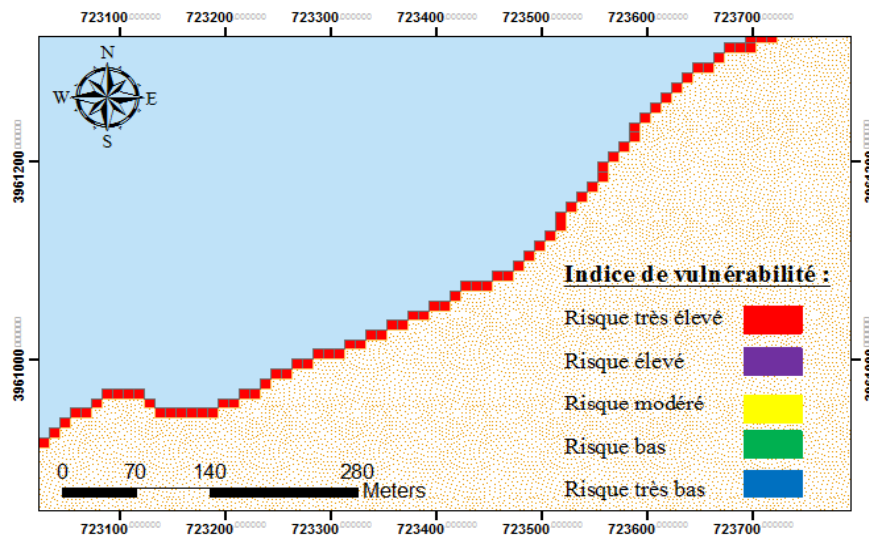
La cartographie du degré de risque de notre site d'étude par rapport à la variable morphologie est représentée sur la Figure VI.4.



**Figure VI. 2 :** Photographie de la partie Ouest de la plage d'Ain Franine.



**Figure VI. 3:** Photos représentantes de la partie Est de la plage d'Ain Franine.



**Figure VI. 4:** Carte représentant les facteurs de risque relatifs à la géomorphologie.

Les résultats obtenus, nous permettent de classer le site d'étude dans la catégorie plage avec un score de 5 selon la classification du Tableau VI.1. La carte ci-dessus représente le degré de risque très élevé de la plage en vue de la fragilité extrême de ces espaces. Les facteurs d'érosion côtière, en réponse à une remontée du niveau marin dans les années à venir pourrait

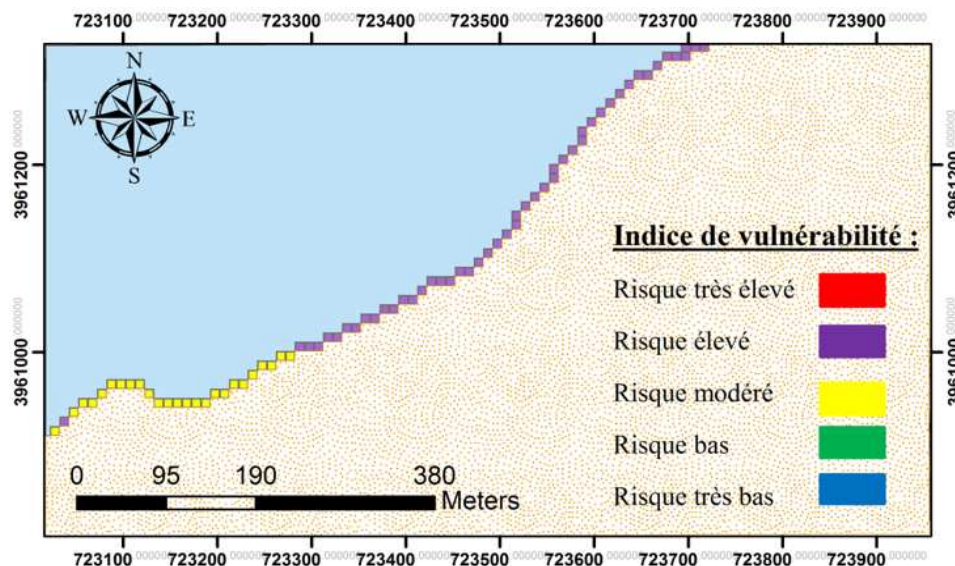
modifier la géomorphologie littorale en exposant les accumulations sableuses de la plage d'Ain Franine à un recul, voir une disparition à long terme.

- **VI.1.2.2.2. La pente :**

Elle permet une évaluation non seulement du risque relatif à la rapidité potentielle du recul du trait de côte mais également du risque d'inondation, car les régions côtières à faible pente devraient régresser plus rapidement que les zones à déclivité plus raide (PILKEY et DAVIS, 1987 in NIAZI, 2007). Afin d'obtenir la pente de notre zone d'étude, nous avons téléchargé un modèle numérique de terrain sur le site de l'organisme USGS, de la région d'Oran sous format DEM. Le fichier est traité sur le logiciel «Global Mapper» afin d'extraire la pente de chaque segment de la côte considérée en utilisant l'outil de dessin de profils au niveau de chaque cellule (voir en Annexe IV). L'élévation correspondante à une distance donnée par rapport au rivage est alors obtenue. La pente en pourcentage pour chaque cellule est obtenue grâce à l'équation suivante :

$$\text{Pente}(\%) = \left( \frac{\text{Elévation}}{\text{Distance}} \right) \times 100 \dots\dots(\text{VI.2})$$

La cartographie du degré de risque de notre site d'étude par rapport à la variable pente côtière est représentée sur la Figure VI.5.



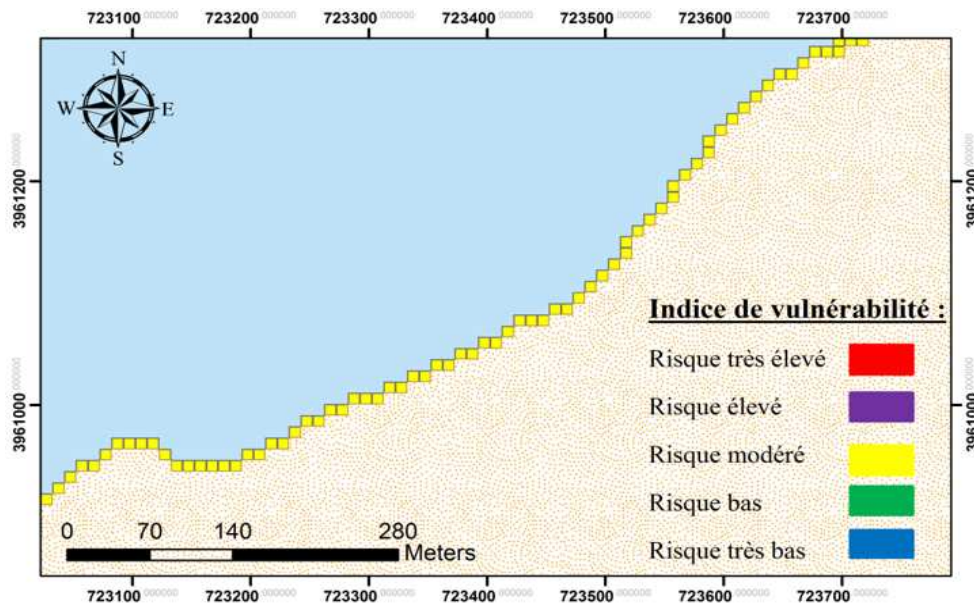
**Figure VI. 5:** Distribution des facteurs de risque relatifs à la pente côtière.

On a une fluctuation de risque pour la variable pente. À l'Ouest, le risque est modéré en raison de pente côtière abrupte variant de 17% à 28 %, ce qui nous laisse supposer une faible rapidité de régression de ce segment côtier. À l'Est et au centre de la plage, le risque est élevé

à cause de la faible pente côtière variant de 3 % à 9 %, pouvant induire une régression rapide de cette bande côtière, ce qui pourrait expliquer l'érosion au pied du talus à l'Est de la plage.

- **VI.1.2.2.3. Le taux de recul du trait de côte :**

Pour cette variable, nous avons utilisé les résultats obtenus de l'étude d'évolution du trait de côte effectuée dans le chapitre précédent. Les résultats montrent un taux d'érosion/accrétion de  $-0,93/+0,02$ , ce dernier est compris entre  $(-1,00$  et  $+1,00)$ . D'après la classification de l'index côtier (voir le Tableau VI.1) ; notre zone d'étude est classée comme zone à risque modéré avec un score quantifié par la valeur de 3. La cartographie du degré de risque de notre site d'étude par rapport à la variable de recul du trait de côte est représentée sur la Figure VI.6 :



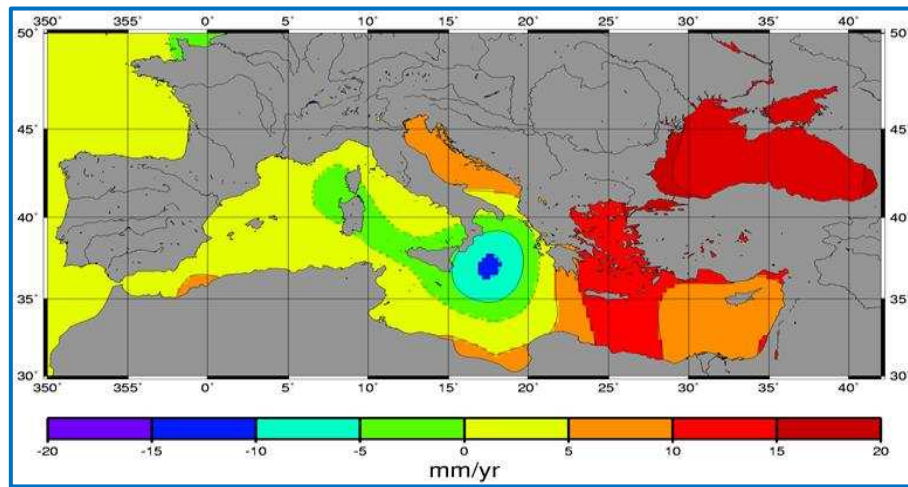
**Figure VI. 6:** Distribution des facteurs de risque relatifs au recul du trait de côte.

Les facteurs de risque relatifs aux retraits notés, restent modérés, en raison de la faible différence entre le bilan sédimentaire d'accrétion et d'érosion, estimée à  $266 \text{ m}^2$  (voir la Figure V.13). Ce qui peut supposer une stabilité modérée de la zone en termes d'apports et de pertes, malgré l'érosion quasi généralisée le long de cette zone côtière. Aussi, le degré modéré de risque pourrait avoir une variation spatiale en raison d'importants taux de recul à l'Ouest et de faibles taux d'accrétion à l'Est (voir Figure V.12).

- **VI.1.2.2.4. La vitesse de l'élévation relative du niveau de la mer :**

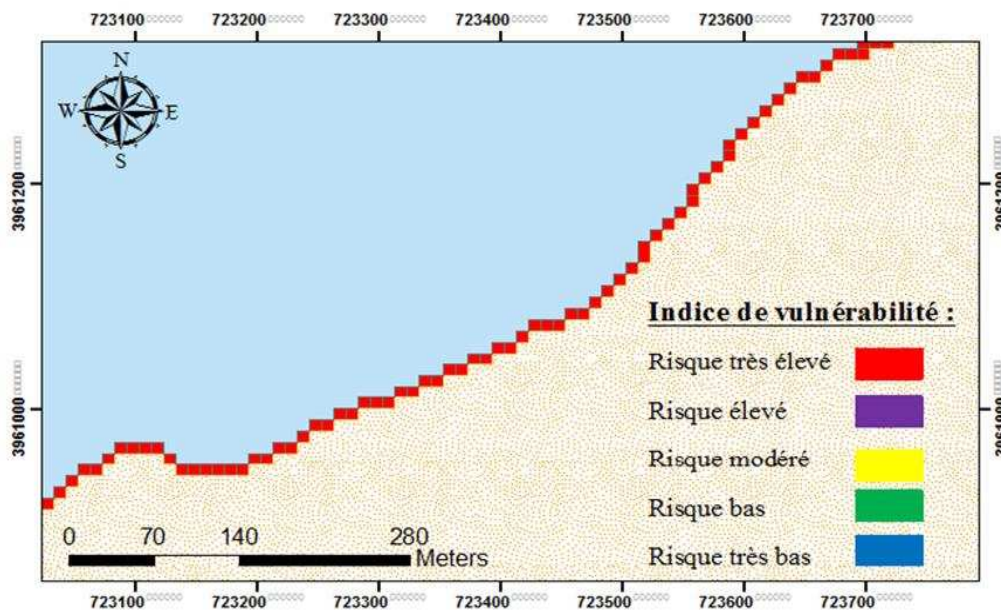
Le processus de l'élévation du niveau de la mer provoque une augmentation des vagues qui vont avoir tendance à déferler plus près de la ligne de rivage, libérant leurs énergies plus haut

sur l'estran et modifiant le profil des plages. Pour apprécier la variable relative à l'élévation du niveau de la mer, les estimations de l'altimétrie satellitaire, obtenues lors la mission TOPEX and JASON 1 de la NASA-CNES sont utilisées :



**Figure VI. 7:** Estimation de la remontée du niveau de la mer de la mission Topex-Jason1 de 1993-2006. (www.legos.obs-mip.fr, 2008).

La cartographie du degré de risque de notre site d'étude par rapport à la variable d'élévation du niveau de la mer est représentée sur la Figure VI.8 :



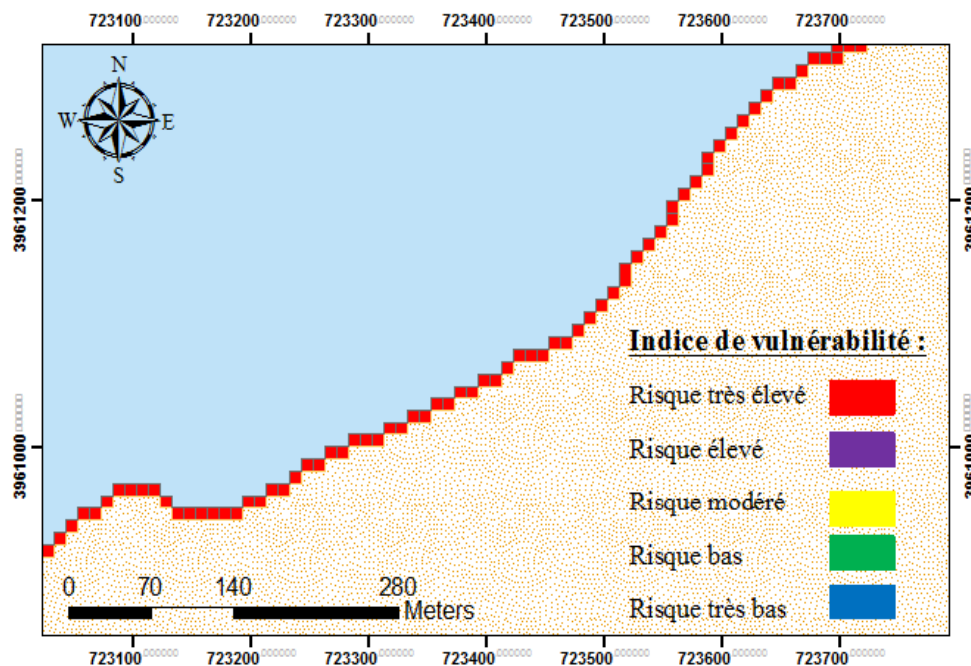
**Figure VI. 8:** Distribution des facteurs de risque relatifs à l'élévation de la mer.

La zone côtière de la région d'Oran, démontre un taux d'élévation du niveau de la mer de 5 mm/an. Le facteur de risque relatif à cette élévation eustatique est donc très élevé, pouvant conduire à un démaigrissement de la plage d'Ain Franine à cause du freinage de la perte

d'énergie des vagues au large, qui peut produire un déferlement violent sur le rivage et donc un arrachage et départ des sédiments vers le large.

- **VI.1.2.2.5. Les amplitudes moyennes de la marée :**

La marée au niveau de la côte ouest d'Algérie est faible, de l'ordre de 35 cm à 40 cm, avec des périodes de 12 à 24 h. elle est donc de type microtidale, ce qui rend ce littoral à risque très élevé selon la classification du Tableau VI.1. La cartographie du degré de risque de notre site d'étude par rapport à la variable de l'amplitude de la marée est représentée sur la Figure VI.9 :



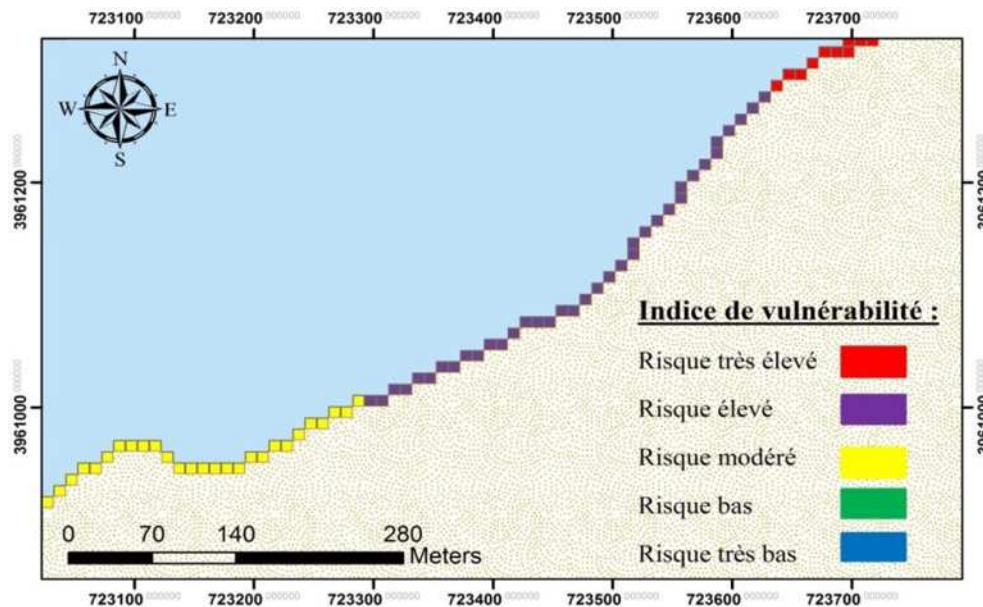
**Figure VI. 9:** Distribution des facteurs de risque relatifs à l'amplitude de la marée.

Le risque que représente la marée au niveau de la plage d'Ain Franine a un score de 5. Ce risque est très élevé en supposant que cette oscillation racle le rivage à chaque période de marnage, phénomène non maîtrisable, mais heureusement temporaires.

- **VI.1.2.2.6. Les amplitudes moyennes de la houle :**

Les caractéristiques de la houle représentent un paramètre essentiel pour la détermination de la vulnérabilité de la côte par l'action de l'énergie hydrodynamique et son mode de déploiement. Afin de cerner cette variable, on a utilisé le résultat de la modélisation de la réfraction sur modèle MIKE21-SW (voir Figure IV.9 ) pour une houle de direction : 360°, une période : 8 s et une hauteur significative de 2,68 m. La cartographie du degré de risque de

notre site d'étude par rapport à la variable amplitude moyenne de la houle est représentée dans la Figure VI.10 :



**Figure VI. 10:** Distribution des facteurs de risque relatifs à l'amplitude de la houle.

Le résultat de la réfraction dans notre site d'étude représente un risque élevé au niveau du segment Est de la plage, et modéré au segment Ouest pour des score de 4 et 3 respectivement. L'hydrodynamisme dans le secteur Est très important car la réfraction est très faible en raison de la faible dissipation des vagues, qui est dû à la nature du fond accidenté des zones à falaises. Par contre, le risque est modéré près de la falaise Ouest car les isobathes -4 m et -8 sont plus espacées que ceux de la partie Est qui sont serrées étroitement donnant lieu à une concentration d'énergie plus importante. Ce risque peut être atténué grâce à une défense lourde ; construction d'un brise lame qui va limiter l'impact des attaques frontales, et diminuer le risque.

## VI.2. CALCUL DE L'INDICE DE VULNERABILITE:

- Le résultat du calcul du CVI représente des valeurs de CVI qui varient de 23,71 à 35,35 avec une valeur moyenne de 27,38 (voir en Annexe IV).
- On détermine les classes de CVI et leurs centres de classes, puis les fréquences cumulées en pourcentage (Tableau VI.2), afin de définir les classes de risque de CVI (voir Tableau VI.3).

Classe	Centre de classe	CVI		
		Effectives	Fréquences (%)	Fréquences cumulées (%)
[0-2]	1	0	0	0
[2-4]	3	0	0	0
[4-6]	5	0	0	0
[6-8]	7	0	0	0
[8-10]	9	0	0	0
[10-12]	11	0	0	0
[12-14]	13	0	0	0
[14-16]	15	0	0	0
[16-18]	17	0	0	0
[18-20]	19	0	0	0
[20-22]	21	0	0	0
[22-24]	23	25	33,78	33,78
[24-26]	25	0	0	33,78
[26-28]	27	1	1,35	35,13
[28-30]	29	0	0	35,13
[30-32]	31	38	51,35	86,48
[32-34]	33	0	0	86,48
[34-36]	35	10	13,51	100

Tableau VI : 2 : Détermination des classes de CVI et calcul des fréquences cumulées.

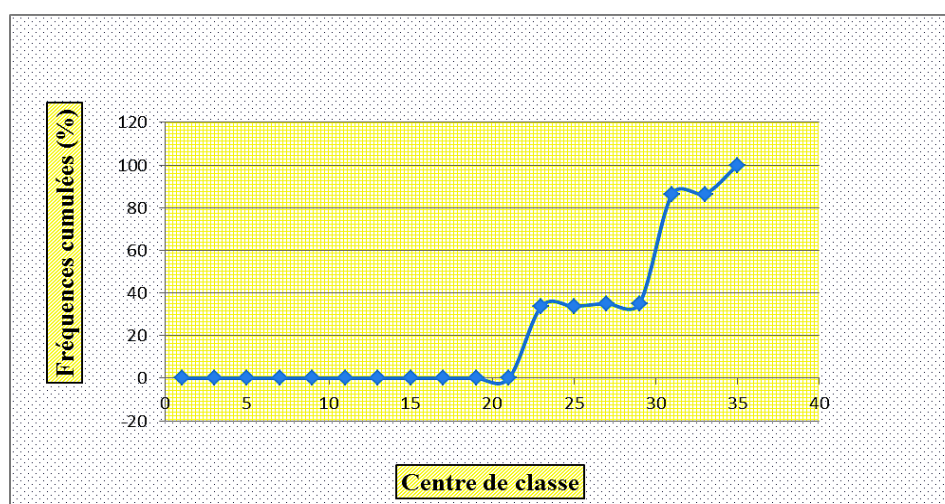
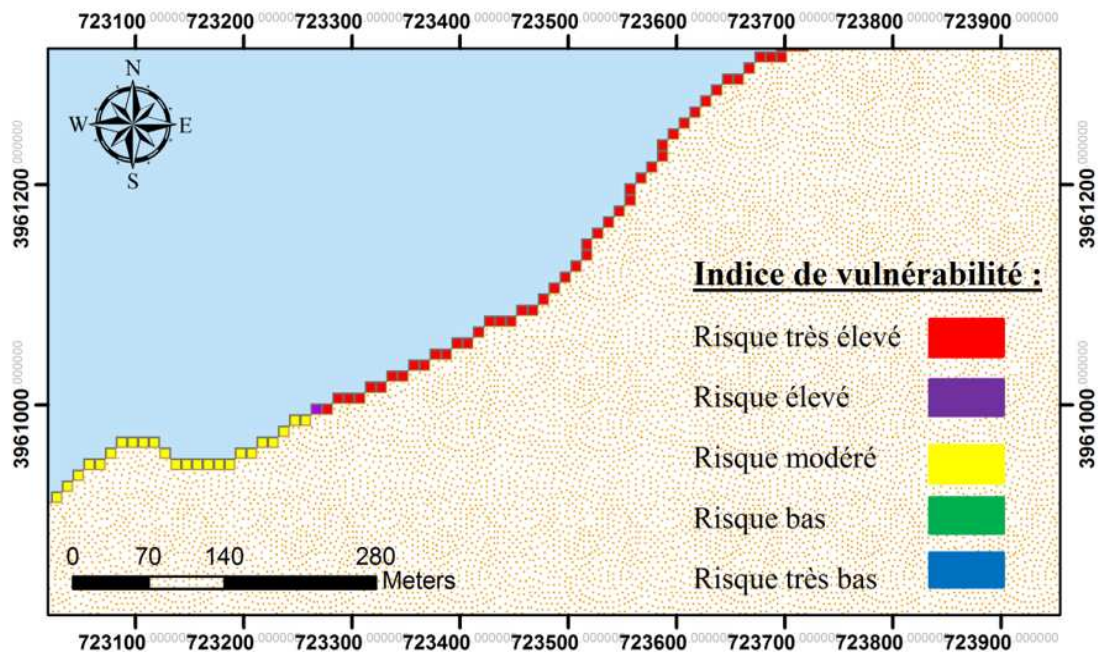


Figure VI. 11: Courbe des fréquences cumulées en fonction des centres de classe.

Classes de risque	Type de risque	Type de couleur relative au risque
[0-15]	Risque très faible	verte
[15-20]	Risque faible	Bleu
[20-25]	Risque modéré	Jaune
[25-30]	Risque élevé	Violet
[30-35]	Risque très élevé	Rouge

Tableau VI : 3: Représentation des classes de risque.

La cartographie de l'indice de vulnérabilité (CVI) est représentée sur la Figure VI.12 :



**Figure VI. 12:** Carte représentant l'indice de vulnérabilité (C.V.I).

La carte de vulnérabilité côtière du rivage d'Ain Franine, révèle une vue d'ensemble sur les secteurs où le risque de changement physique est le plus important surtout vis-à-vis du recul du trait de côte et aux facteurs naturels ; morphologique, de marée et remontée du niveau de la mer. Le risque le plus élevé varie de 31% à 35% pour le centre et le segment Est de la plage, alors qu'au niveau du segment Ouest ; le risque est modéré de 23 %.

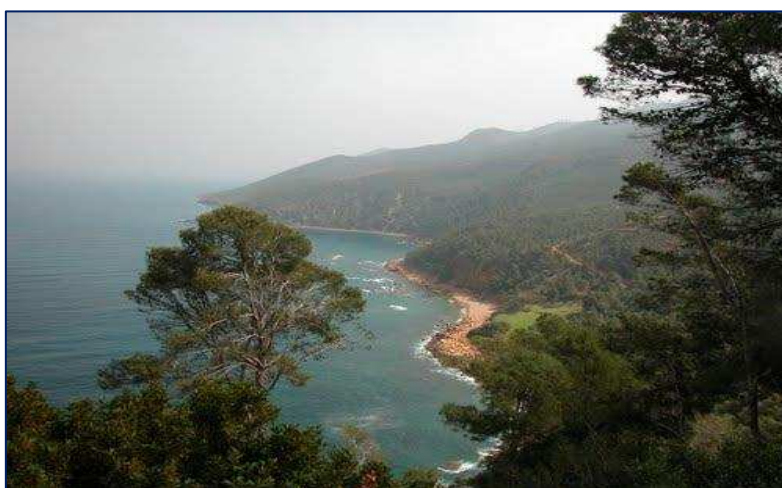
### CONCLUSION :

Les tendances présentes sur le littoral d'Ain Franine se composent essentiellement de zones sableuses encadrées par des falaises. Le secteur Centre-Est est le plus vulnérable à l'élévation du niveau de la mer du fait de sa faible pente, des accumulations sableuses et du taux de recul élevé que représente ce segment. Toutefois, avec les projets de développement socio-économique (ZET d'Ain Franine) prévus sur cette côte visant à répondre à la demande des estivants -Oran est classée première au niveau national en nombre d'estivants- et à valoriser l'offre touristique national en matière d'infrastructures. Il reste, donc, difficile de prévoir avec assurance la vulnérabilité de ce littoral aux phénomènes paroxysmiques, ni le rythme des changements physiques qui affecteraient ce littoral.

**CHAPITRE VII**  
**MECANISMES DE PROTECTION**

## INTRODUCTION :

Le rythme de dégraissage sédimentaire que connaît la plage d'Ain Franine risque de causer sa dégradation. Cette hypothèse est énoncée même en absence de forts évènements de tempête ou de péripéties naturelles. De plus que les falaises qui entourent cette plage sont soumises à un remarquable glissement de terrain, qui est le produit du ravinement profond créé par le ruissellement érodant les formes, talus et bords. Dans ce chapitre, nous aborderons les différents mécanismes proposés pour le confortement du rivage d'Ain Franine.



**Figure VII. 1:** Photographie de la région d'Ain Franine.

## VII.1. SOLUTIONS DE PROTECTION DURES :

D'une part, l'importance et, d'une part, la fragilité du rivage d'Ain Franine a sollicité le LEM à mener des études sur ce site, dont l'objectif est de trouver des moyens de protection de la plage pour stopper la menace érosive. Les variantes proposées sont de nature rigide, en l'occurrence les brises lames et les géotubes. En effet, ces solutions pourraient favoriser l'engraissement de la plage, étant donné qu'elle rencontre une attaque frontale des houles.

### VII.1.1. Variante 01 : Brise-lame émergé :

Les brise-lames sont des ouvrages longitudinaux mis en place sur les petits fonds, donc en avant de la côte. Ils sont disposés parallèlement à son tracé. C'est une construction de type digue, établie devant un port, une zone aménagée, une plage ou un littoral vulnérable à l'érosion. Ces actions provoquant le développement d'une avancée à partir du rivage, si la longueur du brise-lame est suffisante par rapport à sa distance à la ligne de rivage, cette avancée peut rejoindre l'ouvrage pour former un Tombolo.

### VII.1.1.1. Les avantages :

- Diminuer l'énergie des houles atteignant la zone côtière en réfléchissant ou absorbant au moins partiellement l'énergie des houles.
- Limiter la dissipation transversale de sédiments lorsque des transports importants de sédiments s'effectuent dans le profil.
- Provoquer la diffraction des houles à ses extrémités.
- Permettre aux sédiments en transit de s'accumuler à leur abri.

### VII.1.1.2. Les inconvénients :

- Une réflexion peut être constatée sur la base extérieure de l'ouvrage, ce qui peut provoquer son affouillement, voire son écroulement.
- Accroissement sédimentaire dans la zone amont qu'il crée, avec une provocation de déficit en matériaux dans le secteur adjacent à l'aval dans le sens de la dérive littorale.
- Impact environnementaux qui consiste à une augmentation de la turbidité et la réduction de la moyenne de renouvellement des eaux.

### VII.1.1.3. Dimensionnement du brise-lame :



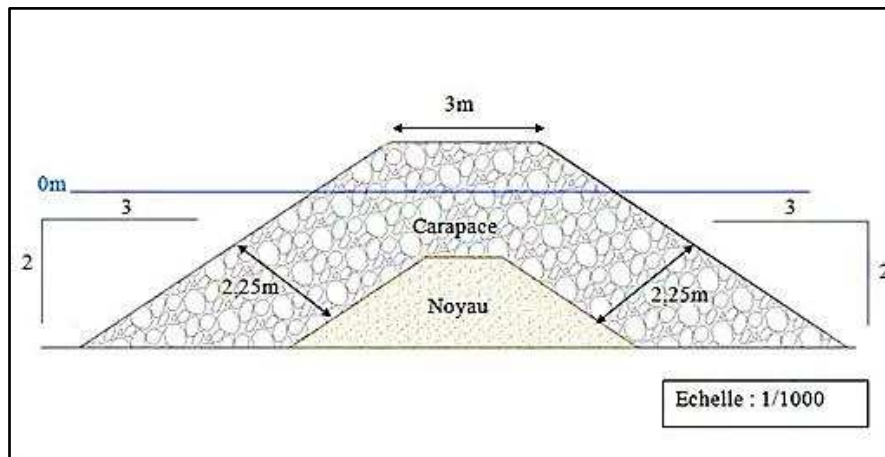
**Figure VII. 2:** Installation du brise-lame dans la plage d'Ain Franine.

La disposition du brise-lame représentée (Figure VII.2) a été déterminée après un calcul de dimensionnement de l'ouvrage (voir Tableau VII.1). Cependant, les règles qui fixent les caractéristiques optimales des brises lames dépendent de l'amplitude de la marée, de la houle, de la pente de l'ouvrage et de la pente des fonds. Il est à mentionner qu'au niveau des extrémités de l'ouvrage ; le musoir, il est préférable d'utiliser un tonnage entre 2 et 3 tonnes, car c'est la partie la plus exposée à l'énergie de la houle.



			Symbole	Résultat
Longueur de l'ouvrage			l	225 m
Longueur en tête de l'ouvrage			e	3m
Hauteur de la houle de dimensionnement			Ht	0.8m
Stabilité ouvrage	Carapace	Poids	W	2.33t
		Diamètre nominal	Dn50	0.98t
		Epaisseur	E	2.25m
	Noyau	Poids	Wnoyau	11.65kg

**Tableau VII. 2:** Résultats du dimensionnement du brise-lame.



**Figure VII. 3:** Profil du brise-lame pour la plage d'Ain Franine (LEM, 2015).

### VII.1.2. Variante 02 : les géo-tubes :

Le géo-tube est une structure flexible et continue très résistante aux forces de l'eau. Il possède une forme tubulaire formée d'une enveloppe géotextile tissée de haute résistance, remplie de matériaux par pompage hydraulique avec du sable. Il est utilisé à de faible profondeur et sur la côte. Il peut être disposé perpendiculairement ou parallèlement jouant le rôle d'épis ou de brise-lame. La solution par géotextile est préférable que celle qui propose des ouvrages en enrochement ou BCR comme les brises lames, en vue du faible coût de cette dernière et sa facilité d'exécution technique, tout en garantissant une meilleur intégration du procédé dans le paysage.

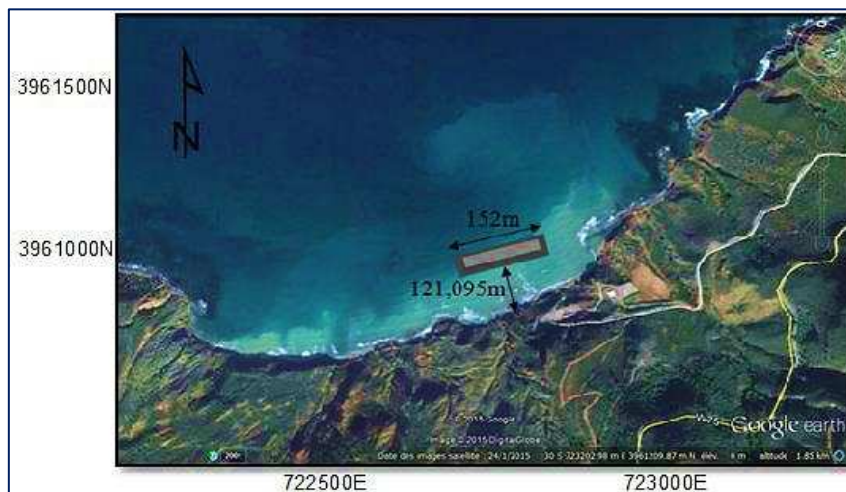
#### VII.1.2.1. Les avantages :

- Permettre le confort des transports sédimentaires.
- Provocation de diffraction des attaques frontales.
- Diminution de l'énergie en la réfléchissant ou en l'absorbant.
- Meilleur intégration environnementale.

### VII.1.2.2. Les inconvénients :

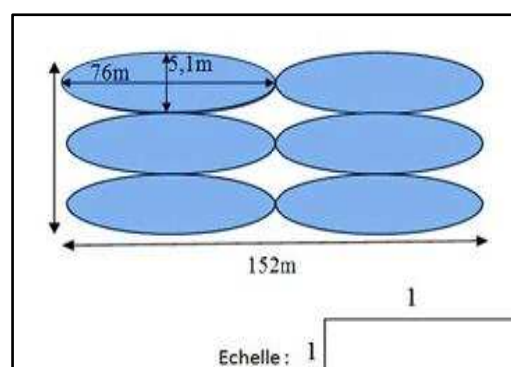
- En cas de présence d'affleurements rocheux sous l'eau, le placement des enrochements sur le géotextile occasionnera d'inévitables dommages à ce dernier, entraînant la perte des particules fines.
- Leur résistance aux actions brutales de la mer reste limitée et les conditions du vieillissement des matériaux géotextiles nécessitent un renouvellement périodique.

### VII.1.2.3. Dimensionnement du géo-tube:



**Figure VII. 4:** Installation du géo-tube dans la plage d'Ain Franine.

La disposition du géo-tube représentée sur la Figure VII.4 a été déterminée après un calcul de dimensionnement de l'ouvrage (voir Tableau VII.3). Le résultat de ce dernier montre une longueur du géo-tube de 152 m, étant inappropriée pour effectuer le remplissage du tube, nous pouvons choisir d'utiliser deux géo-tubes ayant chacun une longueur de 76m. Ainsi, pour pouvoir couvrir une largeur de la berme de 13,14m pour une largeur maximale du géo-tube de 5,1m, nous pouvons utiliser 6 géo-tube (voir Figure VII.5), ayant les caractéristiques suivantes : Longueur : 76m ; Hauteur : 2,4m ; Diamètre : 4



**Figure VII. 5:** Schéma représentatif des six géo-tubes (LEM, 2015).

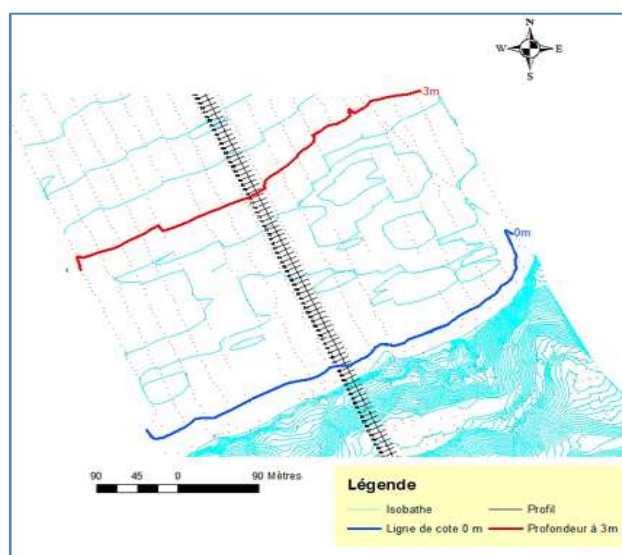
Composantes	Caractéristiques	Calcul
<b>Le diamètre (D), selon (ALBERT et al, 2009).</b>	Le tube est préfabriqué avec des diamètres variant entre 1,50 m à 5m.  Alors que pour la hauteur du géotube, on utilise l'abaque pour voir si cette hauteur du géo-tube H va freiner la houle incidente.	On a choisi un diamètre de 4m, pour des paramètres structuraux : La hauteur $H_i = 2,4\text{m}$ La largeur maximale $W = 5,1\text{m}$ . En projetant sur l'abaque le $H_i$ (à voir en Annexe V), on obtient : <b><math>H_t = 1,4\text{ m}</math></b> , donc le géo-tube assure ses fonctions en diminuant l'énergie.
<b>La distance par rapport à la côte (lc)</b>	<b><math>lc = L_0 / 2</math></b> Tel que : lc : La distance par rapport au rivage (m) $L_0$ : La longueur d'onde au large. <b><math>L_0 = 1,56.T^2</math> (m)</b>	$lc = 242,19/2$ <b><math>lc = 121,095\text{ m}</math></b> .
<b>La longueur du géotube (l)</b>	<b><math>l &gt; 1.2 (lc + 0.3L)</math></b>	$l > 151,434$ <b><math>l = 152\text{ m}</math></b>
<b>La largeur de la berme (B) par (BRIGANTI et al, 2004).</b>	On adopte la formule des ouvrages lisses à crête abaissée, dont le dimensionnement dépend de la transmission des vagues ;  <b><math>C_t = -0.4 * (RC / HS) + C_p(B/HS) \wedge -0,31 * (1 - \exp(-0,5 * \epsilon_p))</math></b> Ct : le coefficient de transmission. RC: côte d'arase. B : la largeur de la berme. Cp : le coefficient de perméabilité ; $C_p = 0,64$ . $\epsilon_p$ : le nombre d'Iribarren du déferlement. <b><math>\epsilon_p = \tan \alpha / \sqrt{S_0}</math></b> $\alpha$ : la pente du talus. S0: La cambrure. <b><math>S_0 = HS / L_0</math></b>	$\epsilon_p = 1,5 / (2,44/242)^{1/2}$ <b><math>\epsilon_p = 14,94</math></b> .  $0,49 = 0,4 * (0,5/2,44) + 0,64 * (B/2,44) - 0,31 * (1 - \exp(-0,5 * 14,94))$  <b><math>B = 13,14\text{m}</math></b>  $13,14 / 2,44 = 5,38 < 10$ Et donc cette formule est valable.
<b>Stabilité des géotubes, selon (PYLAZCZKY, 2000).</b>	<b><math>H_s / \Delta B &lt; 1</math></b> $\longrightarrow$ Ouvrage stable  Hs : Houle du dimensionnement (m). B : Largeur maximale du géo-tube (m). <b><math>\Delta = 1 - n \times (\rho_s - \rho_w / \rho_w)</math></b> Où n= porosité du sable (=0.15). $\rho_s$ = la masse volumique du matériau avec lequel on a rempli le géo-tube (t/m3). $\rho_w$ = la masse volumique de l'eau de mer. (t/m3).	<b><math>\Delta = 1,4025</math></b> . $2,44 / (1,4025 * 5,38)$ $0,34 < 1$ $\longrightarrow$ Géo-tube stable.

Tableau VII. 3: Résultats du dimensionnement du géotube.

	Symbole	Résultat
La profondeur d'implantation	d	3m
La distance par rapport à la côte	lc	121.095m
Longueur de l'ouvrage	l	76m
La largeur de la berme	B	13.14m
Le diamètre	D	4m
La hauteur	H	2.4m
Hauteur de la houle de dimensionnement	Ht	1.4m
La stabilité du géo-tube	$0.34 < 1$	Géotube stable.

**Tableau VII. 4:** Résultats de dimensionnement du géo-tube.

Le dimensionnement de ces ouvrages de protection dans la zone d'Ain Franine a abouti à une profondeur d'implantation optimum de -3 mètre de profondeur, cette implantation se fera au niveau de l'intersection du profil et de la ligne de -3 m comme il est illustré (Figure VII.6).



**Figure VII. 6:** Emplacement des variantes de protection à Ain Franine (LEM, 2015).

### VII.1.3. Comparaison entre les deux variantes :

La réalisation, le coût, l'esthétique, la durabilité et l'impact restent différents d'une variante à l'autre. Afin de pouvoir comparer entre les deux, des notations A, B et C sont attribuées respectivement au critère favorable, peu favorable et défavorable.

Critères	Variante 01	Variante 02
	Brise lame émergé	Géotube
Réalisation (délai, difficulté)	B	A
Coût de réalisation	C	A
Esthétique	B	A
Durabilité	A	B
Impact	B	B
Total	A+3B+C	3A+2B

**Tableau VII. 5:** Comparaison entre les deux variantes proposées.

Le brise-lame montre une durée de vie plus longue qu'un géo-tube grâce à la dureté supérieure de ses composantes. Cependant, sur le plan esthétique, le brise-lame est plus agressif que le géo-tube qui assure l'harmonie du paysage, car il garde l'aspect naturel de l'environnement, pour cela il se voit accorder un A. Concernant l'impact sur l'environnement, les deux variantes sont similaires et reçoivent le même attribut B.

Variantes			Coût (Da)	
Brise lame	Carapace	Crête	<b>4 008 400,00</b>	<b>41.884.200</b>
		Musoir	<b>33 020 700,00</b>	
	Noyau	<b>4 855 100,00</b>		
Géotube			<b>2 012 000,00</b>	<b>12.072.000</b>

**Tableau VII. 6 :** Coûts des deux variantes (LEM, 2015).

Selon les données regroupées dans le Tableau VII.6, le brise-lame est plus onéreux qu'un géo-tube, ce qui rend la variante 02 favorable. Il reste à noter que les coûts sont calculés sans prendre en considération la main d'œuvre, l'installation et l'entretien. Malgré que le géo-tube à une durabilité moins importante que le brise-lame, il reste le favori grâce à son délai de réalisation court, ses coûts moins cher, son impact positif sur le tourisme et l'économie.

## **VII.2. STRATEGIE DE PROTECTION DOUCE :**

A l'échelle locale, au court et moyen termes, une assistance sédimentaire à la plage d'Ain Franine reste envisageable. Cette dernière peut être effectuée à l'aide de techniques douces dites d'écoplage et de stabiplage qui sont employées dans de nombreuses plages mondiales afin de limiter le transport de sable et ainsi contenir l'érosion.

### **VII.2.1. La technique d'écoplage:**

Le fonctionnement de l'écoplage est simple, un système de drains est installé à une profondeur de 1,5m sous le sable, au niveau de la zone de jet de rive, parallèles au trait de côte. Ces drains sont reliés à un collecteur lui-même couplé à une station de pompage ; l'eau chargée en grains de sable apportés par la vague s'écoule par percolation, tandis que le sable est retenu sur la plage. Une canalisation de refoulement restitue à la mer l'eau libérée des sédiments, où peut être réutilisée (piscine, pisciculture..). L'engraissement de la plage est donc favorisé, en minimisant l'effet d'arrachage de la nappe de retrait, tout en diminuant le transport des sédiments vers le large.

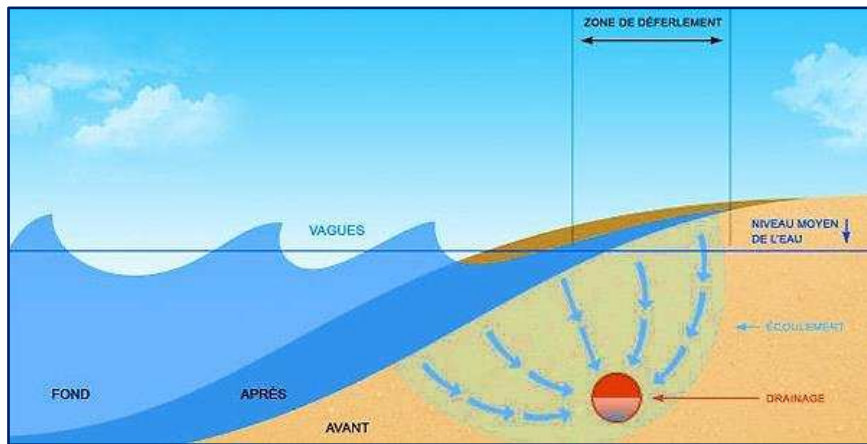


Figure VII. 7: Illustration montrant le principe d'écopage. (www.sur-la-plage.com, 2016)

### VII.2.2. La technique de Stabiplage :

C'est une technique qui consiste à mettre en œuvre des ouvrages de géocomposites (structure à filtre perméable recouvert d'une carapace résistante). Dans le cas d'un stabiplage implanté perpendiculairement au trait de côte ; l'ouvrage freine les courants et capte le sable transporté par ces derniers. Il utilise ensuite un dispositif qui reproduit les mouvements hydro-sédimentaires pour remonter les sédiments vers le haut de plage pour privilégier une augmentation de volume sédimentaire de la plage et de son profil.

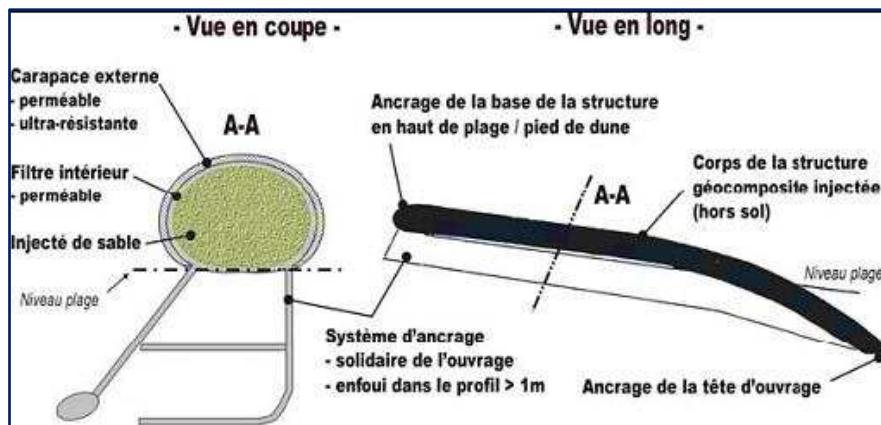


Figure VII. 8: Coupe transversale et longitudinale d'un stabiplage avec ancrage. (www.benoit.guillot1.free.fr, 2013)

Le stabiplage peut être aussi sous forme longitudinale afin de protéger les cordons dunaires, en formant une zone tampon entre la dune et la houle, et peut aussi jouer le rôle d'une butée en préservant la dune des glissements vers la mer. Il existe également des stabiplages immergés qui évitent le creusement du profil de plage et le recul du trait de côte dues au départ des sédiments vers le large, en absorbant l'énergie des houles incidentes, limitant ainsi l'exportation des sédiments au-delà de sa position, tout en autorisant le passage de petites houles pour assurer la qualité de l'eau.

### **VII.3. GESTION DE LA ZONE COTIERE :**

L'élaboration d'un plan de gestion des zones côtière à l'échelle régionale de la wilaya d'Oran pourrait constituer une perspective de protection du littoral oranais à long terme. Cette approche de gestion intégrée s'agit d'une démarche d'action publique qui réunit gouvernement et société, sciences et décideurs, intérêts publics et privé pour la prise en charge de la globalité du phénomène en question. L'application de cette dernière est opérationnelle grâce aux outils d'analyse de durabilité qui parviennent à dresser un état des lieux, et à définir un scénario souhaitable, dont la concrétisation se traduit par l'entrepreneuriat d'actions communes, et de mise en œuvre de dispositifs juridiques qui réglementent et mettent en avant la préservation du littoral.

### **CONCLUSION :**

L'enjeu de la défense contre la mer à l'aide des différents aménagements qui ont été proposés pour la plage d'Ain Franine gravite autour de l'axe financier et humain. En effet, la variante géotube se montre optimale par rapport au coût et à la facilité de réalisation de l'ouvrage, cependant, le coût et les efforts nécessaires à son entretien peuvent remettre en question son choix. La variante Brise-lame présente des opportunités d'engraissement de la plage d'Ain Franine, mais son caractère dispensieux et ses inconvénients pourraient la désavantager. Notre choix le plus raisonnable serait d'opter pour l'ouvrage à durée de vie la plus importante. En revanche, il reste risqué s'il n'est pas couplé à d'autres actions, comme le rechargement artificiel de la plage en aval.

Enfin, la meilleure technique pouvant aider la plage à retrouver un équilibre sédimentaire serait d'effectuer un rechargement artificiel du rivage d'Ain Franine, accompagné d'une installation complémentaire d'un stabiplage immergé au niveau des petits fonds pour le maintien du stock sédimentaire. Cette solution pourrait être la plus convenable en raison des propriétés de souplesse et de perméabilité de la réalisation d'un stabiplage, qui concèdent à ne pas faire barrage au sable comme le ferait une digue, mais plutôt à gérer les flux de sédiments. Un consolidement du glissement des falaises par reprofilage ou retalutage est aussi préconisé afin d'augmenter la sécurité du terrain.

# CONCLUSION GENERALE

## CONCLUSION GENERALE

Ce mémoire qui a pour thème une contribution à la connaissance de la morphologie et de la dynamique sédimentaire de la côte Ouest d'Algérie, cas de la plage d'Ain Franine avait comme objectif de mettre en évidence : les échanges hydro-sédimentaires existants, les différents phénomènes d'érosion-accumulation et la vulnérabilité côtière. Ceci afin de comprendre les interactions entre les trois volets ; partie aérienne, trait de côte et partie sous-marine. De ce fait, ce travail a permis de diagnostiquer l'état du système côtier de ce rivage, ainsi qu'à dresser un portrait sur le processus d'évolution du rivage d'Ain Franine.

Tout d'abord, la présentation du site d'étude souligne une nature géomorphologique miocène, avec une prédominance de sédiments calcaire pélitique qui recouvre la plate-forme littorale et le rebord continental sous forme de sable et gravier. Ainsi qu'une vase silico-calcaire au niveau du plateau continentale faisant transition entre bordures littorales. Cependant, le cadre géologique de la plage d'Ain Franine semble soumis à une extrême fragilité de par les massifs côtiers en perpétuel glissement, qui entourent la plage. Tandis que les paramètres hydrodynamiques désignent des houles annuelles au niveau de la zone d'Ain Franine, de direction Nord et Nord-Ouest selon la configuration géographique de la zone, ainsi qu'un courant compensateur au large d'origine atlantique.

Ensuite, l'étude granulométrique de la partie aérienne et sous-marine de la plage d'Ain Franine, décrit l'analyse de la fraction fine et grossière au laboratoire, à l'aide du tamisage, et le traitement numérique des résultats par Matlab et ArcGis, pour cacluler et cartographier les paramètres et indices sédimentologique qui nous renseigne sur la granulométrie de notre zone, qui a présenté une distribution classique des sédiments, à savoir, une diminution de la taille des sédiments de la côte vers le large. Ces sédiments présentent un faible taux de pélites.

Dans notre étude hydro-sédimentaire, on a utilisé le modèle numérique MIKE 21, afin de cartographier les fonds marins et d'étudier la propagation de la houle, champs de courants et transport sédimentaire dans notre zone d'étude. La reconnaissance de la morphologie sous-marine a mis en évidence des barres sableuses au niveau des petits fonds accidentés du site. La deuxième partie nous a permis d'exploiter les caractéristiques de la houle au large, avec estimation de la direction et de la hauteur de la houle significative à la côte. Nous avons constaté que les houles du secteur Nord abordent la côte avec une incidence plutôt frontale engendrant un courant de retour en assurant un transit des sédiments dans le profil, et les houles du secteur

Nord-Ouest abordent la côte avec une incidence oblique engendrant un courant de dérive littoral Ouest-Est, et par endroits elles sont frontales et engendrent des courants de retour.

Puis, nous avons effectué une analyse des tendances d'évolution de la plage d'Ain Franine par l'utilisation combinée de l'extension DSAS et le logiciel ArcGis 10.2.2, dans le but de calculer le taux de variation (EPR). Le suivi de sa transformation a abouti à une érosion généralisée de la plage de -0,93m/an avec un bilan sédimentaire quantifié sur les six ans de -4208 m<sup>2</sup>. Le segment centre-Est connaît un faible taux d'accrétion à cause du barrage construit en haut de la falaise, qui pourrait bloquer les sédiments d'apport, alors que le segment Ouest est en érosion à cause du cap de la falaise où la concentration d'énergie érode le substrat. Aussi, le recul peut être en raison de la redistribution des sédiments par les courants côtiers qui n'est pas en faveur de l'équilibre sédimentaire de la plage. Cependant, la destruction des falaises peut engendrer une accumulation qui modifierait la morphologie de la plage, déjà en dégradation. Finalement, pour une meilleure estimation de l'érosion, nous proposons l'utilisation de photographie aérienne sur une macro-échelle.

La vulnérabilité côtière selon les six variables physiques de l'indice de vulnérabilité côtière a abouti à un risque très élevé de 31-35 % pour le segment Est et centre de la plage, qui représentent les secteurs les plus exposés aux attaques frontales de houle. Le risque est modéré pour le segment Ouest pour une valeur de risque de 23%.

Enfin, les mécanismes de protection dure proposés pour la plage d'Ain Franine, présentent chacun des avantages et des inconvénients. Toutefois, il est plus favorable de faire un choix d'aménagement rationnel qui concilie le domaine économique et écologique. De ce fait, nous favorisons une alternative de protection douce par l'installation d'un stabiplage immergé conforté par un rechargement artificiel du rivage d'Ain Franine, solution qui pourrait considérablement bénéficier à l'engraissement de la plage.

Pour conclure, nous proposons d'incorporer une cartographie des aléas et des risques côtiers dans des plans de développement territorial à long terme, et une application d'un renforcement institutionnel entre direction de l'environnement et de l'administration locale (APC) de Bir el Djir. En effet, la coordination entre organismes d'état responsables et compétents dans la définition de projets territoriaux auquel les collectivités territoriales puissent se référer, constitue une démarche efficace dans la gestion du milieu côtier. Les travaux nous ont alors permis d'améliorer l'état de connaissance du comportement hydro sédimentaire de la plage afin de comprendre cette dynamique en relation avec la morphologie, dans le but de proposer une conduite à mettre en pratique pour la prise en charge intégrale de la plage d'Ain Franine.

# **BIBLIOGRAPHIE**

- AHFIR, Y., MEZIANE, I. (2016).** *Modélisation numérique de la cinématique du trait de côte et la dynamique sédimentaire des plages sableuses (Oran, Bou-Ismaïl, Alger, Bejaïa et Skikda) Cas d'étude : Sidi Fredj.* Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, pp. 101 – 113.
- AOUDJ, C., BOUAZIZ, T. (2014).** *Fonctionnement et dynamique morpho-sédimentaire du littoral Est de Béjaïa.* Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger: ENSSMAL, pp. 115-118.
- BENABDELLAH, M. (2011).** *Mise en évidence des phénomènes dynamiques contrôlant le littoral oranais (de la Calère à la Pointe de Canastel) : étape fondamentale pour une cartographie des risques géologiques.* Mémoire de magister. Risques naturels. Oran : Université d'Oran, pp. 219-223.
- BOURAS, D., BOUTIBA, Z. (2006).** *Analyse et cartographie des risques littoraux (littoral oranais, Algérie nord occidental).* Algérie : Bull. Science géographie. INCT, pp. 45-55.
- BOURAS, D. (2007).** *Dynamique bioclimatique et morphologique de la zone côtière oranaise : approche éco-biologique (Algérie nord occidentale).* Thèse doctorat, Université Es Sénia, Oran, Algérie, 200 p.
- BOURAS, D., MATALLAH, A., MOUFFOK, S., BOUTIBA, Z. (2007).** *Evolution bioclimatique et actions de développement sur le littoral occidental algérien.* Laboratoire Réseau de Surveillance Environnementale, Département de Biologie, Faculté des Sciences, USTO, Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 06, Décembre 2007, pp. 91-104.
- BRIERE, C. (2005).** *Etude de l'hydrodynamique d'une zone côtière anthropisée cas de l'embouchure de l'Adour et les plages adjacentes d'Angle.* Thèse de doctorat. Génie Civil – Hydraulique maritime et Transport sédimentaire. France : l'Université de Pau et des Pays de l'Adour, pp.19-30.
- CHARLES, L. (2010).** Disponible sur le web [hmf.enseeiht.fr/travaux/projnum/book/export/html/919](http://hmf.enseeiht.fr/travaux/projnum/book/export/html/919)
- DAGHBADJ, A. (2015).** *Aménagement et protection du rivage de Jijel.* Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, pp 23-45.
- DEHOUCK, A. (2006).** *Morphodynamique des plages sableuses de la mer d'Iroise (Finistère).* Thèse de doctorat. Géographie. France : Université de Bretagne occidentale, pp.7-18.
- GRASSO, F. (2009).** *Modélisation physique de la dynamique hydro-sédimentaire des plages.* Thèse de doctorat. Océans Atmosphères Hydrologie. France : Université Joseph Fourier de Grenoble I, pp. 19 – 30.
- GOURMELON, F., ROBIN, M. (2005).** *SIG et littoral.* Paris : Lavoisier. ISBN 2-7462-1141-6, pp. 245 – 252.
- KACEMI, M. (2006).** *Protection du littoral en Algérie entre politique et pouvoirs locaux : Le cas du pôle industriel d'Arzew (Oran-Algérie).* Département d'architecture, USTO, Vertigo La revue en sciences de l'environnement, Vol7no3, décembre 2006, pp.2-8.
- KHEDIMI, F., ABDERRAHMANI, K. (2008).** *Baie d'Alger : Etude de quelques paramètres de gestion du littoral et apport de la télédétection.* Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, pp. 6-17.

- LECLAIRE, L. (1972).** *Sédimentation holocène sur le versant méridional du bassin Algéro-Baléares (pré-continent Algérien)*. France : Muséum national d'histoire naturelle de Paris, pp. 62 - 232.
- LATTEUX, B. (1994).** *Modélisation numérique et physique en sédimentologie côtière*. Notice technique. France : Service technique central des ports maritimes et voies navigable, pp. 13 – 18.
- LEVOY, F., HOWA, H., TESSIER, B. (2000).** *Morphodynamique d'une plage macrotidale à barres*. Compte Rendu de l'Académie des Sciences, n°327, pp. 811-818.
- MOUSSA, K. (2006).** *Etude d'une Sebkhia : la Sebkhia d'Oran (Ouest algérien)*. Thèse de doctorat. Sédimentologie. Oran : USTO, pp. 06-10.
- MAURIET, S. (2009).** *Simulation d'un écoulement d'un jet de rive par une méthode VOF*. Thèse de doctorat. Génie civil. France : Université de Pau et des Pays de l'Adour, pp.58-63.
- NAZI, S. (2007).** *Evaluation des impacts des changements climatiques et de l'élévation du niveau de la mer sur le littoral de Tétouan (Méditerranée occidentale du Maroc)*. Thèse de doctorat. Géosciences de l'Environnement. Maroc : Université Mohamed V – AGDAL, pp. 198 – 204.
- OTMANI, H. (2014).** *Impact des infrastructures maritimes sur le littoral : Cas du port de Cap Djinet*. Mémoire de magister. Aménagement du littoral. Alger: ENSSMAL, pp.46 – 50.
- OUSSADIT, M., MATOUK, Z. (2014).** *Etude d'impact sur l'environnement du projet de l'extension du terminal conteneur du port d'Oran*. Alger : Laboratoire des études maritimes, pp. 14 – 23.
- PASKOFF, R. (2004).** *Les littoraux sableux et dunaires : de l'abondance à la pénurie en sédiments*. Bulletin de l'Association des Géographes Français, Vol. 3, pp 373-382.
- PIAN, S. (2010).** *Analyse multiscalaire et multifactorielle de l'évolution et du comportement géomorphologique des systèmes côtiers sud bretons*. Thèse de doctorat. Géographie. France : Université Rennes 2 Haute-Bretagne, pp. 85 – 149.
- SUANEZ, S. (2009).** *La question du bilan sédimentaire des côtes d'accumulation ; Rôle des forçages naturels et anthropiques dans les processus morphodynamiques analysés à partir de quelques exemples pris en Méditerranée et en Bretagne*. Mémoire présenté en vue de l'Habilitation à Diriger des Recherches. Géosciences. France : Université de Caen – Basse Normandie, pp. 90 – 159.
- STEPANIAN, M. (2002).** *Evolution morphodynamique d'une plage macrotidale à barre : Omaha beach (Normandie)*. Thèse de doctorat. Sciences de la terre et de l'univers. France : Université de CAEN-Basse Normandie, pp. 88- 89.
- THAN, V. (2015).** *Modélisation d'érosion côtière : application à la partie ouest du tombolo de Giens*. Thèse de doctorat. Ingénierie côtière. France : Université d'Aix-Marseille, pp.56 – 291.
- ZAKI, W., BASBOUS, T., YOUNES, R., RAAD, S. (2010).** *Modélisation de la houle au port de Beyrouth*. Faculté de génie. Liban : Université Libanaise, pp. 281–288.

# ANNEXE

## ANNEXE I :

STATION	X	Y	D25	D50	D75	MZ	SI	SK	K	Pélites
T1S1	723157	3960935	0.25718	0.41548	0.49582	0.42427	2.0769	1.1332	0.13914	5.37
T1S2	723156	3960941	0.23976	0.37614	0.51438	0.41135	1.9613	0.79002	0.33636	1.43
T1S3	723154	3960946	0.37544	0.45651	0.53531	0.46603	1.3209	0.86229	0.38851	1.9
T2S1	723204	3960947	0.22615	0.2748	0.34018	0.28469	1.5785	1.1006	0.21222	3.2
T2S2	723202	3960952	0.23367	0.34064	0.4217	0.33309	1.4199	1.0301	0.55667	4.3
T2S3	723201	3960958	0.24169	0.34285	0.38533	0.32392	1.3081	1.2188	0.50713	3.91
T3S1	723247	3960968	0.22494	0.29621	0.37828	0.30442	1.3925	0.89645	0.539	2.48
T3S2	723245	3960976	0.28188	0.36294	0.41934	0.35875	1.2978	1.0483	0.43369	1.5
T3S3	723243	3960980	0.26344	0.36139	0.41265	0.34709	1.3859	1.0286	0.32409	1.9
T4S1	723294	3960993	0.22739	0.33383	0.41603	0.31778	1.4444	1.032	0.54915	2.5
T4S2	723288	3961001	0.22353	0.25702	0.30057	0.26586	1.2509	0.87105	0.42081	3.43
T4S3	723287	3961002	0.2152	0.23901	0.28315	0.25339	1.3053	0.84408	0.27899	3.09
T5S1	723333	3961021	0.22521	0.26417	0.31042	0.27202	1.2618	0.88398	0.44817	2.33
T5S2	723330	3961025	0.21479	0.26774	0.38421	0.29056	1.5314	0.79054	0.44024	4.21
T5S3	723331	3961025	0.20855	0.23985	0.33411	0.27136	1.7351	0.87209	0.20129	1.15
T6S1	723380	3961040	0.21173	0.27061	0.35706	0.28331	1.4234	0.90497	0.48315	5.67
T6S2	723378	3961043	0.22021	0.31004	0.41221	0.31929	1.4911	0.91901	0.54255	4.89
T6S3	723377	3961047	0.21879	0.29617	0.42912	0.33314	1.8388	0.72987	0.36484	1.77
T7S1	723426	3961062	0.17095	0.19963	0.26963	0.21948	1.3985	0.74597	0.45779	4.01
T7S2	723423	3961067	0.20855	0.23936	0.32172	0.26168	1.3478	0.75662	0.48363	5.64
T7S3	723425	3961067	0.21863	0.277	0.35859	0.28763	1.3625	0.88764	0.53842	1.29

Tableau : Résultat d'analyse granulométrique de la plage aérienne de la plage d'Ain franine en (mm).

Mz	Si	Sk	k	Grain Moyen	Le classement	L'asymétrie	Acuité Mode
1.23694543	-1.0544318	-0.1804025	2.845391	Sable fin	T.bien classé	Classement maximum vers les fines	Courbe t.leptocurtique
1.28156165	-0.9718102	0.34003892	1.571922	Sable fin	T.bien classé	Classement maximum vers les fines	Courbe t. platycurtique
1.10150527	-0.4015213	0.21375495	1.363976	Sable fin	T.bien classé	Classement maximum vers les fines	Courbe leptocurtique
1.81253628	-0.6585543	-0.1382902	2.236367	Sable fin	T.bien classé	Classement maximum vers les fines	Courbe t. leptocurtique
1.58601605	-0.5057893	-0.0427844	0.845106	Sable fin	T.bien classé	Classement maximum vers les fines	Courbe t. platicurtique
1.62629055	-0.3874728	-0.2854614	0.979572	Sable fin	T.bien classé	Classement maximum vers les fines	Courbe mesocurtique
1.71586495	-0.4776773	0.15770498	0.891643	Sable fin	T.bien classé	Classement maximum vers les fines	Courbe platycurtique
1.47894926	-0.3760681	-0.0680516	1.205264	Sable fin	T.bien classé	Classement maximum vers les fines	Courbe t.platycurtique
1.52661829	-0.4708232	-0.0406821	1.625534	Sable fin	T.bien classé	Classement maximum vers les fines	Courbe t.leptocurtique
1.65389977	-0.5304703	-0.045443	0.864728	Sable fin	T.bien classé	Classement maximum vers les fines	Courbe platycurtique
1.91126136	-0.3229665	0.19917256	1.248759	Sable fin	T.bien classé	Classement maximum vers les fines	Courbe leptocurtique
1.98056851	-0.3843814	0.24454835	1.841715	Sable fin	T.bien classé	Classement maximum vers les fines	Courbe t.leptocurtique
1.87821537	-0.3354833	0.17791437	1.157882	Sable fin	T.bien classé	Classement maximum vers les fines	Courbe leptocurtique
1.78309199	-0.6148512	0.33908963	1.183638	Sable fin	T.bien classé	Classement maximum vers les fines	Courbe leptocurtique
1.88172002	-0.7950188	0.19745107	2.312653	Sable fin	T.bien classé	Classement maximum vers les fines	Courbe t.leptocurtique
1.81954657	-0.5093411	0.14405813	1.049457	Sable fin	T.bien classé	Classement maximum vers les fines	Courbe t.platycurtique
1.64706073	-0.576377	0.12184753	0.882172	Sable fin	T.bien classé	Classement maximum vers les fines	Courbe platycurtique
1.58579951	-0.8787646	0.45428857	1.454664	Sable fin	T.bien classé	Classement maximum vers les fines	Courbe leptocurtique
2.18783861	-0.4838803	0.42281048	1.127242	Sable t.fin	T.bien classé	Classement maximum vers les fines	Courbe t.platycurtique
1.93412443	-0.4306064	0.40235918	1.048024	Sable fin	T.bien classé	Classement maximum vers les fines	Courbe platycurtique
1.79771394	-0.4462562	0.17195341	0.893196	Sable fin	T.bien classé	Classement maximum vers les fines	Courbe platycurtique

Tableau : Calcul des indices granulométrique de nos échantillons de la plage aérienne et leurs classifications en unité Phi.

Station	X	Y	D50	D10	D90	Pelites	Mz	Mz (Phi)	Grain moyen
1	723207	3960961	0.4	0.25	2	1.22	0.45	-1.152	Sable grossier
2	723297	3961005	0.8	0.315	4	1.41	0.44	-1.18442	Sable grossier
3	723386	3961052	0.8	0.25	4	1.8	0.37	-1.4344	Sable grossier
4	723473	3961099	0.8	0.25	2.5	1.8	0.41	-1.2863	Sable grossier
5	723436	3961308	0.2	0.16	0.4	1.8	0.35	-1.51457	Sable grossier
6	723377	3961196	0.25	0.16	0.5	2	0.35	-1.51457	Sable grossier
7	723176	3961177	0.25	0.16	0.5	2	0.31	-1.68966	Sable grossier
8	723180	3961146	0.25	0.16	0.5	2.62	0.31	-1.68966	Sable grossier
9	723107	3961189	0.2	0.125	0.4	2.25	0.34	-1.55639	Sable grossier
10	723198	3961228	0.2	0.125	0.4	2.62	0.31	-1.68966	Sable grossier
11	723285	3961279	0.2	0.125	0.315	2.62	0.3	-1.73697	Sable grossier
12	723368	3961339	0.2	0.125	0.315	3	0.35	-1.51457	Sable grossier
13	723376	3961445	0.16	0.1	0.25	3	0.27	-1.88897	Sable grossier
14	723292	3961388	0.16	0.1	0.25	3.02	0.25	-2	Sable très grossier
15	723203	3961341	0.16	0.125	0.2	3.02	0.29	-1.78588	Sable grossier
16	723114	3961294	0.16	0.1	0.2	3.52	0.31	-1.68966	Sable grossier
17	722991	3961450	0.2	0.125	0.25	4	0.3	-1.73697	Sable grossier
18	723098	3961454	0.16	0.125	0.25	3.02	0.26	-1.94342	Sable grossier
19	723184	3961507	0.16	0.125	0.2	3.51	0.28	-1.8365	Sable grossier
20	723275	3961548	0.16	0.125	0.2	4.01	0.26	-1.94342	Sable grossier

**Tableau :** Résultat de l'analyse granulométrique de la plage sous-marine d'Ain franine en (mm).

## ANNEXE II :

Exemple de conversion de  $m^3/s/m$  à  $m^3/an/m$  :

$$1 m^3/s/m = 31536000 m^3/an/m.$$

## ANNEXE III:



**Figure :** Photographie de l'embouchure qui évacue sur le côté Est de la plage d'Ain Franine.

2011/2012		2012/2013		2013/2014		2014/2015		2015/2016		2016/2017		2011/2017	
EPR	NSM	EPR	NSM	EPR	NSM	EPR	NSM	EPR	NSM	EPR	NSM	EPR	NSM
4.94	7.72	7.25	4.83	11.61	8.21	-6.09	-8.51	5.66	4.03	-2.74	-1.89	0.46	2.65
4.88	7.63	7.21	4.8	21.85	15.45	-6.34	-8.86	5.64	4.02	-3.84	-2.65	0.4	2.3
3.32	5.2	7.13	4.75	17.78	12.57	-5.29	-7.39	6.36	4.53	-4.5	-3.11	0.09	0.49
2.84	4.44	5.59	3.72	11.88	8.4	-9.34	-13.05	1.7	1.21	-4.69	-3.24	0.02	0.12
2.71	4.24	-7.48	-4.98	11.82	8.36	-3.77	-5.26	-4.59	-3.27	0.85	0.59	0	0
2.26	3.54	-17.52	-11.67	14	9.9	-1.53	-2.14	-6.74	-4.8	5	3.45	-0.01	-0.07
2.12	3.31	-15.72	-10.47	14.92	10.55	0.14	0.19	-7.42	-5.29	9.69	6.69	-0.02	-0.13
1.69	2.65	-10.53	-7.01	15.02	10.62	-1.66	-2.32	-7.55	-5.38	9.37	6.47	-0.19	-1.1
0.53	0.83	-14.61	-9.73	8.61	6.09	-2.18	-3.04	-3.4	-2.42	6.05	4.18	-0.22	-1.27
0.21	0.33	-15.17	-10.1	8.32	5.88	-2.66	-3.72	1.43	1.02	9.19	6.35	-0.27	-1.54
-0.37	-0.58	-14.84	-9.88	6.83	4.83	-2.67	-3.73	1.05	0.75	9.86	6.81	-0.31	-1.8
-0.46	-0.72	-7.18	-4.78	8.64	6.11	-1.88	-2.62	-0.45	-0.32	1.93	1.33	-0.4	-2.28
-0.47	-0.73	-7.81	-5.2	5.26	3.72	-0.84	-1.18	-3.48	-2.48	-6.08	-4.2	-0.42	-2.41
-0.61	-0.95	-9.53	-6.35	11.1	7.85	-0.06	-0.08	-3.89	-2.77	-6.31	-4.36	-0.48	-2.75
-0.71	-1.11	-10.39	-6.92	11.61	8.21	-6.83	-9.54	4.18	2.98	-6.28	-4.34	-0.5	-2.85
-1.02	-1.59	-7.19	-4.79	16.58	11.72	-7.11	-9.93	3.38	2.41	-10.56	-7.29	-0.52	-3
-1.04	-1.62	-11.58	-7.71	19.84	14.03	-6.51	-9.09	2.23	1.59	-6.23	-4.3	-0.54	-3.12
-1.56	-2.44	-6.95	-4.63	20.08	14.2	-7.87	-10.99	6.18	4.4	-8.3	-5.73	-0.62	-3.53
-1.66	-2.59	-7.46	-4.97	15.44	10.92	-8.05	-11.25	2.65	1.89	-5.07	-3.5	-0.8	-4.6
-2.04	-3.19	-9.61	-6.4	17.68	12.5	-8.45	-11.81	4.29	3.06	-4.88	-3.37	-0.83	-4.76
-2.05	-3.2	-12.63	-8.41	15.25	10.78	-8.79	-12.28	5.91	4.21	-7.21	-4.98	-0.89	-5.09
-3.15	-4.92	-8.74	-5.82	12.19	8.62	-8.57	-11.97	8.91	6.35	-11.34	-7.83	-0.95	-5.47
-3.84	-6	-11.88	-7.91	10.93	7.73	-9.06	-12.65	11.41	8.13	-13.36	-9.23	-1.05	-6.02
-3.89	-6.08	-6.73	-4.48	9.14	6.46	-8.58	-11.98	11.68	8.32	-12.13	-8.38	-1.23	-7.03
-4.1	-6.42	-1.94	-1.29	9.28	6.56	-7.45	-10.41	10.92	7.78	-9.15	-6.32	-1.24	-7.1
-4.17	-6.52	-4.41	-2.94	7.88	5.57	-8.21	-11.47	11.61	8.27	-8.72	-6.02	-1.28	-7.32
-4.32	-6.76	-7.04	-4.69	5.12	3.62	-8.03	-11.22	11.23	8	-7.86	-5.43	-1.44	-8.25
-4.51	-7.05	-9.78	-6.51	10.48	7.41	-7.51	-10.49	10.02	7.14	-11.15	-7.7	-1.68	-9.65
-4.62	-7.22	4.62	3.08	11.51	8.14	-5.8	-8.1	14.41	10.27	-10.11	-6.98	-1.73	-9.95
-4.83	-7.55	23.66	15.76	7.2	5.09	-6.53	-9.12	10.3	7.34	-3.62	-2.5	-1.74	-9.96
-4.88	-7.63	19.01	12.66	5.36	3.79	-1.48	-2.07	-5.36	-3.82	3.19	2.2	-1.91	-10.95
-5.63	-8.81	2.06	1.37	7.13	5.04	-1.29	-1.8	-0.45	-0.32	-0.33	-0.23	-1.99	-11.4
-5.76	-9.01	-15.96	-10.63	19.28	13.63	-0.2	-0.28	0.14	0.1	9.34	6.45	-2.05	-11.76
-5.87	-9.18	-8	-5.33	15.94	11.27	-6.12	-8.55	0.84	0.6	-5.99	-4.14	-2.76	-15.86
-6.24	-9.76	1.53	1.02	17.23	12.18	-5.44	-7.6	-0.34	-0.24	-4.92	-3.4	-2.77	-15.88
-6.59	-10.31	-4.84	-3.22	12.98	9.18	-3.29	-4.59	-1.02	-0.73	-3.26	-2.25	-2.8	-16.09

Tableau : Résultat du calcul des indicateurs EPR et NSM en mètre.

Année	2011/2012	2012/2013	2013/2014	2014/2015	2015/2016	2016/2017	2011/2017
Accretion	0.70833333	2.16833333	12.3825	0.14	4.22583333	1.79083333	0.02694444
Erosion	-2.3441667	-7.6780556	0	-5.1522222	-1.24138889	-4.96194444	-0.9344444

Tableau : vitesses d'évolution de 2011-2017 de la plage d'Ain Franine.

## ANNEXE IV :

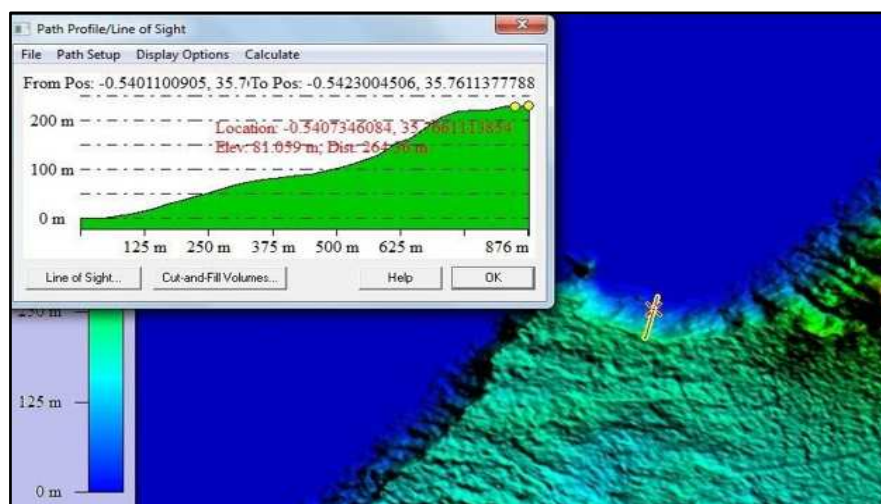


Figure : Dessin de profils de pente côtière sur Global Mapper.

Les variables							
Cellule	Géomorphologie ( a )	Pente ( b )	Trait de cote ( c )	Niveau de la mer ( d )	Marée ( e )	Hauteur significative ( f )	CVI
1	5	3	3	5	5	3	23.7171
2	5	3	3	5	5	3	23.7171
3	5	3	3	5	5	3	23.7171
4	5	3	3	5	5	3	23.7171
5	5	3	3	5	5	3	23.7171
6	5	3	3	5	5	3	23.7171
7	5	3	3	5	5	3	23.7171
8	5	3	3	5	5	3	23.7171
9	5	3	3	5	5	3	23.7171
10	5	3	3	5	5	3	23.7171
11	5	3	3	5	5	3	23.7171
12	5	3	3	5	5	3	23.7171
13	5	3	3	5	5	3	23.7171
14	5	3	3	5	5	3	23.7171
15	5	3	3	5	5	3	23.7171
16	5	3	3	5	5	3	23.7171
17	5	3	3	5	5	3	23.7171
18	5	3	3	5	5	3	23.7171
19	5	3	3	5	5	3	23.7171
20	5	3	3	5	5	3	23.7171
21	5	3	3	5	5	3	23.7171
22	5	3	3	5	5	3	23.7171
23	5	3	3	5	5	3	23.7171
24	5	3	3	5	5	3	23.7171
25	5	3	3	5	5	3	23.7171
26	5	3	3	5	5	4	27.3861
27	5	4	3	5	5	4	31.6228
28	5	4	3	5	5	4	31.6228
29	5	4	3	5	5	4	31.6228
30	5	4	3	5	5	4	31.6228
31	5	4	3	5	5	4	31.6228
32	5	4	3	5	5	4	31.6228
33	5	4	3	5	5	4	31.6228
34	5	4	3	5	5	4	31.6228
35	5	4	3	5	5	4	31.6228
36	5	4	3	5	5	4	31.6228
37	5	4	3	5	5	4	31.6228
38	5	4	3	5	5	4	31.6228
39	5	4	3	5	5	4	31.6228
40	5	4	3	5	5	4	31.6228
41	5	4	3	5	5	4	31.6228
42	5	4	3	5	5	4	31.6228
43	5	4	3	5	5	4	31.6228
44	5	4	3	5	5	4	31.6228
45	5	4	3	5	5	4	31.6228
46	5	4	3	5	5	4	31.6228
47	5	4	3	5	5	4	31.6228
48	5	4	3	5	5	4	31.6228
49	5	4	3	5	5	4	31.6228
50	5	4	3	5	5	4	31.6228
51	5	4	3	5	5	4	31.6228
52	5	4	3	5	5	4	31.6228
53	5	4	3	5	5	4	31.6228
54	5	4	3	5	5	4	31.6228
55	5	4	3	5	5	4	31.6228
56	5	4	3	5	5	4	31.6228
57	5	4	3	5	5	4	31.6228
58	5	4	3	5	5	4	31.6228
59	5	4	3	5	5	4	31.6228
60	5	4	3	5	5	4	31.6228
61	5	4	3	5	5	4	31.6228
62	5	4	3	5	5	4	31.6228
63	5	4	3	5	5	4	31.6228
64	5	4	3	5	5	4	31.6228
65	5	4	3	5	5	5	35.3553
66	5	4	3	5	5	5	35.3553
67	5	4	3	5	5	5	35.3553
68	5	4	3	5	5	5	35.3553
69	5	4	3	5	5	5	35.3553
70	5	4	3	5	5	5	35.3553
71	5	4	3	5	5	5	35.3553
72	5	4	3	5	5	5	35.3553
73	5	4	3	5	5	5	35.3553
74	5	4	3	5	5	5	35.3553

Tableau : Résultat du calcul de l'indice de vulnérabilité CVI.

## ANNEXE V :

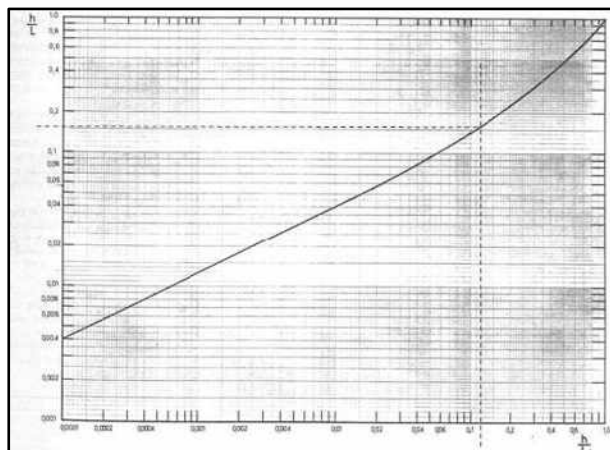


Figure : Abaque pour la détermination de la longueur d'onde  $L$ .

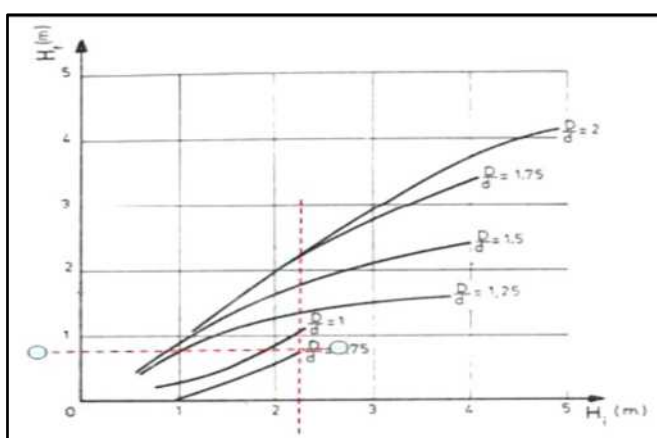


Figure : Abaque pour la détermination de la houle de dimensionnement  $H_t$  du brise lame.

Diamètre	Circonférence	Hauteur	Volume	Largeur max	Largeur base	Géosynthétique recommandé
D	C	H	F	W	Wb	PP120S
M	M	m	ms/ml	M	M	PP120S
1,60	5,0	1,0	1,7	2,0	1,7	PP120S
2,50	7,9	1,1	4,1	3,2	2,7	PP120S
3,25	10,2	2,0	6,9	4,2	3,5	PP120S
4,00	12,6	2,4	10,4	5,1	4,3	PP120S
5,00	15,7	3,0	16,3	6,4	5,4	PP120S

Tableau : Détermination des caractéristiques des géo-tubes implantés.

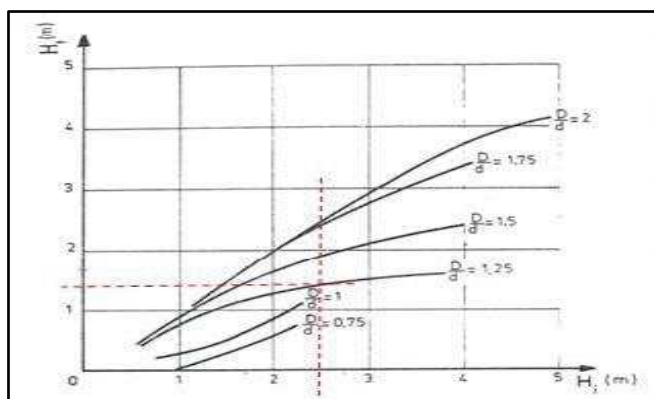


Figure : Abaque pour la détermination de la houle de dimensionnement  $H_t$  du géo-tube.

# **Contribution à la connaissance de la morphologie et de la dynamique sédimentaire de la côte Ouest d'Algérie, cas de la plage d'Ain Franine, Oran.**

## **Résumé**

Les zones côtières constituent un environnement dynamique sujet aux influences des processus côtiers (ex. énergie des vagues et transport des sédiments) et aux événements météorologiques (ex. tempêtes). L'étude des environnements côtiers consiste à une requête fondamentale pour la prise de décision dans la gestion territoriale. On estime 30 % des 1550 km de côtes algériennes comme des plages sableuses, espaces privilégiés à protéger en urgence en vue de leurs tendances érosives, c'est sur la base de ce constat critique que l'équilibre sédimentaire contrôlé par la combinaison des facteurs naturels et anthropiques est l'élément irrévocable pour appréhender ce système à différentes échelle de temps. La présente étude porte sur la plage d'Ain Franine d'Oran qui se situe dans une zone soumise à plusieurs contraintes tels que ; la stabilité des terrains naturels, l'érosion côtière et la submersion marine...etc.

Dans ce travail, nous exposons une méthodologie d'analyse granulométrique, une méthodologie pour la modélisation de propagation des houles, des champs de courant et du transport sédimentaire, ainsi, qu'une analyse de la cinématique du trait de côte qui met en évidence un découpage spatial de la plage en surfaces d'érosion et accrétion permettant une visualisation de l'évolution morphologique dans le temps. Pour enfin évaluer le degré de vulnérabilité de la plage face aux impacts physiques dont les effets d'érosion, inondation et de remodelage des pentes auront surement des incidences sur la biodiversité, les nombreux écosystèmes de ce littoral et sur les activités socio-économiques de cette région à grande valeur stratégique.

**Mot clés :** Littoral Algérien - Oran - Modélisation numérique - Trait de côte - Granulométrie - Dynamique sédimentaire - Vulnérabilité côtière - SIG - Erosion - Protection de plage sableuse.

## **Abstract**

Coastal areas are dynamic environments, exposed constantly to the influence of the coastal process (wave energy, sediment transport) and the weather events. The study of the coastal environment consists to a basic request for decision making in the territory management. We estimate 30 % of the 1550 km of the Algerian coasts as sandy beaches, privileged spaces to protect urgently due to their erosive tendencies. Based on this critical report, the sedimentary balance seems to be the key element to apprehend the coastal system. Our study concerns Ain Franine beach of Oran, situated in an area subject to several constraints such as land stability, coastal erosion and marine submersion.

In this work, we expose an analysis particle size methodology, a methodology for wave propagation modeling, current fields and sediment transport. As well as an analysis of the coastline evolution to evaluate the morphological transformations, to finally assess the

vulnerability of Ain Franine beach faced to physical impacts. In conclusion, our results show the effects of erosion, slope remodeling... potentially affecting the social economic activities in Ain Franine, a region reputed for its strategic values.

**Keywords :** Algerian coast - Oran - Numerical modeling - Coastline - Granulometry - Sedimentary dynamics - Coastal vulnerability - GIS - Erosion - Sand beach protection.

### ملخص

تشكل المناطق الساحلية بيئة دينامية تخضع لتأثيرات العمليات الساحلية (مثلا : طاقة الموجات ونقل الرواسب) والأحداث الجوية (مثلا : لعواصف). دراسة البيئات الساحلية مجال أساسي لصنع القرار في مجال الإدارة الإقليمية. تشير التقديرات إلى أن 30% من الخط الساحلي الجزائري الذي يبلغ طوله 1550 كم يتكون من الشواطئ الرملية و تمثل مساحات متميزة التي يجب حمايتها في حالات الطوارئ لميولها لعملية النحت. على أساس هذه الملاحظة، التوازن الرسوبي الذي يسيطر عليه العوامل الطبيعية والعامل البشري هما العنصر الذي لا رجعة فيه لفهم هذا النظام على نطاقات الزمنية المختلفة. وتركز هذه الدراسة على شاطئ عين فرانين في وهران، الذي يقع في منطقة تخضع لعدة قيود مثل: الاستقرار الأراضي الطبيعية، والتحات الساحلي، والغمر البحري ... الخ

في هذا العمل، نقدم منهجية تحليل حجم الجسيمات، ومنهجية لنمذجة انتشار الموجات، والمجالات الحالية ونقل الرواسب، كذلك تحليل لديناميات الخط الساحلي الذي يسلط الضوء على أسطح تراكم و التراجع. هاته الأخيرة تمكنا من تمييز التطور المورفولوجي مع مرور الوقت. وأخيرا، لتقييم مدى حساسية الشاطئ التي من المؤكد أن التعرية، الفيضانات وإعادة انحدار المنحدرات سيكون لها تأثير على التنوع البيولوجي والنظم الإيكولوجية العديدة لهذا الخط الساحلي وكذلك على الأنشطة الاجتماعية والاقتصادية في هذه المنطقة ذات قيمة استراتيجية كبيرة.

**كلمات مفاتيح :** الساحل الجزائري - وهران - النمذجة العددية - الساحل - قياس الحبيبات - الديناميات الرسوبية - نظم المعلومات الجغرافية - التآكل - حماية الشواطئ الرملية.