

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 pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en sciences de la mer et de l'aménagement du littoral

**Spécialité : Aménagement du littoral**

**Sujet :**

**Etude de protection du rivage d'El Kettar- Cherchell**

Présenté par :

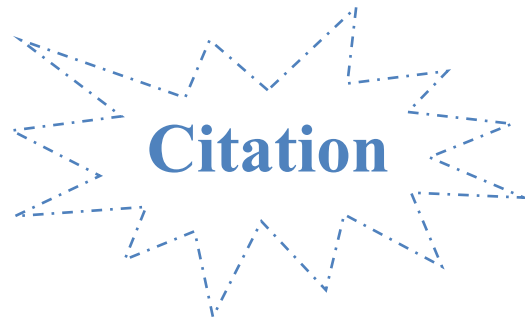
**-ABERKANE HAYET.**

**- HAMZI SABRINE SARRA.**

Soutenu le **24/09/2016** devant le jury suivant :

<b>Mr OTMANI H.</b>	Maître Assistant B (ENSSMAL)	<b>Président</b>
<b>Mr MEZOUAR K.</b>	Maître de conférences A (ENSSMAL)	<b>Promoteur</b>
<b>M<sup>elle</sup> LOUANCHI S.</b>	LEM	<b>Co-promotrice</b>
<b>M<sup>me</sup> MEHDID S.</b>	Maître Assistante A (ENSSMAL)	<b>Examinatrice</b>
<b>M<sup>me</sup> MOKHBI D.</b>	Maître de conférences B (ENSSMAL)	<b>Examinatrice</b>

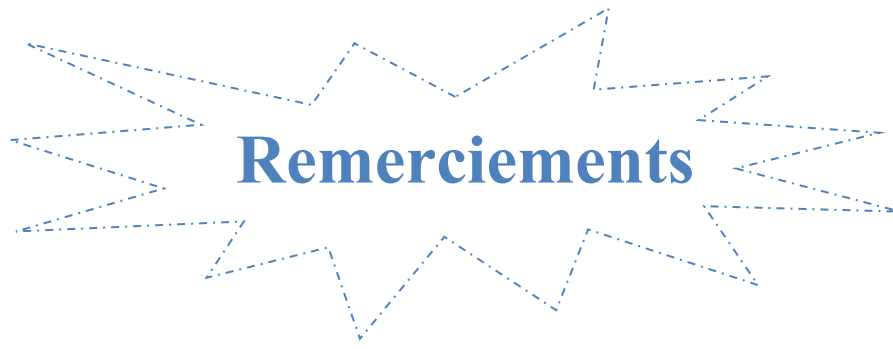
**Promotion : 2016**



*« Quand tu vas commencer à mesurer le fond de la mer, fais bien attention de ne pas trop te pencher, et de ne pas tomber par -dessus bord -, et là où ça sera trop profond, laisse un peu mesurer les autres. »*

Marcel Pagnol, Fanny (1931)

# Remerciements



# Remerciements

*Nous tenons en premier lieu à remercier le bon dieu de nous avoir procuré : santé, patience et amour ainsi aux membres de nos familles qui nous ont soutenu le long de nos études pour réaliser ce travail.*

*Six mois. Des doutes, des certitudes, des euphories, des satisfactions, des moments de solitudes, des nuits, des week –ends, des étapes que l'on a franchi, pas après pas .Un mémoire est un exercice passionnant .Un apprentissage à caractère scientifique .Mais pas seulement. On se révèle, on prend confiance.*

*Nous adressons nos remerciements à notre promoteur monsieur **MEZOUAR KHOUDIR** d'avoir accepté d'encadrer et de diriger ce mémoire et qui par ses conseils et sa disponibilité, nous a été utile avec son expérience et ses connaissances en suivant constamment la progression de ce travail .Sans oublier notre Co- promotrice Madame **LOUANCHI SALIHA***

*Nous tenons à remercier monsieur **OTMANI** en tant que président de jury.*

*Nous tenons à remercier madame **SOUKALE** Et madame **MEHDID** D'avoir pris le temps d'examiner ce travail.*

*Nous souhaitons adresser nos remerciements les plus sincères au responsable de la marine de Cherchell qui a mis à notre disposition un bateau équipé de matériel nécessaire.*

*Nos remerciements à monsieur **DAHMANI** de la DTP qui nous a aidé pour la documentation.*

*Nos profondes reconnaissances au personnel de la bibliothèque de l'ENSSMAL, ainsi qu'à toutes les personnes qui nous ont aidés de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire de fin d'étude.*

*On tient à exprimer notre vive gratitude à tous nos enseignants, depuis la première année fondamentale, jusqu'à la cinquième année.*

# Dédicaces

À cœur vaillant rien d'impossible

À conscience tranquille tout est accessible

Les études sont avant tout, Nôtre unique et seul atout

Aujourd'hui ici rassemblés devant les jurys, Nous prions dieu que cette soutenance Sera digne de persévérance

C'est avec un grand honneur que je dédie humblement ce modeste travail qui est le fruit de tant d'années d'abnégation et d'efforts fournis jour et nuit

***À MES CHERS PARENTS, MA MÈRE ET MON PÈRE***

Affables, honorables, aimables ; vous représentez pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement, votre prière et bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études.

***MA MÈRE, MON PÈRE*** ; être votre fille est un grand honneur pour moi et je ne prétends pas être capable de payer la dette que j'ai envers vous. Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que vous mériter pour les sacrifices que vous avez consentis pour mon éducation et ma formation. Que Dieu le tout puissant le miséricordieux vous protège et vous accorde une longue vie.

Je vous dédie ce travail en témoignage de mon profond amour.

***À MES CHERS FRÈRES***

Mes chers frères Samir et Hamza, les mots ne suffisent guère pour exprimer l'attachement l'amour et l'affection que je porte pour vous. Mes fidèles compagnons dans les moments les plus délicats de cette vie mystérieuse, vous m'avez témoigné aux cours des années vos sentiments d'amour. Merci pour vos paroles d'encouragement.

Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réussite.

***À MES CHÈRES SŒURS***

Mes chères Sihem et Chaima, vous êtes des pierres précieuses pour moi, chacune brille d'un éclat distinctif qui illumine mon chemin, quand je pense à tout ce qui nous lie et à l'importance que vous avez pour moi, je me dis que j'ai bien de la chance d'avoir dans la vie des sœurs comme vous qui me connaissez, me comprenez, m'acceptez comme je suis.

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect et la reconnaissance à ma très chère ma mère. Tu m'as comblé avec ta tendresse et affection tout au long de mon parcours. Tu as toujours été présente durant les durs périodes de ma vie, pour me consoler de me guider vers la réussite par tes conseils et me soutenir sur mes études. Je vous dédie ce travail en signe de ma profonde estime et remercie. Je ferai mon mien pour ne jamais te décevoir.

Je dédie aussi ce modeste travail à mon père, l'expression de mon estime ne serait autant suffisant face à ton encouragement et ta compréhension qui ont été le soutien et qui m'ont accompagné durant les années des études.

En ce jour mémorable, je tien ce travail comme un témoignage de mon attachement et mon amour à la personne la plus chère ma sœur. T'es toujours présente dans les moments de souffrance et solitude et tu m'as aidé à les surmonter par ton encouragement et ton soutien. Tu m'as appris d'être optimiste et d'avoir confiance en soi face aux difficultés de la vie. Merci pour toute complicité et l'entente qui nous unisse.

A mon petit frère, pour toute l'ambiance qui était source d'enthousiasme à ce travail.

Et de mon sauver par tes idées dans les moments délicats.

A mon binôme Hayet, ton collaboration, ta patience et ton assiduité étaient source de motivation et de réussite.

Je dédie à mes amis et mes collègues : Walid, Yasmina, Safia, Lynda, Nawel, Rachida, Walid, Toufik et toutes la promos 'aménagement qui ont toujours été disponible à moi pour m'aider et surmonter les difficultés.

Je vous souhaite une vie plein de réussite et bonheur.

Je tiens aussi à dédier ce travail à Mr Mezouar, Aroua, Beni-ijir Mezhoud et Mehdi qui nous a encouragé, nous facilité l'attache durant le processus de travail et qui ont un rôle important dans la réussite de ce travail.

# **TABLE DES MATIERES**

# TABLE DES MATIERE

Table des matières .....	I
Liste des acronymes .....	II
Liste des unités .....	III
Liste des figures .....	IV
Liste des tableaux .....	V
<b>Introduction générale</b> .....	28
<b>Chapitre I : Présentation de la zone d'étude</b>	
<b>Introduction</b> .....	31
<b>I.1.Situation géographique</b> .....	31
I.1.1.Description de la zone d'étude.....	32
I.1.2. Enquête sur site.....	32
<b>I.2. Contexte géomorphologique et géologique</b> .....	33
I.2.1.Cadre géologique.....	34
I.2.1.1.Géologie régionale .....	34
I.2.1.2.Géologie locale.....	35
I.2.2.Cadre géomorphologique.....	36
<b>I.3. Données climatiques et hydrographiques</b> .....	36
I.3.1.Le climat.....	36
I.3.1.1.La température.....	36
I.3.1.2.Précipitation.....	37
a. Régime annuel des précipitations.....	37
b. Régime mensuel des précipitations.....	38
I.3.2.Hydrologie .....	39
<b>I.4. Contexte hydrodynamique</b> .....	40
I.4.1. Les données météorologiques (vent).....	40
a. La station météorologique de Bou-Ismaïl (1956-1960).....	41
b. Observation des vents au large (données du SSMO 1914-1970).....	41
I.4.2. les données Océanographiques.....	42

## TABLE DES MATIERE

I.4.2.1.La houle .....	43
I.4.2.1.1.Houle au large .....	43
a. Fréquences mensuelles de la houle au large par direction.....	43
b. Relation amplitude –direction de la houle.....	45
C. Etat de la mer .....	45
D .Caractéristiques de la houle au large.....	46
I.4.2.2. Les courants .....	48
I.4.2.2.1.Les courants de retour.....	48
I.4.2.2.2.Les courants de dérive littorale « long shore ».....	48
<b>I.5. La problématique de l'érosion.....</b>	<b>49</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>49</b>
 <b>CHAPITRE II : ETUDE DE LA VARIATION DU TRAIT DE COTE DE « El Kettar » ENTRE 1960 ET 2016.</b>	
<b>Introduction .....</b>	<b>51</b>
<b>II.1.Techniques de détection des variations de la position du trait de côte.....</b>	<b>51</b>
II.1.1.Méthode de levé .....	51
II.1.2.Les données disponibles.....	52
II.1.3.Méthode de traitement .....	52
<b>II.2.Procédure.....</b>	<b>52</b>
II.2.1.Définir l'indicateur du trait de côte.....	52
II.2.2.Définir la ligne de base .....	53
II.2.3.L'extraction des lignes du trait de côte .....	53
II.2.4.Traitement de la cinématique du trait de côte sous l'outil DSAS .....	54
II.2.4.1. Aperçu sur DSAS (Digital ShorelineAnalysisSystème).....	54
II.2.4.2.Démarche .....	54
<b>II.3. Analyse cinématique de linéaire côtier.....</b>	<b>56</b>
A.L'évolution de la période 1960-1980.....	57
B.L'évolution de la période 1980-1996.....	58
C.L'évolution de la période 1996-2016.....	60
D. Bilan d'évolution de la période 1960-2016.....	61
<b>II.4. évaluation le taux d'évolution d'espace côtier .....</b>	<b>63</b>
<b>Conclusion .....</b>	<b>65</b>

**CHAPITRE III : ETUDE HYDRODYNAMIQUE ET BATHYMETRIQUE DE « EI Kettar »**

<b>III.1. Etude hydrodynamique</b> .....	67
<b>Introduction</b> .....	67
III.1.1. Etude de la réfraction de la houle.....	67
III.1.1.1. Principe de calcul de la réfraction de la houle.....	67
III.1.1.2. Donnée de base .....	67
III.1.1.2.1. Données bathymétriques.....	67
III.1.1.2.2. Données de houle au large .....	67
III.1.1.2.3. Choix des périodes .....	67
III.1.1.2.4. Choix des directions.....	69
III.1.1.3. Déroulement des étapes de la réalisation de la réfraction .....	70
III.1.1.4. Modélisation de la réfraction.....	70
III.1.1.4.1. Modélisation numérique par SWAN.....	70
III.1.1.4.2. Description des logiciels et outils utilisés .....	70
III.1.1.4.3. Etapes de la modélisation .....	71
III.1.2. Résultats de la réfraction.....	72
III.1.3. Interprétation des résultats de la réfraction.....	82
<b>Conclusion</b> .....	84
<b>III.2. Etude bathymétrique</b> .....	84
<b>Introduction</b> .....	84
III.2.1. travaux sur terrain .....	85
III.2.1.1. le levé bathymétrique .....	85
III.2.1.2. Moyens .....	85
III.2.2. La carte bathymétrique .....	85
III.2.2.1. Définition .....	85
III.2.2.2 Procédure .....	86
III.2.3. Etapes de réalisation de la carte bathymétrique .....	86
III.2.4. Résultats d'analyses bathymétriques.....	88
III.2.5. Les profils bathymétriques .....	88
<b>Conclusion</b> .....	90
<b>III.3. Transit littoral</b> .....	90
III.3.1. Estimation du transit littoral .....	90

III.3.1.1 Le bilan énergétique annuel de transport .....	91
1/Détermination des amplitudes (Hs).....	91
2/Détermination de la période (T).....	91
3/Détermination de la durée (t).....	91
III.3.1.2.Détermination de l'angle « $\alpha$ » et de la fonction $f(\alpha)$ .....	92
III.3.2.Données utilisées .....	92
III.3.3.Résultats des calculs effectués .....	92

## CHAPITRE IV : TECHNIQUES ET METHODES DE PROTECTION CONTRE L'EROSION

<b>Introduction</b> .....	97
<b>IV.1 Nécessité d'une étude d'aménagement</b> .....	97
<b>IV.2. Les ouvrages de protection envisageables</b> .....	97
IV.2.1. Variante n°1.....	97
IV.2.1.1. Les brise-lames .....	97
IV.2.1.2. Dimensionnement .....	99
IV.2.1.2.1. La distance de la brise lame par rapport à la côte (Lc).....	99
IV.2.1.2.2.La longueur de la brise lame .....	99
IV.2.1.2.3.Espacement entre deux brise-lames .....	100
IV.2.1.2.4.Hauteur de la houle au pied de l'ouvrage .....	100
IV.2.1.2.5.La largeur en crête du brise-lame .....	101
IV.2.1.2.6. La hauteur du brise –lame .....	101
IV.2.1.2.7.Stabilité des ouvrages de protection .....	102
IV.2.1.2.8.Impact des brise-lames sur la ligne de rivage .....	106
IV.2.2. Variante n°2.....	106
IV.2.2.1.Digue à talus .....	106
IV.2.2.2.Principe de fonctionnement .....	106
IV.2.2.3.Dimensionnement d'ouvrage .....	107
IV.2.2.4.Stabilité de l'ouvrage .....	108

## TABLE DES MATIERE

<b>IV.3. Protection de la falaise</b> .....	110
IV.3.1. Principe de renforcement .....	111
IV.3.1.1. Objectifs .....	111
IV.3.2. Exigences qualitatives sur les matériaux.....	111
IV.3.2.1. Remblai .....	111
IV.3.2.2. Système de drainage .....	112
IV.3.2.3. Terrassement et assise du mur .....	112
IV.3.2.4. Principe de dimensionnement .....	112
<b>Conclusion</b> .....	113
<b>Conclusion générale</b> .....	115
<b>Références bibliographiques</b> .....	118

# **LISTE DES ACRONYMES**

- APC** : Assemblée Populaire Communale.
- ANRH** : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.
- P** : Précipitation.
- T** : Température.
- SSMO** : Summary of Synoptic Meteorological Observations .
- N** : Nord .
- NE** : Nord –Est .
- NO** : Nord-Ouest.
- E** : Est .
- SE** : Sud-est .
- SO** : Sud-ouest .
- LEM** : Laboratoire Des Etudes Maritimes.
- Hs** : Hauteur significative.
- K.N.M.I** : Institut Météorologique Royal Néerlandais.
- Pn** : Probabilité d'apparition d'une houle.
- K** : coefficient dépend de la rugosité du fond.
- G** : accélération de la pesanteur.
- T** : période.
- I** : pente du fond.
- $\alpha$**  : Angle d'incidence des houles.
- H** : Amplitude des lames déferlantes.
- INCT** : Institut national de cartographie et de télédétection.
- UTM** : Universal Transverse Mercator.

**DSAS** : Digital Shoreline Analysis System.

**EPR** : End Point Rates.

**NSM** : Net Shoreline Movement.

**Kr** : Coefficient de réfraction.

**SWAN** : Simulating Waves Nearshore .

**SHOM** : Service Hydrographique et océanographique de la marine

**SIG** : Système d'information Géographique.

**GIZC** : Gestion intégrée des zones côtières

**ONM** : Office Nationale de la météorologie .

**°C** : Degré Celsius.

**Mm** :Millimètre.

**m<sup>3</sup>/h** : mètre cube par heure.

**m/s** : mètre par seconde.

**M** :mètre

**S** :Seconde.

**Cm/s** : Centimètre par seconde.

**Km** : Kilomètre.

# Listes des figures

<b>Figure I.1</b> :Situation géographique de la zone d'étude (Arc gis Earth,2016).....	31
<b>Figure I.2</b> :Une embouchure d'eaux usées dans la zone .....	33
<b>Figure I.3</b> :Embouchure d'eaux usées dans la zone absence d'un réseaud'assainissement.	33
<b>Figure I.4</b> :Etat de la pollution de la falaise par les déchets domestiques.....	33
<b>Figure I.5</b> :Schéma structural de la géologie régionale de Cherchell (repris de Belhai 1996 , in Benderradji et Ferhat , 2011 ).....	34
<b>Figure I.6</b> :Géologie locale (repris du Ministère de l'industrie Lourde –Direction des mines et de la géologie ).....	35
<b>Figure I.7</b> :Distribution des températures moyennes (Bouharoun, 2002-2011).....	37
<b>Figure I.8</b> :Evolution des précipitations annuelles entre 2002-2011(ANRH).....	37
<b>Figure I.9</b> :Evolution des précipitations mensuelles entre 2002-2011(ANRH).....	38
<b>Figure I.10</b> :Diagramme ombrothermique de Gausse Bouharoun (2002-2011).....	39
<b>Figure I.11</b> :Carte représentant les réseaux hydro/graphiques (extraite de la carte topographique de Cherchell / Source INCT 1960).....	40
<b>Figure I.12</b> :Rose trimestrielle des vents (données SSMO,1914-1970).....	42
<b>Figure I.13</b> :Rose des vents annuelle (source station de Bou –ismail).....	42
<b>Figure I.14</b> :Roses récapitulatives de direction des houles au large du secteur (275 °-55°) source : K.N.M.I in zemenzer 2004.....	44
<b>Figure I.15</b> :Répartition des énergies des houles en fonction de la direction et des périodes les plus courantes ( source : K.N.M.I in Zemenzer 2004).....	47
<b>Figure II.1</b> :Diagramme de variation des indicateurs de trait de côte dans l'échelle espace – temps cas côte rocheuse (C.Mallet et all ,2012).....	53
<b>Figure II.2</b> :Polylignes de l'indicateur du trait de côte digitalisées sous Arcmap (logiciel Arcgis).....	53
<b>Figure II.3</b> :Caractéristiques de transect recommandées par l'outil DSAS.....	55
<b>Figure II.4</b> : Choix de la position du transect sur la ligne de base .....	55

<b>Figure II.5</b> :Position des transects sur le trait de côte sous logiciel Arcgis.....	55
<b>Figure II.6</b> :Tableau des résultats d'évolution fournit par DSAS.....	56
<b>Figure II.7</b> :Variation de vitesse d'évolution de trait de côte de « EL Kettar » entre (1960-1980).....	58
<b>Figure II.8</b> : Variation de vitesse d'évolution de trait de côte de « EL Kettar » entre (1980-1996).....	59
<b>Figure II.9</b> : Variation de vitesse d'évolution de trait de côte de « EL Kettar » entre (1996-2016).....	60
<b>Figure II.10</b> : Spectre d'évolution du linéaire côtier de « El Kettar » entre (1960-2016).....	62
<b>Figure II.11</b> : Variation globale de vitesse d'évolution de trait de côte de « El kettar » entre (1960-2016).....	62
<b>Figure II.12</b> :Variation de surface d'évolution de « El Kettar » (1960-2016).....	63
<b>Figure II.13</b> : Bilan d'évolution de la surface (perte /gain) côtier de « El Kettar » (1960-2016).....	64
<b>Figure III.1</b> :Choix des directions défavorables au site d'étude (ArcgisEarth , 2016).....	69
<b>Figure III.2</b> :Organigramme du déroulement des étapes de la réalisation de la réfraction .....	70
<b>Figure III.3</b> :Réfraction de la houle pour une direction N 270° et une période de 13.19 s (2016).....	71
<b>Figure III.4</b> :Réfraction de la houle pour une direction N 270° et une période de 14.49 s ( 2016).....	72
<b>Figure III.5</b> :Réfraction de la houle pour une direction N 270° et une période de 15.51 s ( 2016).....	73
<b>Figure III.6</b> :Réfraction de la houle pour une direction N 315° et une période de 9.99 s ( 2016).....	74
<b>Figure III.7</b> :Réfraction de la houle pour une direction N 315° et une période de 11.42 s ( 2016).....	75

<b>Figure III.8:</b> Réfraction de la houle pour une direction N 315° et une période de 12.60 s (2016).....	76
<b>Figure III.9:</b> Réfraction de la houle pour une direction N 360° et une période de 10.88 s ( 2016).....	77
<b>Figure III.10:</b> Réfraction de la houle pour une direction N 360° et une période de 12.37 s (2016).....	78
<b>Figure III.11:</b> Réfraction de la houle pour une direction N 360° et une période de 13.51 s ( 2016).....	79
<b>Figure III.12:</b> Limitation de la zone d'étude pour la création d'un maillage .....	86
<b>FigureIII.13 :</b> Résultante de la mesh file de la zone pour interpoler les données de Bathymétrie.....	86
<b>FigureIII.14 :</b> Création des contours des profondeurs suit à l'interpolation.....	87
<b>FigureIII.15 :</b> Bathymétrie de la zone d'étude de « El-Kettar » (2016).....	87
<b>FigureIII.16:</b> La carte bathymétrique et le tracé des profils dans la zone d'étude ( 2016).....	88
<b>FigureIII.17:</b> Profil bathymétrique n°1.....	89
<b>FigureIII.18:</b> Profil bathymétrique n°2.....	89
<b>Figure III.19:</b> Profil bathymétrique n°3.....	90
<b>Figure IV.1 :</b> Schématisation de l'action des brise-lames (Sogreah , 2016 modifié ).....	98
<b>Figure IV.2:</b> Détermination de la houle de déferlement (wagel 1972).....	101
<b>Figure IV.3:</b> Installation des brise-lames sur la zone « El Kettar ».....	102
<b>Figure IV.4:</b> Schéma du brise-lame immergé proposé pour notre zone d'étude .....	105
<b>Figure IV.5:</b> Schéma d'une digue à talus proposée pour notre zone d'étude .....	109
<b>Figure IV.6:</b> Géotextile et traction ( Sotrashype, 2016).....	111
<b>Figure IV.7:</b> Système de drainage (Sotrashype , 2016).....	112
<b>Figure IV.8:</b> Protection de la falaise de « El Kettar » proposé par Sotrashype, 2016).....	113

# **LISTE DES TABLEAUX**

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau I.1</b> : Variation des températures maximales, minimales (ANRH, 2002 2011).....	36
<b>Tableau I.2</b> : distribution de la température moyenne et de la précipitation moyenne de la station de Bouharoun(2002-2011) (source ONM).....	39
<b>Tableau I.3</b> :Fréquences des vents à la station de Bou-Ismaïl (1956-1960) (LEM).....	41
<b>Tableau I.4</b> :Fréquences mensuelles de la houle au large par direction (source SSMO , Période 1963-1970)(LEM).....	43
<b>Tableau I.5</b> :Fréquences d'apparition des différents états de la mer au large par direction.(LEM).....	45
<b>Tableau I.6</b> :Relation état de mer –Amplitude de la houle (LEM).....	46
<b>Tableau I.7</b> :Probabilité d'apparition de la houle associé aux périodes-direction (LEM).....	46
<b>Tableau I.8</b> :Hauteur des houles extrêmes par secteur de provenance(LEM).....	47
<b>Tableau II.1</b> :Vitesse et taux d'évolution du rivage « El Kettar » entre 1960-1980.....	57
<b>Tableau II.2</b> :Vitesse et taux d'évolution du rivage « El Kettar » entre 1980-1996.....	59
<b>Tableau II.3</b> :Vitesse et taux d'évolution du rivage « EL Kettar » entre1996-2016 .....	60
<b>Tableau II.4</b> :Vitesse et taux d'évolution du rivage « EL Kettar » entre1960-2016 .....	61
<b>Tableau II.5</b> :Bilan de taux de retrait et d'accrétion de « El Kettar ».....	63
<b>Tableau.III.1</b> :Conditions de houles retenues dans le cadre de cette étude (LEM).....	68
<b>Tableau.III.2</b> :Les caractéristiques des houles extrêmes retenues pour la détermination des conditions de houles.....	69
<b>Tableau.III.3</b> :Moyenne de réfraction et Hs des périodes de retour pour les houles biennales .....	82
<b>Tableau.III.4</b> :Moyenne de réfraction et Hs des périodes de retour pour les houles décennale.....	83

<b>Tableau.III.5:</b> Moyenne de réfraction et Hs des périodes de retour pour les houles Cinquantennale.....	84
<b>Tableau.III.6:</b> Résultats du calcul de Hs par direction et par période .....	93
<b>Tableau.III.7:</b> Moyennes des résultats obtenus de l'étude de la réfraction de la houle à la profondeur de 10 m par direction et par période .....	93
<b>Tableau.III.8:</b> Résultats du calcul des fréquences d'observation f % par direction et par période.....	94
<b>Tableau.III.9:</b> Résultats du calcul des durées d'action « t » de la houle par direction et par période .....	94
<b>Tableau.III.10:</b> Résultats du calcul du bilan énergétique annuel par direction et par période .....	94
<b>Tableau.III.11:</b> Résultats du calcul des angles $\alpha$ et les fonctions $f(\alpha)$ par direction et par période .....	95
<b>Tableau.III.12:</b> Estimation du transit sédimentaire globale par période et par directions .....	95
<b>Tableau IV.1 :</b> Proposition pour la longueur des brise-lames (chapon et al , 1987).....	100
<b>Tableau IV.2:</b> Résultats obtenus pour le dimensionnement de la stabilité de la carapace (brise-lame ).....	105
<b>Tableau IV.3:</b> Résultats de dimensionnement d'une digue à talus.....	110

# **Introduction Générale**

Le littoral est un lieu de rencontre, où s'expriment avec la plus grande diversité des écosystèmes façonnés par l'action des houles, du vent et des embruns (Paskoff. R, 2001 in Belloulou et Gana).

C'est un espace à la fois complexe et fragile, limité spatialement par les communes riveraines des mers côté terre, et par le plateau continental côté mer. Son exploitation est donc très large et les pressions induites sur cet écosystème le rend de plus en plus vulnérable et exige une attention particulière.

Le littoral algérien connaît un recul très important de son linéaire côtier ces dix dernières années, dû essentiellement à l'urbanisation qui s'est concentrée et amplifiée autour des grandes villes qui se situent principalement sur le littoral. L'action des hommes de plus en plus importante déforme et dégrade la côte par rapport à ce qu'elle était avant. L'avancée de la mer sur le littoral a connu un élan brutal par les différentes actions des houles et vient accentuer ce déséquilibre côtier.

Plus les côtes sont exploitées, plus le problème de l'érosion prend de l'ampleur et de l'importance. Le piégeage des sédiments par les barrages et les ports mal placés, la mauvaise occupation du rivage, l'extraction abusive du sable, ainsi que la pollution sous toutes ses formes, contribuent et accélèrent le rythme de l'érosion.

La lutte contre l'érosion exige une compréhension adéquate des processus fondamentaux qui entrent en jeu, tels que l'hydrodynamisme, la morphologie Côtière, les facteurs subaériens, et les facteurs anthropiques. Ceci pour aboutir à des solutions adéquates.

La dégradation côtière est un problème que l'on retrouve dans le monde entier, notre littoral n'est malheureusement pas épargné par ce phénomène de plus en plus fréquent sur nos côtes. Le danger de voir nos plages se défigurer et perdre de leur biodiversité est aujourd'hui encore plus réel, atteignant un niveau suffisamment alarmant pour que les autorités se décident à mettre en œuvre une stratégie qui permettra leur reconstitution et Leur protection. C'est aussi l'objectif principal de notre étude qui va porter sur la protection du site qui se situe à l'ouest du port de Cherchell «**El Kettar**»

La ville de Cherchell est située à une centaine de Kilomètres à l'ouest d'Alger. Elle est entièrement construite sur une falaise située à une vingtaine de mètres au dessus du niveau de la mer. L'absence de protection au pied de la falaise contre les effets de la mer et le manque de réseau d'assainissement a conduit à une érosion de talus pouvant entraîner la mise en

danger des habitations surplombant la falaise Ouest du port. Le site de Cherchell fait partie de la côte de la Wilaya de Tipaza à protéger.

«**El Kettar**» qui s'étend sur 600 m, connaît depuis quelques années un réel problème d'érosion qui a pour cause notamment les aléas naturels (forçage des houles) et implantation de l'homme sur ce littoral. Ainsi et en conformité avec la loi 02 – 2 du 05 Février 2002 relative au littoral .Cette agglomération a été touchée par la servitude Interdisant la construction dans les 100 m depuis la mer .Mais ceci n'est malheureusement pas respecté au niveau de sa bande littorale.

Sur demande de la DTP de la Wilaya de Tipaza, une étude en vue de l'élaboration d'une solution de protection pour cette zone à été effectuée, le but de notre étude est non seulement d'évaluer l'érosion au niveau de cette zone mais aussi de trouver un aménagement répondant aux critères exigés par la DTP et en tenant compte des caractéristiques du site.

Notre travail a été partagé en trois grands volets :

- Une collecte de données de base et de terrain.
- Une étude analytique des données avec présentation des résultats.
- Des propositions de solutions d'aménagement et de protection.

Pour mener à bien ce travail, nous avons effectué une recherche bibliographique (ENSSMAL). Nous avons sollicité certains organismes notamment la DTP de la Wilaya de Tipaza, ainsi nous avons exploité la documentation, traitant du sujet, fournie par le LEM (Laboratoire d'études Maritimes). Ainsi pour élaborer cette étude, nous avons suivi le plan de travail :

- le premier chapitre :Traite des généralités sur la zone d'étude « El Kettar » et ses différentes caractéristiques géologiques, climatologiques .... Etc.

- le deuxième chapitre : Porte sur l'étude de la variation de la ligne de côte depuis 1960 jusqu'à l'année 2016.

- le troisième chapitre : Concerne l'étude hydrodynamique et bathymétrique.

- le quatrième chapitre :Propose des solutions d'aménagements dans lesquelles on parlera des ouvrages maritimes.

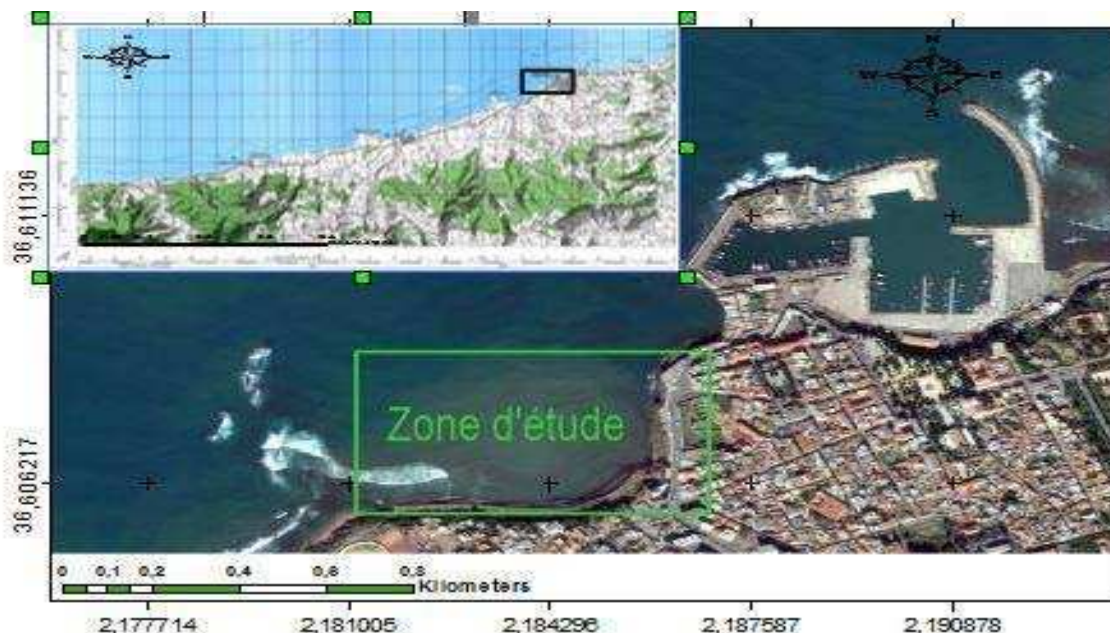
**CHAPITRE I :**  
**PRESENTATION DE LA**  
**ZONE D'ÉTUDE**

## Introduction

Cherchell est une Daïra de la wilaya de Tipasa. Elle fut l'une des plus importantes cités du littoral occidental de l'Afrique du nord antique, Le choix porté sur la ville de Cherchell n'est pas fortuit étant donné que cette région constitue un pôle touristique de plus en plus important dans le pays, avec ses deux musées dédiés aux vestiges romains, son port de pêche et la découverte d'un canon de 02 mètre de long. Elle est aussi caractérisée par ces prestigieuses plages « mer et soleil » de Tizirine qui faisait la fierté des Cherchellois, et celle de Sidi Braham el Ghobrini, ainsi que celle de la petite plage située à proximité du port, aujourd'hui défigurée par l'extension monumentale du port de Cherchell.

### I.1. Situation géographique

Cherchell s'étend sur une superficie de 130 km<sup>2</sup> dans la partie ouest de Tipaza. Elle est située à une distance d'environ 100 km d'Alger, 20 km de Tipaza. Elle est délimitée au Nord par la mer méditerranée, et à l'ouest par la commune de Sidi Ghiles, au Sud – Est par Ennadour, au Sud par la commune de Sidi Amar et à l'est par la commune de Tipaza. La zone d'étude El-Kettar forme le prolongement Ouest du port de Cherchell, elle s'étend sur un linéaire côtier d'environ de 600m. Ses coordonnées géographiques : Latitude Nord 36°36'21" , longitude Est 2°11'9". (Voir **figure I.1**)



**Figure I.1** : Situation géographique de la zone d'étude (ArcgisEarth, 2016)

**I.1.1. Description de la zone d'étude****-Description socio-économique**

Les habitants de cette zone sont très simple et modestes, ils vivent de la pêche, des revenus de l'agriculture et de l'artisanat, quelques commerces traditionnels, ou de la location d'une partie de leur maison pour les estivants en été. Les caractères sont à prendre en considération surtout lors de la proposition des variantes, pour ne pas perturber les coutumes de la zone et de booster la culture du tourisme avec des espaces bien aménagés pouvant constituer une source de divertissement et de détente.

**-Description morphologique**

La zone d'étude « El kettar » présente un tracé légèrement convexe ou l'érosion la plus forte a lieu dans sa partie centrale en raison d'une mauvaise stabilité. La crête de la falaise atteint presque 20 m au-dessus du niveau de la mer.

**I.1.2. Enquête sur site**

Après avoir effectué deux visites sur notre site (Avril et mai 2016) et en interrogeant des personnes d'un âge avancé habitants près du site. D'après eux et ce que nous avons constaté nous-mêmes, la zone est très polluée par les rejets qui se déversent directement en mer :

- ✿ Rejet de l'Académie militaire sous le monument de « Bab El Gharb », le propriétaire de la société Furuno de vente de matériels de radionavigation a réorienté ce rejet d'une dizaine de mètres car il se trouvait au milieu d'habitations. Il a aussi réalisé des aménagements en béton armé pour reconforter la falaise et il a aménagé deux sources d'eau potable, le contrôle de qualité de ces sources se fait par l'APC.
- ✿ Rejet du centre –ville et « El kettar », se trouve sous les arrêts de bus et à quelques dizaines de mètres des ruines romaines.

Par la force des choses à des endroits elle est devenue un véritable dépotoir et même pour certains un endroit de beuverie ou s'amoncellent une grande quantité de bouteilles d'alcool. Nous avons aussi remarqué tout le long de la falaise des

constructions à usage d'habitation ou commercial parfois même au ras de la falaise, défiant les lois maritimes et les dangers que représente cette dernière et surtout le séisme.



**Figure I.2 :** Une embouchure d'eaux usées dans la zone



**Figure I.3:** Embouchure d'eaux usées dans la zone absence d'un réseau d'assainissement



**Figure I.4:** Etat de la pollution de la falaise par les déchets domestiques.

## I.2. Contexte géomorphologique et géologique

La connaissance de la géologie et la géomorphologie locale d'un site permet de définir sa sensibilité face aux agressions marines. En effet, l'aspect géologique et géomorphologique apporte un complément indispensable dans le diagnostic de la zone d'étude, ce dernier réalisé en vue d'apporter des éléments de réponse sur les différents phénomènes d'érosion susceptibles d'être observés sur la zone.

**I.2.1 Cadre géologique ( DTP de la wilaya de Tipasa,2012 )**

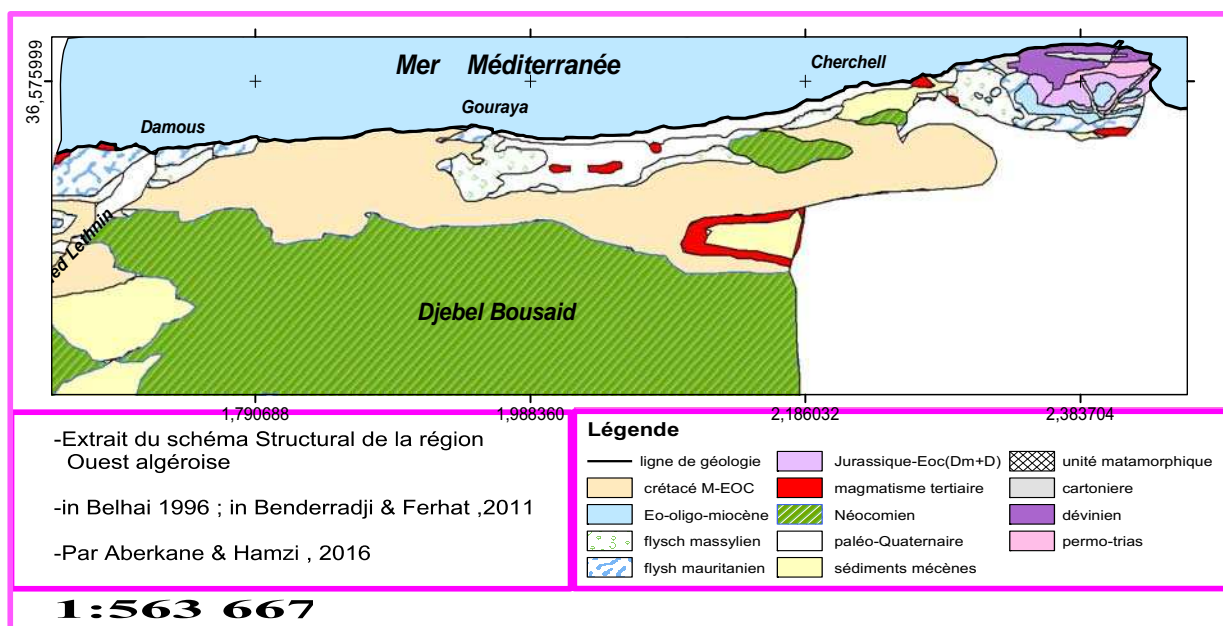
**I.2.1.1 Géologie régionale**

Géologiquement , la commune de Cherchell appartient au secteur compris entre Chelif et Ténès d'une part Khemis Miliana d'autre part , elle comprend structuralement une zone de nappes représentées par des flysch et l'unité supérieure allochtone , une zone autochtone représentée par l'unité inférieure dite de Bou Maad et une zone post – nappe représentée par les formations néogène .

Les formations de plus récentes au plus anciennes rencontrées dans notre secteur d'étude sont les suivantes :

**1. Actuel :** constitué de matériel en mobilisation formant les lits des oueds, des plages et dunes.

**2. Le quaternaire :** ces terrains sont généralement meubles formés par des alluvions constituant des vallées de l'oued El Hachem et oued El Bellah , ainsi que la bande côtière ,quant au pléistocène marin , il est formé par des grès calcaire littoraux ou dunaires ,des lumachelles et de conglomérats de plage , il affleure sur le littoral et au sud de chenoua.



**Figure I.5:** Schéma structural de la géologie régional Cherchell (repris de Belhai 1996, in Benderradji et Ferhat ,2011).

### I.2.1.2. Géologie locale

Les reliefs dominants, aux environs du site, culminent à 500 m d'altitude, ils sont constitués de flysch, partiellement masqués par des horizons conglomératiques et marneux, d'âge miocène post-nappes.

Entre Cherchell et Gouraya, le substratum est presque complètement masqué par des formations quaternaires (colluvions, éboulis, alluvions et formation de plage), sur la plaine côtière, qui atteint localement, 1 km de large. Cependant, quelques affleurements sont visibles, notamment, au niveau du site de HadjretEnnousse, le long des falaises de bord de mer, qui terminent des plateaux, recouverts par des colluvions quaternaires. La terrasse de 15/20 mètres présente des surfaces horizontales importantes et un bon sol favorable à la culture, c'est sur cette terrasse que sont bâties les localités importâmes de la côte (Cherchell, Gouraya) et que c'est concentrée principalement L'activité dans la région côtière, elle est parcourue par les routes de la côte. Toute la zone est constituée de terrasses du quaternaire marin et continental. Les vallées larges, à fond plat remblayées par des alluvions récentes de l'oued Damous et de l'oued Hachem sont utilisées pour la culture par suite de l'horizontalité du sol et de la facilité des irrigations.

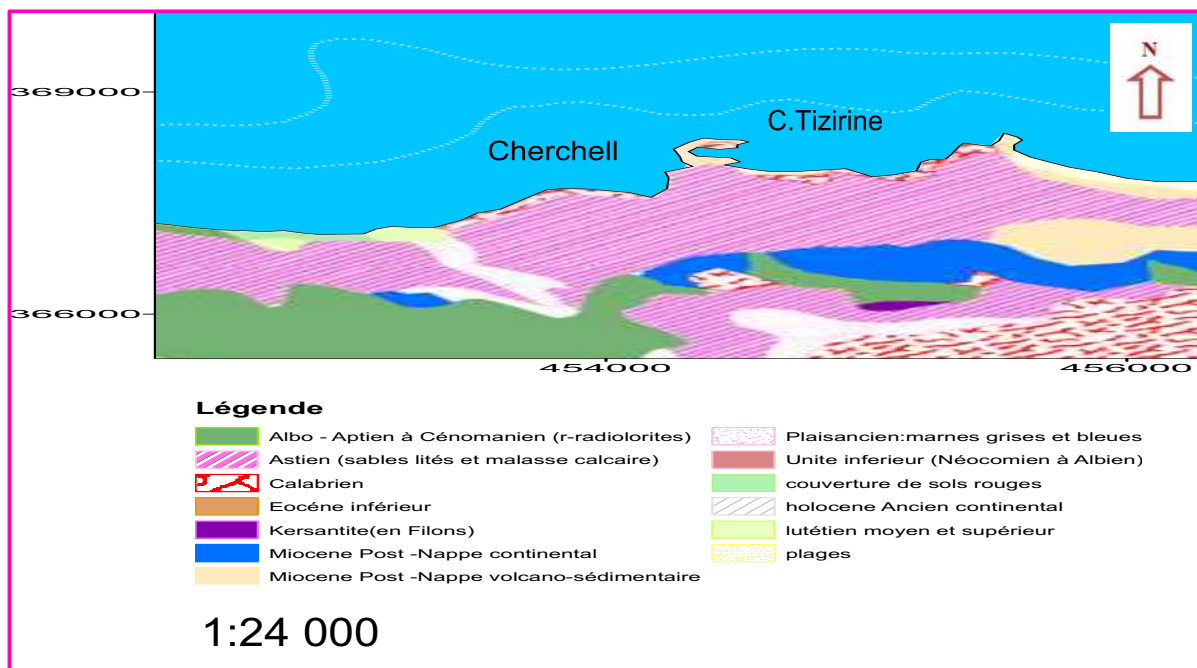


Figure I.6 : Géologie locale du Cherchell ( repris du Ministère de l'industrie Lourde –Direction des mines et de la géologie ).

## I.2.2. Cadre géomorphologique

« El kettar » correspond topographiquement à un palier surplombant le niveau zéro actuel, il matérialise un plan incliné vers le large tronqué en plateforme qui correspond à un trottoir de lithophyllum situé au ras de l'eau. Ce platier est constitué de grès dunaire lapidifié d'aspect graveleux et de couleur jaunâtre, par-dessus s'agence des dépôts continentaux de couleur rosée limono-sableux.

La zone Ouest se caractérise par une falaise abrupte dont la hauteur diminue d'Est en Ouest et la crête varie entre +16.00 m et +22.00 m NGA, la morphologie de la falaise est assez hétérogène et présente à flanc de parois des niveaux plus ou moins durs et des bancs de grès consolidés : les bancs durs donnent des plaques rocheuses qui constituent un éboulis en pied de falaises. Les blocs d'éboulis protègent momentanément la base de la falaise, avant d'être érodée. (LEM, 2012)

## I.3. Données climatologiques et hydrologiques

### I.3.1. Le climat

La ville de Cherchell comme l'ensemble de la côte algérienne est caractérisée par un climat méditerranéen tempéré ; relativement froid et humide en hiver, chaud sèche en été.

#### I.3.1.1. La température

L'inertie thermique de la mer atténue les contrastes thermiques quotidiens ou saisonniers, ainsi un traitement des données concernant les températures est nécessaire, le tableau suivant (Tableau I.1) représente les températures moyennes annuelles maximales et minimales en (°C) :

**Tableau I.1.** : Variation des températures maximales, minimales (ANRH, 2002-2011)

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
T°MAX	22.5	23.9	25.5	24.3	24.6	26.7	29.1	27.8	29.5	29.1
T°MIN	11	12.2	15	20.1	23.4	25	23.9	15	14.9	12.1
Températures moyennes	13.4	13.7	20	22.1	21.4	25.8	23	20	16	14.9

Les valeurs moyennes de température varient entre 13.11°C et 26.5°C, et une moyenne générale de 18.84 °C.

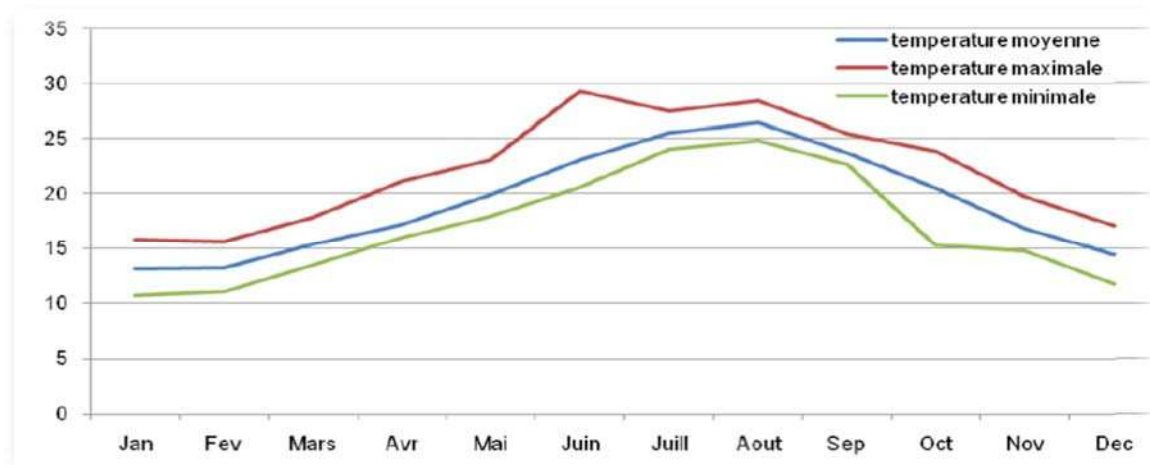


Figure I.7 : Distribution des températures (station de Bouharoun, 2002 – 2011)

### I.3.1.2 précipitations

La zone d'étude est soumise à un climat méditerranéen, caractérisé par des pluies qui sont fréquentes en automne et en hiver et diminuent dès la fin du printemps et deviennent presque nulles en été.

#### a- Régime annuel des précipitations

D'après les précipitations annuelles on remarque un écart de près de deux fois d'une année à l'autre. En 2002, les pluies ont atteint 839 mm, alors qu'en 2005, il n'a plus que 332 mm. Ceci montre l'irrégularité des pluies. La pluviométrie moyenne interannuelle est de 480.69 mm.

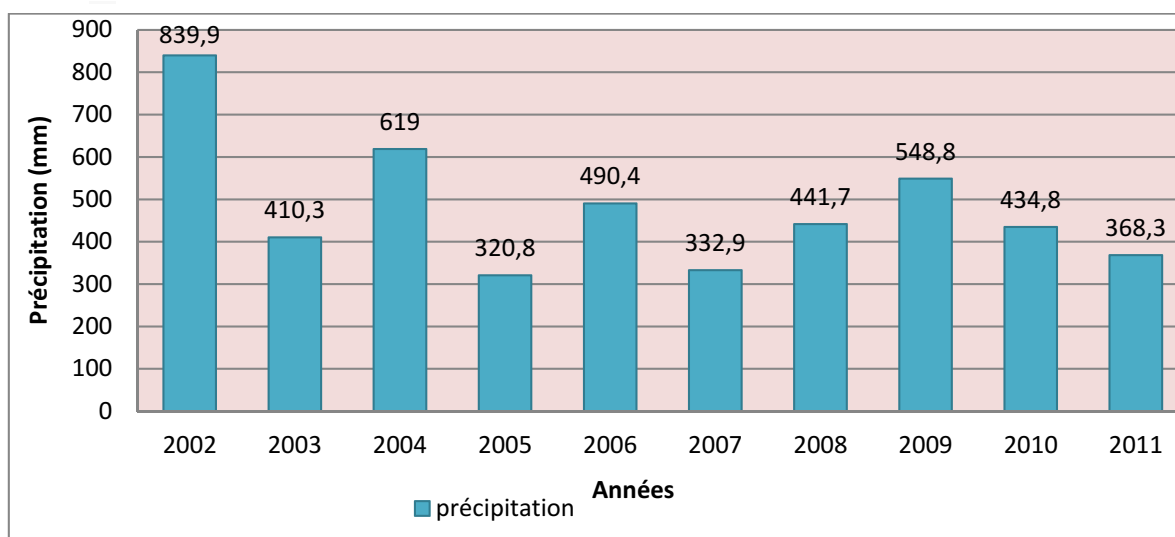
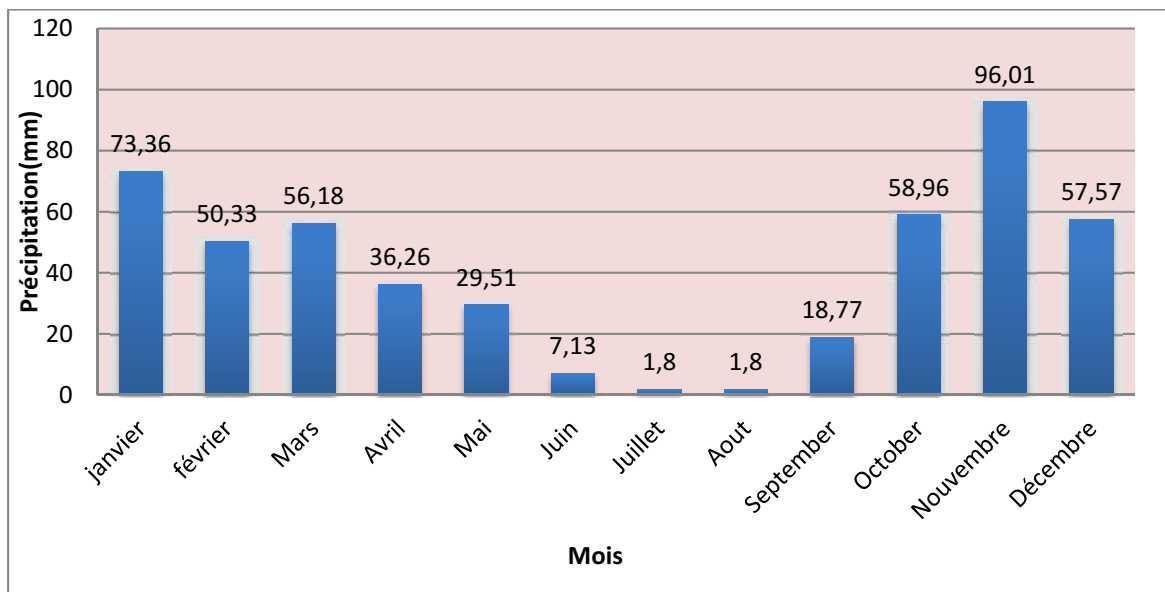


Figure I.8 : Evolution des précipitations annuelles entre 2002-2011(ANRH)

## b-Régime mensuel des précipitations

On distingue deux saisons humides :

La première allant du mois d'octobre au mois de janvier ou la moyenne mensuelle maximale atteint 71 mm. La deuxième plutôt sèche allant du mois de juin au mois de Septembre avec un minimum de 7.37 mm. Il existe cependant une période transitoire entre Février et mai ou les précipitations moyennes varient entre 29 et 50 mm, la pluviométrie moyenne mensuelle est de 38.42 mm.



**Figure I.9:** évolution des précipitations mensuelles entre 2002 -2011 (ANRH)

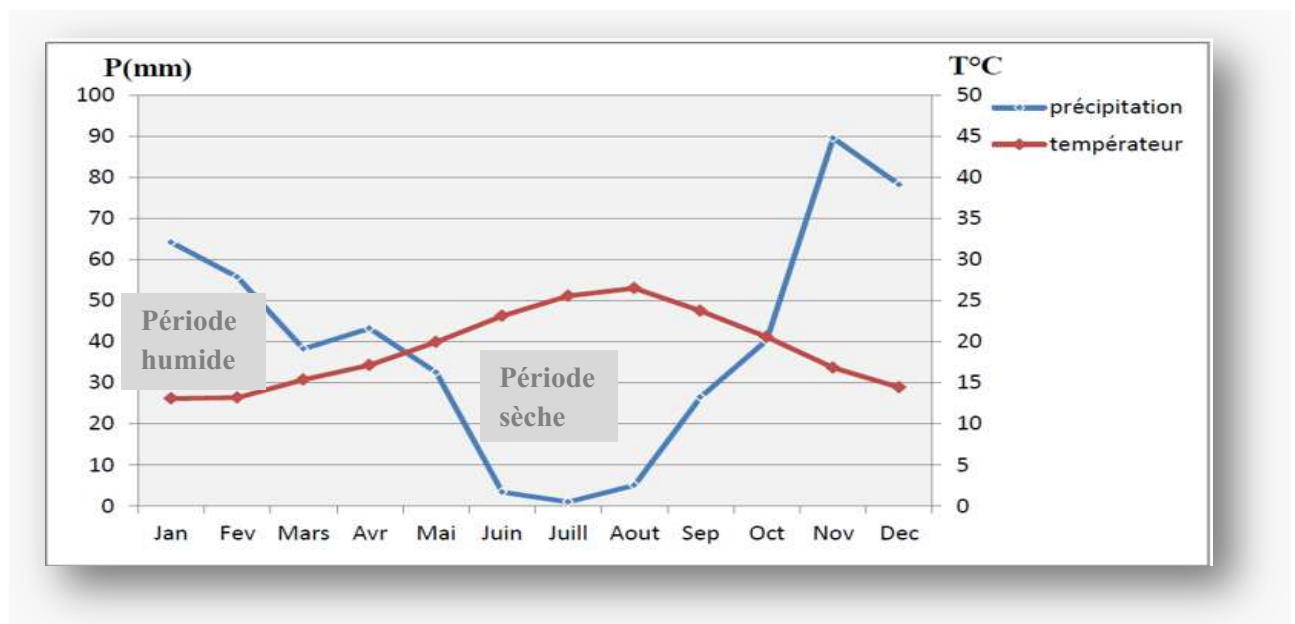
En conclusion, Les écarts inter annuels et inter saisonniers des précipitations peuvent provoquer des déséquilibres de la côte et se présentent donc comme un facteur favorisant l'érosion marine.

La relation entre ces deux données (température, précipitation) nous a conduit à établir le diagramme ombrothermique de bagnouls et Gausson afin de déterminer les saisons sèches et humides de notre zone d'étude.

Un mois est biologiquement sec lorsque le rapport ( précipitation (P) / température (T) ) est inférieur à 2 (sur la base de l'équation  $P=2T$ ).

**Tableau I.2** : Distribution de la température moyenne et de la précipitation moyenne de la station de Bouharoun (2002 -2011)(source ONM).

	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	juill	aout	Sep	Oct	Nov	Déc.
<b>Précipitation</b>	64.12	55.81	38.33	43.27	32.66	3.44	1.12	5.09	26.55	40.44	89.50	78.15
<b>T(°C)</b>	13.20	13.30	15.39	17.19	19.98	23.19	25.66	26.80	23.83	20.60	17.01	14.66



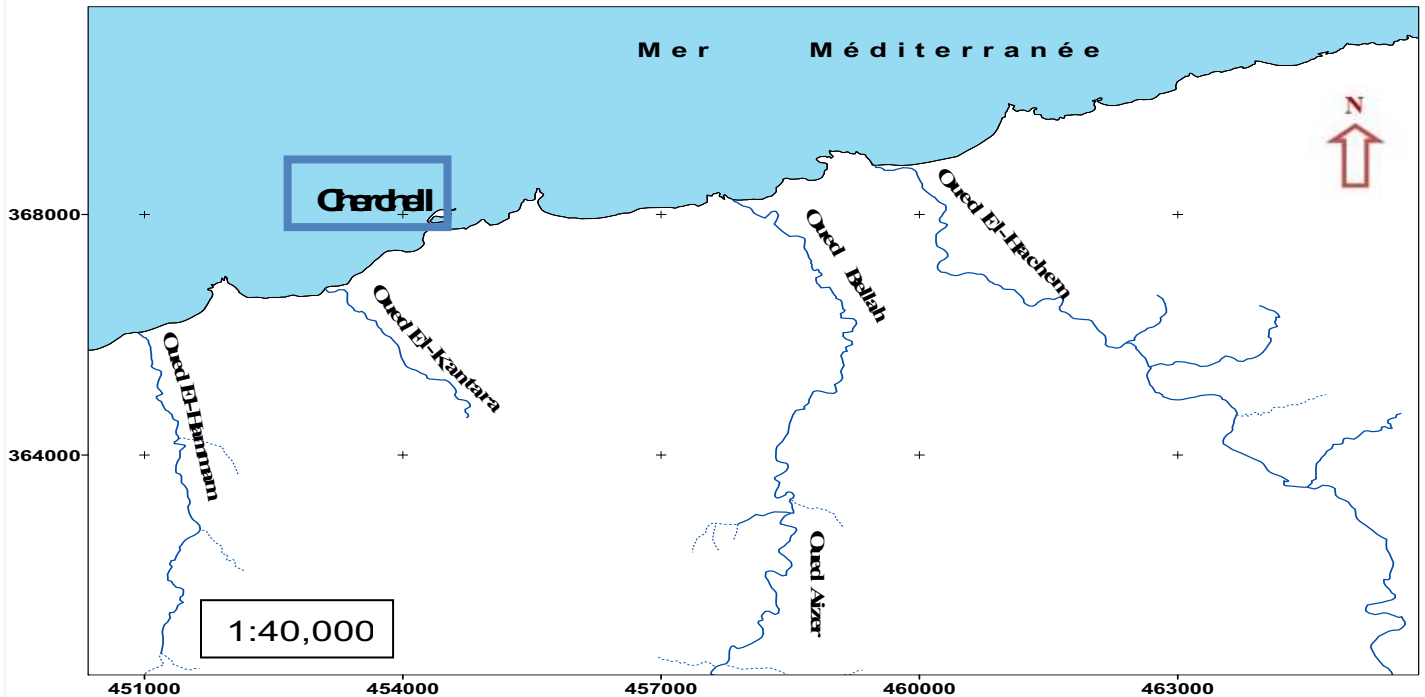
**Figure I.10** : Diagramme ombrothermique de Gaussen Bouharoun (2002-2011)

L'analyse du diagramme (figure I.10) montre que la période sèche est d'environ 06 mois. Elle s'étend de mai jusqu'à octobre, tandis que la période humide, s'étend du début octobre jusqu'à la fin avril.

### I.3.2.hydrologie

L'hydrologie conditionne le transport sédimentaire, par ruissellement et écoulement, du matériel détritique produit par les versants . Elle est donc le vecteur des apports sédimentaires à la côte. Cherchell est traversée par cinq principaux cours d'eaux qui sont respectivement d'est en ouest les oueds : El – Hachem , Aizer , Bellah , El – Kantara et El Hammam ,cette intensité du réseau est liée surtout à la topographie d'une part et la nature lithologique de sol d'autre part . Ces oueds, qui peuvent avoir un régime très

prononcé lors de la saison des pluies, prennent naissance dans les montagnes environnantes tels les Monts Chenoua à l'est et Bou - Maad au sud et se jettent dans la mer, les deux principaux oueds sont l'oued El Hachem et Bellah qui ont un débit pérenne de l'ordre de 5 à 10 m<sup>3</sup>/h en saison sèche.(voir **figure I.11**).



**Figure I.11** : carte représentant les réseaux hydro/gragraphiques (Extraite de la carte topographique de Cherchell (source INCT,1960)

## I.4.Contexte hydrodynamique

### I.4.1.les données météorologiques (vent)

L'analyse du régime des vents est effectuée à partir de deux sources de données météorologiques :

- La station de Bou-Ismaïl pour la période 1956-1960 ;
- Les observations faites au large des côtes algériennes entre 37° et 40° de latitude nord et 0° et 5° de longitude Est, par l'US Naval Weather Service Command qui sont compilées dans le document S.S.M.O (Summary of Synoptic Meteorological Observations) pour la période 1914-1970.

### ✚ La station météorologique de Bou-Ismail (1956 -1960)

Les directions de vents sont présentées sous la forme de 3 roses récapitulatives : annuelle, hivernale et estivale. Les fréquences des vents sont reprises dans le tableau présenté ci – après :

Les fréquences des vents annuelles, hivernales et estivales sont représentées dans le tableau ci –après :

**Tableau I.3** : Fréquences des vents à la station de Bou-Ismail (1956-1960)

Direction	Annuelle	Hivernale	Estivale
Nord Est à Est	18.80%	12.20%	23.40%
Nord Nord Ouest	23.30%	27.50%	19.00%
Ouest	8.40%	8.50%	8.20%
Sud sud Est	7.50%	2.20%	3.60%
Vents nuls	11.60%	6.40%	16.80%

L'analyse globale des cinq années d'observations montre une prédominance des vents des secteurs Nord – Nord Ouest et Nord –Est.

### ✚ Observations des vents au large (données du S.S.M.O -1914 à 1970)

Ces roses montrent que, pendant l'hiver (Octobre à Mars) les vents des secteurs Ouest et Sud Ouest sont dominants avec une fréquence allant de 60 à 80 % et qu'une grande partie de ces vents présentent une vitesse supérieure à 16 nœuds (8 m/s). Les vents de secteur Est et Nord Est sont dominants au cours de l'été avec des fréquences de 45 à 75 % pour le secteur Nord Est, mais la majorité de ceux –ci ont des vitesses inférieures à 16 nœuds.

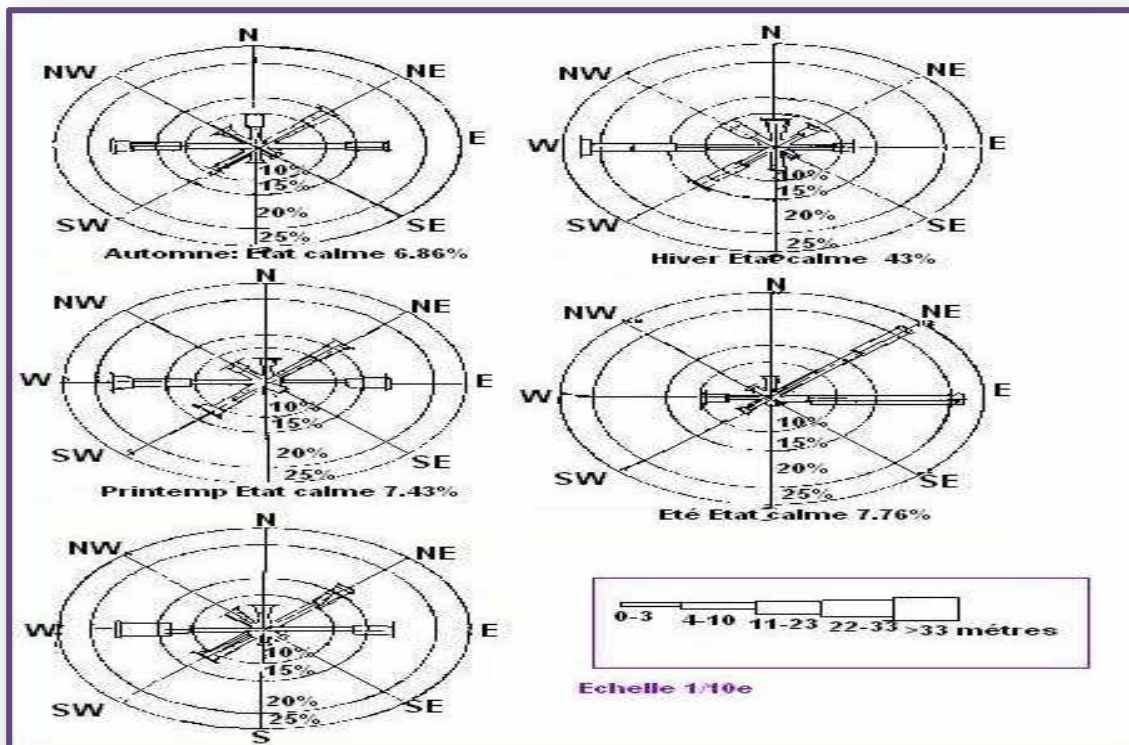


Figure I.12: Rose trimestrielle des vents (données SSMO , 1914-1970)

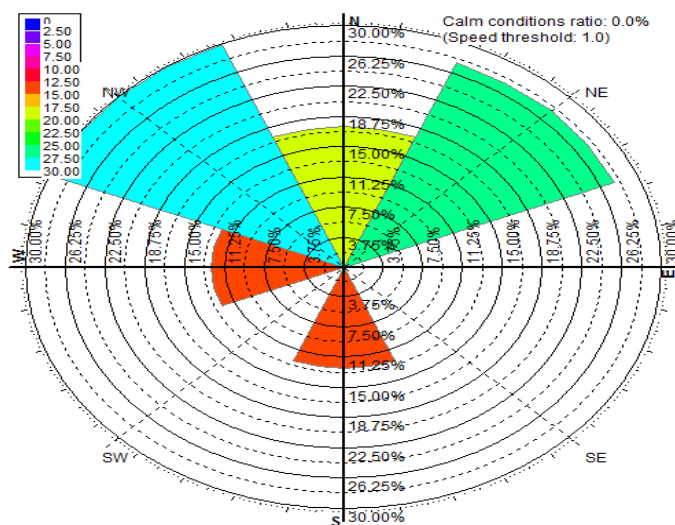


Figure I.13: Rose des vents annuelle (station de Bousmail )

### I.4.2 Les données océanographiques

Plusieurs facteurs océanographiques, comme l'élévation du niveau marin ou la marée entraînent une évolution du littoral mais l'énergie la plus forte sur le littoral est liée à la houle, agent essentiel responsable des processus dynamiques dans le domaine côtier.

### I.4.2.1 La houle

La houle est le facteur le plus important dans la dynamique sédimentaire des petits fonds. La direction de propagation de la houle est liée à celle du vent, longueur d'onde de la houle (Bonnefille, 1980).

On a pu disposer des données de houles au large de l'U. S. Naval Weather Service Command intitulé «Summary of SynopticMétéorological observation» (S.S.M.O) pour une période s'étalant de 1963-1970, et qui couvrent un secteur qui se situe en longitude Est de 2° à 5° et en latitude Nord de 36.5° à 38° (tableau n°4), permettant d'effectuer une analyse statistique de la houle au large de la région de Cherchell qui est situé par 2°11''E et 36,5°N appartient donc au secteur de houle présenté par le SSMO.

#### I.4.2.1.1 Houle au large

Une analyse statistique des données de base des houles permet de définir les secteurs des houles prédominantes et leurs amplitudes respectives

#### Fréquence mensuelles de la houle au large par direction

**Tableau I.4** : Fréquences mensuelles de la houle au large par direction (SSMO, période 1963-1970)-(LEM, 2012)

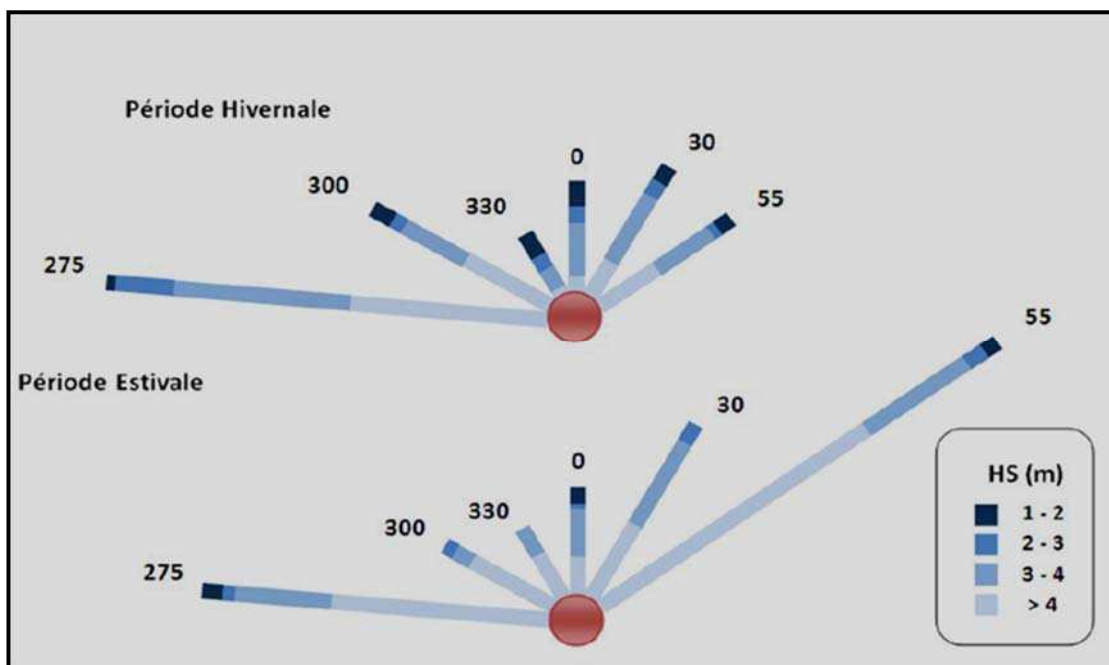
Mois	DIRECTION DE LA HOULE							
	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
Janvier	8.10	12.90	18.20	5.00	6.50	13.20	28.80	7.30
Février	8.80	10.30	12.60	4.00	6.10	16.90	35.60	5.80
Mars	11.30	12.60	15.80	3.60	4.50	12.30	30.50	9.20
Avril	11.70	15.40	16.00	2.00	4.40	13.70	26.70	10.20
Mai	8.20	26.30	31.90	3.00	3.30	7.20	13.90	6.20
Juin	9.20	29.10	29.80	1.80	1.40	8.20	16.40	4.20
Juillet	5.90	32.50	35.10	1.40	1.00	5.90	16.30	2.00
Août	8.80	27.70	37.30	1.90	1.10	5.00	13.40	4.90
Septembre	6.70	26.40	40.50	2.20	2.30	4.60	14.80	2.50
Octobre	7.80	14.10	20.30	3.20	4.20	14.80	28.80	6.80
Novembre	5.50	5.80	10.00	5.10	8.00	15.90	40.40	9.40
Décembre	10.20	6.20	9.40	4.60	7.50	15.00	37.10	10.00

Les résultats de cette analyse groupée dans le tableau (I.4) ci-dessus montrent ce qui suit :

Les houles les plus fréquemment observées appartiennent aux secteurs Ouest, Est et Nord Est. La fréquence d'observations sur l'année des houles d'Est et d'Ouest sont sensiblement identiques avec toute fois une légère prédominance du secteur Ouest. En été, les houles d'Est prédominent alors qu'en hiver le secteur d'Ouest est privilégié. Le secteur Nord a une répartition assez régulière durant l'année.

La répartition des houles est globalement concordante avec le régime des vents :

- ❁ En hiver : Les houles d'Ouest dominant avec la majorité des amplitudes sont entre 1 et 3 m pouvant atteindre les 4 m, elles engendrent des courants de retour qui entraînent les sédiments vers le large (Boutiba, 1996 in Benderradji et Ferhat, 2011).
- ❁ En été : les houles les plus dominantes sont issues du secteur Nord-est avec des amplitudes moins faibles, et on remarque aussi que les houles de secteur Ouest sont assez importantes, elles engendrent une dérive littorale de l'Est vers le Sud-Ouest.



**Figure I.14** : Roses récapitulatives de direction des houles au large du secteur (275°-55°) source : K.N.M.I in Zemenzer

2004




L'analyse des données du S.S.M.O présentées sous forme de (tableau.4. ) celles du K.N.M.I (Institut météorologique royal Néerlandais), (Figure I.14) confirment parfaitement cette répartition :

### Relation amplitude-direction de la houle

**Tableau I.5** : Fréquences d'apparition des différents états de la mer au large par direction  
(LEM, 2012)

ETAT DE LA MER AU LARGE (DEGRES)	DIRECTION DE LA HOULE				
	OUEST	NORD OUEST	NORD	NORD EST	EST
<b>Calme</b>	2,90%	1,10%	2,00%	2,70%	4,00%
<b>0</b>	6,20%	2,00%	2,90%	7,00%	9,30%
<b>1</b>	10,90%	2,70%	2,60%	7,50%	9,10%
<b>2</b>	4,30%	0,60%	0,70%	1,20%	0,90%
<b>3</b>	0,90%	0,10%	0,10%	0,00%	0,10%
<b>4</b>	0,30%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
<b>TOTAL</b>	<b>25,50%</b>	<b>6,50%</b>	<b>8,30%</b>	<b>18,40%</b>	<b>23,40%</b>

D'après le tableau on remarque que :

-  L'agitation provenant du secteur Ouest et Est la plus fréquente, pour les fortes houles le secteur Ouest prédomine.
-  Pour le secteur Nord et Nord Ouest, les fréquences d'apparitions sont faibles.
-  Les houles de tempêtes proviennent essentiellement du secteur Ouest.

### Etat de la mer

L'état de la mer est caractérisé par les degrés suivants correspondants aux amplitudes données dans le tableau suivant :

**Tableau I.6:** Relation état de mer –Amplitude de la houle (LEM,2012)

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

Il en découle des tableaux que la fréquence des houles dont l'amplitude est supérieure à 3.75 m est de l'ordre de 0.30%.les calmes sur l'année représentent 12.75%.

Sur l'ensemble des houles observées, il a été également constaté que 75% des cas présentent une période courte (inférieure ou égale à 7 s) ; seul 3% ont une période qui varie de 10 à 13 s.

### **Caractéristiques de la houle au large**

On définit par (Pn) , la probabilité d'apparition d'une houle avec une amplitude donnée,associée à la période de retour par la relation suivante :

$$P_n = 1/3 \times 360 \times n \quad \text{Avec } n : \text{période de retour}$$

Dans le tableau suivant sont représentés les résultats obtenus :

**Tableau I.7:** probabilité d'apparition de la houle associé aux périodes –direction.

(LEM, 2012)

Période de retour	Probabilité associées
Biennale	4.57 10-4
Quinquennale	1.83 10-4
Décennale	9.13 10-5
Vingtennale	4.57 10-5
Cinquantennale	1.83 10-5

Les caractéristiques des houles extrêmes sont, par secteur de provenance et pour toutes directions confondues, les suivantes :

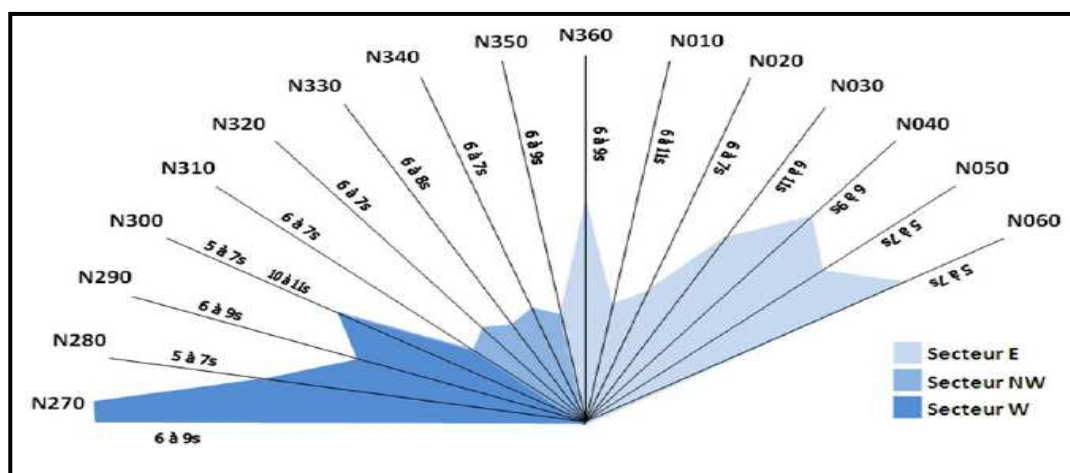
**Tableau I.8 :** Hauteur des houles extrêmes par secteur de provenance (LEM,2012)

Direction De Houle	Est	Nord Est	Nord	Nord Ouest	Ouest	Toutes Directions
Biennale	4.12m	4.93m	4.90m	4.16m	7.36m	7.44m
Décennale	5.14m	6.23m	6.38m	5.40m	9.22m	9.02m
Cinquantennale	6.17m	7.53m	7.87m	6.65m	11.08m	10.60m

En conclusion, plus de 80 % des houles appartenant au secteur Ouest –Nord Ouest prédominent en hiver avec des périodes variant entre 8 et 9 secondes, et atteignent les valeurs maximales de 13 s en période de tempêtes.

L'amplitude moyenne la plus fréquente est de 2 à 3 m, des houles peuvent atteindre des amplitudes maximales de 4 à 6.

Pendant l'été, les houles de directions Nord –Nord Est se distinguent par une période moyenne de 6 à 7 s et une amplitude de 0.50 à 1.50 m, près de 50% des houles ont des périodes de 6 à 9 s n'atteignant que rarement 3 m d'amplitude. Pour une période de 6 s la longueur d'onde des houles d'été est 130 m et la célérité de 10 m/s.



**Figure I.15 :** Répartition des énergies des houles en fonction de la direction et des périodes les plus courantes (source : K.N.M.I in Zemenzer 2004 in Benderradji et Ferhat ,2011)

Les données de (tableau I.9) concordent avec celles observées auparavant (tableau I.4), pour les périodes de retour biennales on observe que ce sont les houles essentiellement de direction Ouest qui sont les plus énergétiques avec une valeur de 7.36 m. Par contre les houles de direction Est sont les plus faibles avec des valeurs même centennales ne dépassant pas 7 m.

### I.4.2.2. Les courants

#### I.4.2.2.1. Les courants de retour

Au contacte de la côte, le courant existant au lieu du déferlement engendre des courants de retour, leurs vitesses dépendent de l'énergie de la houle et de la pente de la plage. Ces courants sont les responsables de la dispersion d'une partie des sédiments côtiers vers le large.

#### I.4.2.2.2. Les courants de dérive littorale

Les courants de dérive littorale prennent naissance au niveau de la zone de déferlement où l'énergie est maximale. Ils permettent la mise en suspension des sédiments et leur transit le long de la côte.

Dans le cas de houles de petites et moyennes amplitudes ces courants ne sont significatifs que dans la zone de déferlement (Caulet 1972) et n'affectent donc que le triage des sables et graviers de la frange littorale (fonds à -10m). La vitesse de ces courants, induits par les houles, est donnée par la formule suivante :

$$V = K \sqrt{gH / T_i \sin 2\alpha} \quad (\text{Berthois, 1969 in CIRIA.CUR.CETMEF, 2009) .I.1.}$$

Avec :

- K : coefficient qui dépend de la rugosité du fond, il est pris égal à 2.6.
- g : accélération de la pesanteur,  $g = 9.81\text{m/s}$ .
- T: période des houles(S).
- I: pente du fond(%).
- $\alpha$  : Angle d'incidence des houles(degré).
- H:amplitude des lames déferlantes(m).

### I.5. La problématique de l'érosion

Le Site de Chercell qui fait partie des sites de la côte de la Wilaya de Tipaza à protéger, est composé de deux zones particulièrement distinctes l'une de l'autre. Les deux zones se situent de part et d'autre du port. La zone Ouest qui est de loin la plus dégradée se caractérise par une falaise abrupte dont la hauteur diminue d'Est en Ouest. L'érosion a eu pour conséquence de mettre en danger certaines des habitations sur montant de la falaise. A la suite des différentes visites que nous avons effectuées, il a pu être conclu que l'érosion de la falaise est principalement due à deux phénomènes :

- Absence de la protection de la falaise fait que le pied est attaqué directement par la houle.
- L'absence d'un réseau d'assainissement a conduit à une infiltration des couches perméables par les eaux usées domestiques et par conséquent, a amoindri la stabilité d'ensemble de la falaise. Les facteurs naturels se traduisent par un transport sédimentaire causé par les houles qui par l'énergie qu'elles dissipent à l'approche de la côte et suivant l'obliquité de leurs attaques vis-à-vis le rivage provoquant des transits perpendiculaires à la zone, et puisque aucune alimentation plus ou moins importante ne vient compenser ce transit, celui-ci à, par des quantités importantes de matériaux mises en mouvement, entraîne un déficit sédimentaire et une érosion au pied de la falaise, en absence de végétation en talus dans le site Ouest.

### Conclusion

La dégradation de la zone d'étude qui se manifeste par l'érosion du linéaire côtier lié essentiellement à la géomorphologie de la falaise qui se représente par la nature et la structure de la roche.

L'étude géologique illustre une lithologie peu résistante d'une part, d'autre part la zone connaît des houles énergétiques en particulier celles de la direction Ouest et Nord-Ouest en causant une érosion intensive ce qui mène à menacer les infrastructures notamment lors de la période de tempête.

La présence des facteurs anthropiques a tendance à accélérer le processus du phénomène notamment s'il s'agit d'absence d'un réseau d'assainissement ce qui rend la falaise instable et qui provoque des problèmes d'ordre environnemental.

**CHAPITRE II :**  
**ETUDE DE LA VARIATION DU**  
**TRAIT DE COTE DE "EI**  
**KETTAR" ENTRE**  
**(1960 – 2016)**

## **Introduction**

La mobilité du littoral implique un déplacement du trait de côte dans l'espace et, en même temps, un changement de sa forme. (Regnauld.H, 1999).

La vitesse d'évolution de la morpho dynamique du littoral, au cours du temps, s'accélère ou diminue par rapport aux processus physiques, mais l'artificialisation des espace côtiers rend sa structure plus vulnérable en altérant sa stabilité. La présence de la ville de Cherchell sur relief marin a conduit à la modification de la mobilité naturelle de la cote, aussi la sur-fréquentation touristique, l'envasement des infrastructures et l'urbanisation ont contribué à défigurer la morphologie du littoral et de modifier le processus hydrodynamique. Le recul du rivage devient un aléa sur la vie humaine, une gestion de l'évolution dynamique de la côte est nécessaire afin de trouver une protection appropriée à la falaise. Et pour ce, une connaissance de la cinématique du trait de côte permet de déterminer le processus de l'érosion dans l'espace et dans le temps. Dans le cadre de suivre la morpho dynamique de la zone d'étude, on a opté une approche indirecte qui consiste sur l'extraction de trait de côte à partir des documents iconographique multi-dates (photographie aérienne, image satellitaire et cartes).

### **II.1. Techniques de détection des variations de la position du trait de côte**

#### **II.1.1. Méthode de levé**

L'étude des changements passés d'un littoral peut se faire par différentes méthodes d'analyses interprétation de photographie aériennes, l'analyse de cartes (historique, topographique et hydrographiques), l'étude des images satellitaires, des relevés sur le terrain et des enquêtes auprès des gens du milieu constituent autant de sources d'information pour étudier le trait de côte (Grenier et Dubois, 1990 in Chaibi ). Dans ce travail on a utilisé l'approche diachronique, qui est fondée sur l'observation indirecte, elle s'appuie sur l'analyse graphique des documents essentiellement cartographiques et photographiques pour mesurer et cartographier les positions successives des indicateurs du trait de côte sur un intervalle de temps différent. Cet approche a permis d'évaluer la morpho dynamique de la zone d'étude sur une période qui s'étale de 1960 à 2016 (57ans) à partir des différents types documents historiques, pour mieux connaître et suivre le comportement de recule de la falaise(ou du trait de côte). dans le but d'estimer la tendance cinématique de la frange littoral.

### **II.1.2.Les données disponibles**

Les données ont été récoltées auprès de l'Institut national de Cartographie et De Télédétection (**I.N.C.T**) et du programme d'Arcgis Earth. Les documents iconographique disponible de la zone sont de type : carte topographique d'échelle 1/50 000 d'année 1960, deux photo-aériennes d'échelle 1/10 000 datant de 1980 et de 1996 et une image satellitaire datant de 2016.

### **II.1.3.Méthode de traitement**

L'estimation de la ligne du rivage « El-Kettar » a été effectuée par un traitement des documents sous le logiciel Arcgis. Ce dernier, permet l'acquisition, le stockage, la mise à jour, la manipulation, et le traitement de données géographique. De plus, il permet de faire de la cartographie et de l'analyse spatiale de façon précise en fonction de l'échelle désirée. Différents couches d'information spatiales peuvent être manipulées offrant la possibilité d'analyser une ou plusieurs couches sous le contrôle des autres. Le seul lien entre ces différentes couches est le lien spatial, c'est-à-dire, l'appartenance au même espace géographique et ayant le même système de coordonnées (**Soudani k. 2006 In ASBAI 2013 in Nechnache ,2015** ).

## **II.2.Procédure**

### **II.2.1.Définition de l'indicateur du trait de côte**

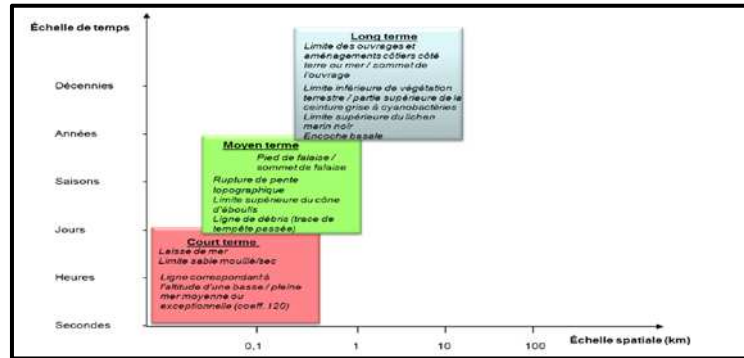
Le suivi de la cinématique du trait de côte requiert un indicateur qui convient au mieux à la cote étudiée et adapté aux méthodes de levées. Les indicateurs du trait de côte sont pertinents ou non en fonction du marnage (contexte de cote macrotidale et microtidale) et de l'agitation des littoraux. Il existe différents types d'indicateurs dépendant de l'état de la cote, on distingue les indicateurs de type instantané (indicateur hydrodynamique) généralement utilisés pour les cotes basses. Dans le contexte des cotes méso- ou macrotidale, des indicateurs sont utilisés de type morphologique et ceux lié à la végétation (indicateur botanique).

Ces indicateurs peuvent être classés selon :

- ✿ **Une échelle de temps** : à court terme (pouvant varier en seconde, heure, journée), à moyen terme (pouvant varier dans la journée, la saison ou l'année) et à long terme (pouvant varier dans l'année, la décennie ou le siècle)

- ✿ **Une échelle spatiale :** variation en fonction du secteur et des besoins de suivi ou d'étude. (C.Mallet et al, 2012)

En vue le type de la zone d'étude le diagramme ci-dessous présent les différents indicateurs.



**Figure II .1 :** diagramme de variation des indicateurs de trait de côte dans l'échelle espace-temps cas côte rocheuse (C. Mallet et al, 2012)

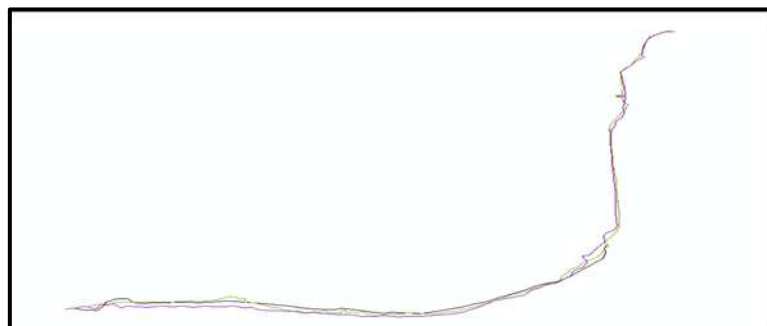
Le site est formé d'une falaise de hauteur varie d'Est-Ouest, l'indicateur du trait de côte retenu dans cette étude est le pied de la falaise à l'Est de la zone et la limite de la plate d'abrasion à l'Ouest .Ces indicateurs s'adaptent à la méthode de traitement choisie et permet de mieux cerner les variations de ligne de rivage.

### II.2.2. Définition la ligne de base

La ligne de référence concernant cette étude se trouve à 10 mètre de distance et d'une position parallèle à la ligne du site.

### II.2.3. L'extraction des lignes du trait de côte

S'effectuée par la digitalisation des documents iconographique et qui sont déjà géoréférencés sous un système, unique, de projection Nord-Sahara U.T.M zone 31N.



**Figure II.2 :** Polylignes de l'indicateur du trait de côte de « El Kettar » digitalisées sous Arcmap

## **II.2.4. Traitement de la cinématique du trait de côte sous l'outil DSAS**

### **II.2.4.1. Aperçu sur DSAS (Digital Shoreline Analysis System)**

C'est un outil du logiciel d'Arcgis, il présente un paramètre important d'étude de la cinématique linéaire côtier, permettant la détection de la surface d'érosion et d'accrétion. Il se base sur l'analyse tendanciel historique de la fluctuation de position du trait de côte dont seront déterminées, d'une façon automatique, par des calculs statistiques qui consiste sur les différentes mesures entre les positions de la ligne du rivage tenu-compte l'échelle du temps, donc il permet d'avoir la distance entre la ligne de côte et les points d'intersection des transects, les calculs de taux d'évolution le long de chaque transect et génère les résultats sous forme de tables attributaires.

L'application du DSAS nécessite l'utilisation des couches Poly lignes (déjà digitalisées), la réalisation d'une ligne de base qui permet à l'outil de générer automatiquement des transects perpendiculaire à la ligne de côte.

### **II.2.4.2. Démarche**

Les transects et l'analyse statistique de taux d'évolution ont été réalisés par le Digital Shoreline Analysis System (DSAS) D'ARCGIS en suivant le protocole qui se présente par :

- ✿ Réunir les couches de ligne multi-dates du trait de côte dans une seule classe d'entité sous le nom « lignes ».
- ✿ Création de la géodatabase personnel dont ont été importés la classe d'entité de lignes et celle de base ligne.
- ✿ Sur Set Default Paramètres qui se trouve sur la barre d'outils du DSAS, requit de définir l'équidistance des transects, leurs longueurs et d'indiquer le type d'intersection du transect avec la ligne de rivage (Closest intersection ou Fathest intersection).

Dans le cas de notre zone, les transects sont caractérisés par une distance de 5mètre et de 50 mètre de longueur.

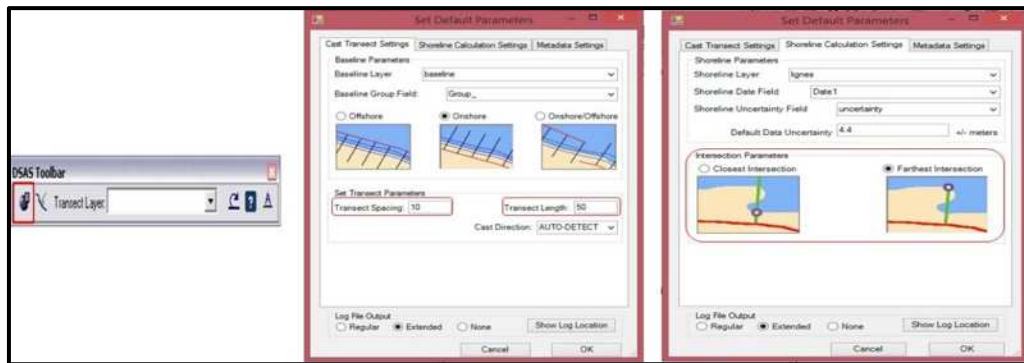


Figure II.3 : Caractéristiques de transect recommandées par l'outil DSAS

- ❁ Détermination la Méthode de position des transects sur la ligne de base sur la fenêtre Casttransects. On a retenu la méthode Smoothed.

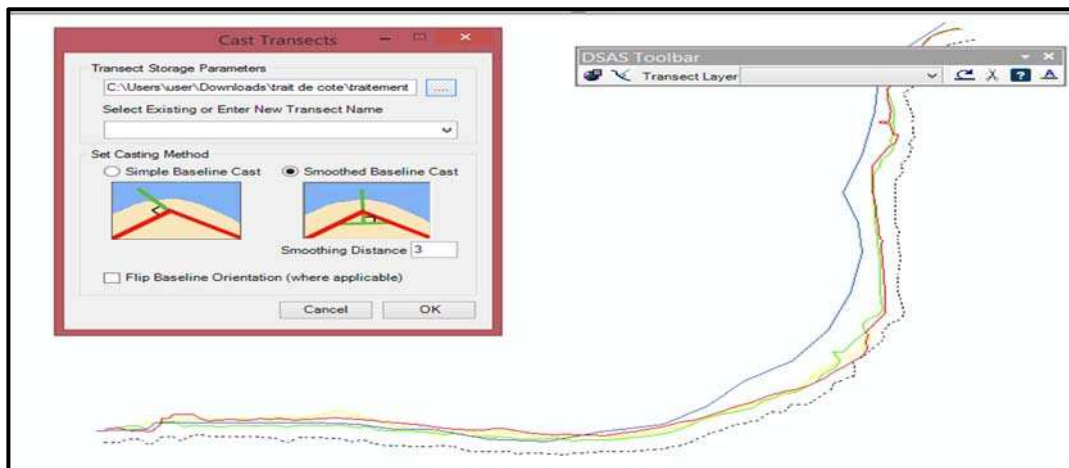


Figure II.4 : Choix de la position du transect sur la ligne de base

- ❁ Des transects perpendiculaire à la ligne de référence sont générés automatiquement

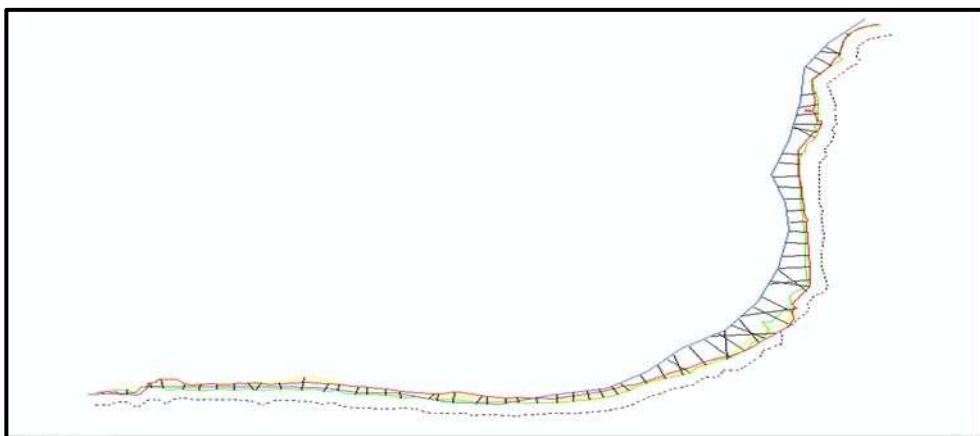


Figure II.5 : position des transects sur le trait de côte sous logiciel Arcgis.

- Le paramètre de calcul statistique général ‘ tableau attributaire’ qui comporte les différentes mesures proposées par l’extension DSAS qui ont été défini au préalable.

Les éléments essentiels extraits dans le cas de la zone El-Kettar sont :

- ✓ La distance de la mobilité pour chaque ligne de rivage(NSM)
- ✓ La vitesse d’évolution qu’elle est définis par la méthode du point extrême (EPR).

object identifier *	Transectid *	TCD	EPR	ECI	SCE	NSM	LMS	WLR	WR2	WSE	WCIB9_9	LRR	LR2
1	1	0	-0.23	0.11	12.7	-12.71	-0.18	<Nub>	<Nub>	<Nub>	<Nub>	-0.21	0.75
2	2	5	-0.24	0.11	13.3	-13.37	-0.19	<Nub>	<Nub>	<Nub>	<Nub>	-0.22	0.65
3	3	10	-0.23	0.11	13.1	-13.13	-0.19	<Nub>	<Nub>	<Nub>	<Nub>	-0.22	0.67
4	4	15	-0.25	0.11	15.0	-13.78	-0.19	<Nub>	<Nub>	<Nub>	<Nub>	-0.23	0.55
5	5	20	-0.26	0.11	14.6	-14.61	-0.21	<Nub>	<Nub>	<Nub>	<Nub>	-0.24	0.72
6	6	25	-0.25	0.11	14.2	-14.21	-0.21	<Nub>	<Nub>	<Nub>	<Nub>	-0.23	0.77
7	7	30	-0.25	0.11	14.3	-14.31	-0.21	<Nub>	<Nub>	<Nub>	<Nub>	-0.24	0.81
8	8	35	-0.19	0.11	10.6	-10.61	-0.16	<Nub>	<Nub>	<Nub>	<Nub>	-0.18	0.8
9	9	40	-0.2	0.11	11.3	-11.36	-0.17	<Nub>	<Nub>	<Nub>	<Nub>	-0.19	0.86
10	10	45	-0.19	0.11	10.5	-10.54	-0.16	<Nub>	<Nub>	<Nub>	<Nub>	-0.17	0.77
11	11	50	-0.22	0.11	12.2	-12.27	-0.17	<Nub>	<Nub>	<Nub>	<Nub>	-0.2	0.66
12	12	55	-0.28	0.11	15.6	-15.67	-0.21	<Nub>	<Nub>	<Nub>	<Nub>	-0.26	0.64
13	13	60	-0.25	0.11	14.3	-14.3	-0.2	<Nub>	<Nub>	<Nub>	<Nub>	-0.24	0.62
14	14	65	-0.25	0.11	14.1	-14.07	-0.2	<Nub>	<Nub>	<Nub>	<Nub>	-0.23	0.62
15	15	70	-0.24	0.11	13.2	-13.25	-0.19	<Nub>	<Nub>	<Nub>	<Nub>	-0.22	0.68
16	16	75	-0.22	0.11	12.0	-12.09	-0.17	<Nub>	<Nub>	<Nub>	<Nub>	-0.2	0.69
17	17	80	-0.19	0.11	10.8	-10.82	-0.16	<Nub>	<Nub>	<Nub>	<Nub>	-0.18	0.68
18	18	85	-0.19	0.11	10.8	-10.8	-0.16	<Nub>	<Nub>	<Nub>	<Nub>	-0.18	0.68
19	19	90	-0.19	0.11	10.6	-10.66	-0.16	<Nub>	<Nub>	<Nub>	<Nub>	-0.18	0.68
20	20	95	-0.19	0.11	10.7	-10.77	-0.16	<Nub>	<Nub>	<Nub>	<Nub>	-0.18	0.69
21	21	100	-0.19	0.11	10.7	-10.75	-0.16	<Nub>	<Nub>	<Nub>	<Nub>	-0.18	0.63
22	22	105	-0.18	0.11	10.2	-10.27	-0.14	<Nub>	<Nub>	<Nub>	<Nub>	-0.17	0.63
23	23	110	-0.19	0.11	10.3	-10.39	-0.14	<Nub>	<Nub>	<Nub>	<Nub>	-0.17	0.62
24	24	115	-0.21	0.11	11.6	-11.6	-0.16	<Nub>	<Nub>	<Nub>	<Nub>	-0.19	0.62
25	25	120	-0.23	0.11	12.7	-12.79	-0.18	<Nub>	<Nub>	<Nub>	<Nub>	-0.21	0.62
26	26	125	-0.27	0.11	15.1	-15.1	-0.21	<Nub>	<Nub>	<Nub>	<Nub>	-0.25	0.63

FigureII.6: tableau des résultats d’évolution fournit par DSAS

### II.3. Analyse cinématique de linéaire côtier

Les résultats issus de tableaux (des calculs ont été fournis par l’outil DSAS) pour chaque durée ont été cartographié . Ces derniers montrent une mobilité distincte des lignes multi-dates (1960-2016) dont l’évolution varie d’une période à une autre .

**A. L'évolution de la période 1960-1980**

**Tableau II.1 :** Vitesse et taux d'évolution du rivage " El Kettar "entre 1960-1980

Profils	Taux d'évolution (NSM(m))	Vitesse d'évolution (m/an)	Etat
P1 à P7	-10 à -15	-0.53 à -0.74	Erosion intensive
P8 à P10	-7 à -9	-0.39 à -0.42	Erosion
P11 à P16	-11 à -16	-0.55 à -0.76	Erosion intensive
P17 à P18	-10	-0.50	Erosion
P19 à P20	-9	-0.49	Erosion
P21	-10	-0.53	Erosion
P22	-10	-0.50	Erosion
P23 à P38	-10 à -34	-0.51 à -1.7	Erosion intensive
P39			Stable
P40 à P60	-10 à -26	-0.53 à -1.31	Erosion intensive
P61 à P74	-4 à -8	-0.21 à -0.44	Erosion
P75 à P79	-0.37 à -3	-0.02 à -0.13	Erosion
P80	0.65	0.03	Accumulation
P81	-0.94	-0.05	Erosion
P82 à P121	1 à 8	0.06 à 0.46	Accumulation
P122 à P127	-0.24 à -2	-0.01 à -0.12	Erosion
P128	-3	-0.17	Erosion

Cette période connaît une érosion plus élevée accompagnée d'une vitesse de recule varie de -0.51 à -1.7 m/an avec un retrait d'ordre -34m suivie d'une évolution qui se diminue jusqu'à -0.17 m/an (-3.39m). Ce fait se focalise sur le segment oriental et central du site. Une dégression remarquable de la vitesse du recul sur l'extrême du segment oriental d'une valeur au-dessous de -0.14 m/an.

Cette évolution pourrait être liée à la forme par rapport aux degrés de la pente et à la lithologie de la falaise qui se compose notamment aux pieds de cette dernières des bancs de grés consolidés subissent en directe à l'action des houles. Ainsi l'artificialisation du sommet de la falaise par une route contribue à cette dégradation .Par ailleurs une partie occidentale s'avance avec un maximum de 8m qui correspond à une faible vitesse se varie entre 0.06 et 0.46 m/an. Cela serait provenu des éboulements, glissement et /ou dépôt sous l'effet des actions subaérienne et des processus hydrodynamique en générant, une bande avancée vers la mer aurait porté des éboulis et/ou des matériaux des galets et cailloux, déjà visible sur la photo-aérienne, le tous se repose sur le platier rocheux ce qui permet la protection de la falaise instantanément (c'est une situation temporaire).

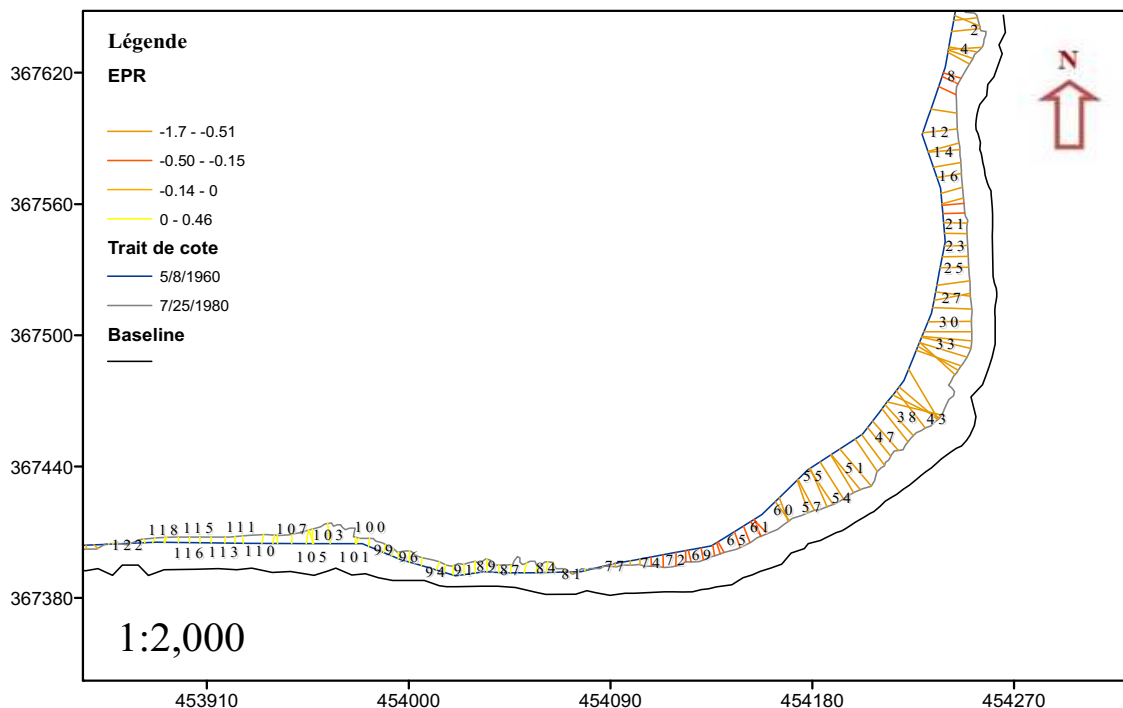


Figure II.7 : variation de vitesse d'évolution de trait de côte de "El Kettar" entre (1960-1980)

### B. L'évolution de la période 1980-1996

Le linéaire côtier Ouest subit un retrait de vitesse inférieure à  $-0.15$  m/an accompagnée d'une distance de  $-2$ m, par contre une augmentation de recul d'ordre  $-3$  à  $-8$ m qui s'intègre cette partie ainsi celle du centre avec une vitesse comprise entre  $-0.15$  à  $-0.50$  m/an. Cette période connaît une occupation plus importante du ras de la falaise ce qui forme le facteur principale d'érosion en exerçant une forte pression.

Le rivage Est de la zone présente une stabilité remarquable suite à la mise en place d'un mur de soutènement et des enrochements. Les photos-aériennes de 1980-1996 attestent l'affleurement des ouvrages de protection qui ont ralenti la mobilité de la falaise.

Un avancement de la ligne de cote sur une petite portion à l'extrême Ouest d'une faible vitesse varie de  $0.06$  à  $0.22$ m/an, donc un déplacement d'ordre  $3$  à  $8$ m. Ce fait pourrait être Prévenir de la plage à galet qui se retrouve à l'ouest de la zone et / ou déplacement des matériaux de la bonde déjà existé à 1980 sous l'effet de processus hydrodynamique .

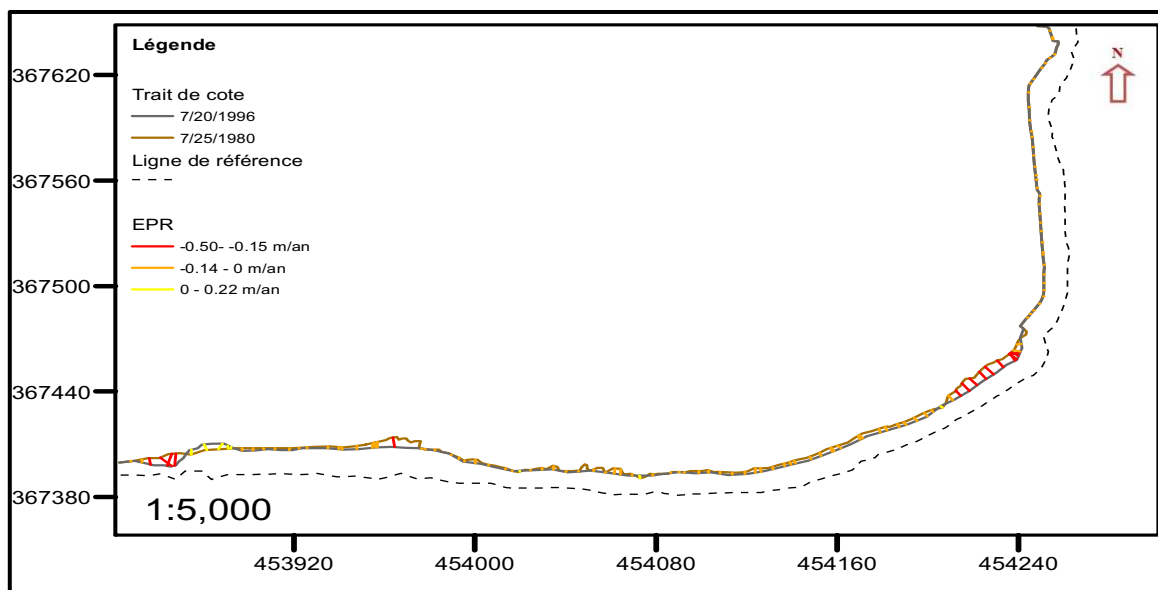


Figure II.8 : variations de vitesse d'évolution du trait de côte "El Kettar " entre (1980-1996)

Tableau II.2 : Vitesse et taux d'évolution du rivage "El kettar" entre (1980-1996)

Profils	Taux d'évolution (NSM(m))	Vitesse d'évolution (m/an)	état
P1 à P37	0	0	Stable
P38	-2	-0.13	Erosion
P39 à P50	-3 à -6	-0.19 à -0.3	Erosion
P51	-1	-0.06	Erosion
P52	-1	-0.08	Erosion
P53	-2	-0.15	Erosion
P54 à P56	-1 à -2	-0.12 à -0.13	Erosion
P57	-2	-0.15	Erosion
P58	-2	-0.14	Erosion
P59 à 60	-2	-0.15	Erosion
P61	-2	-0.14	Erosion
P62 à P63	-2	-0.15	Erosion
P64 à P70	-1 à -2	-0.08 à -0.12	Erosion
P71	-2	-0.16	Erosion
P72 à P82	-0.04 à -2	0 à -0.09	Erosion
P83 à 84	-3	-0.19	Erosion
P85 à P102	-0.03 à -2	0 à -0.12	Erosion
P103 à P106	-2 à -5	-0.18 à -0.34	Erosion
P107 à P117	-0.42 à -2	-0.03 à 0.11	Erosion
P118 à P 122	0.9 à 3	0.06 à 0.22	Accumulation
P123 à P126	-3 à -8	-0.24 à -0.45	Erosion
P127	-1	-0.12	Erosion
P128	0	0	Stable

C-L'évolution de la période 1996-2016

Tableau II.3 : Vitesse et taux d'évolution du rivage "El Kettar" entre 1996-2016

Profil	Taux d'évolution (NSM(m))	Vitesse d'évolution (m/an)	Etat
P1 à P6	-0.5 à -3	-0.1 à -0.13	Erosion
P7	-3	-0.16	Erosion
P8	-2	-0.11	Erosion
P9	-3	-0.17	Erosion
P10 à P74	-0.01 à -2	0 à -0.11	Erosion
P75	-3	-0.16	Erosion
P76	-2	-0.14	Erosion
P77 à P79	-3 à -4	-0.16 à -0.20	Erosion
P80 à P 97	-0.19 à -2	-0.01 à -0.11	Erosion
P98 à P121	-3 à -9	-0.19 à -0.50	Erosion
P122	-1	-0.09	Erosion
P123 à P127	1 à 4	0.09 à 0.24	Accumulation

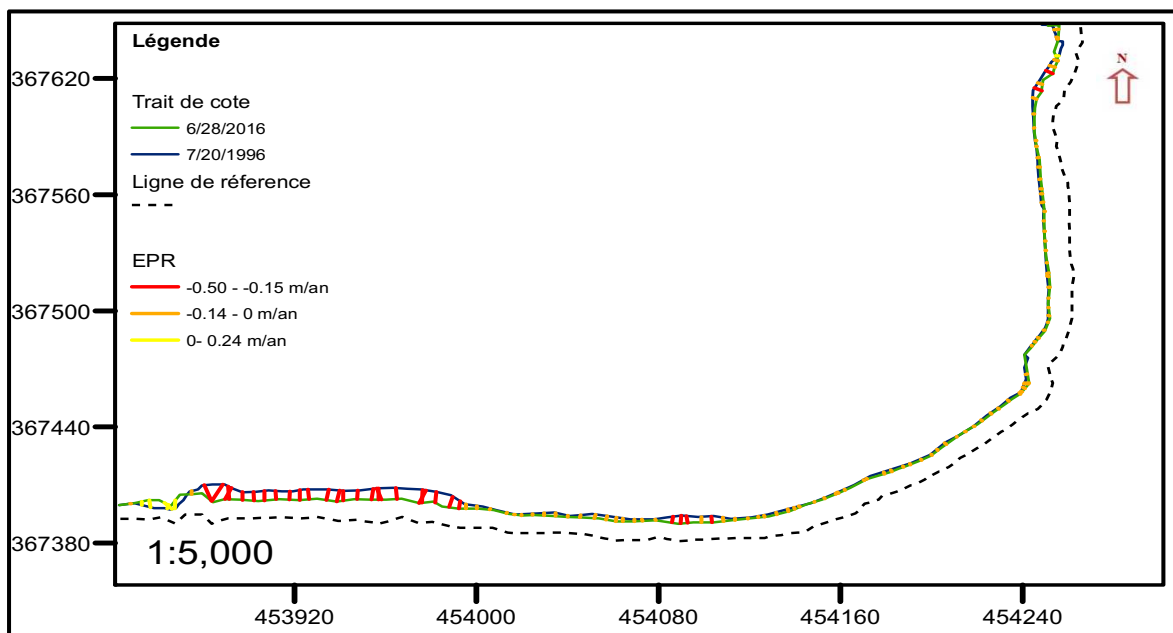


Figure II.9 : Variations de vitesse d'évolution de trait de côte de "El Kettar" entre (1996-2016)

l'Ouest accompagné d'un ralentissement de la vitesse qui varie de 0 à -0.14m/an et qui correspond à un déplacement maximal de -2.83m. La vitesse de la mobilité de la frange côtière s'accroît vers l'extrême Ouest et elle atteint son maximum à -0.50m/an, avec un retrait de 9.86m. La destruction du mur de protection, sous l'effet de l'action hydrodynamique, a mené à l'érosion de la falaise EST. Il est à noter que cette variation est combinée à la destruction du

mur de protection et la mobilité des enrochements causés par la forte énergie des houles, ainsi par l'accroissement d'urbanisation sur la falaise.

Un taux d'engraissement du trait de côte qui varie de 0.09 à 0.24m/an (1 à 4m), présente une faible valeur d'évolution.

### **D- Bilan d'évolution de la période 1960-2016**

L'étude de la cinématique du rivage El-Kettar à long terme (56ans) a révélé que la zone est dominée par un recul plus au moins important de la falaise .En effet cette évolution reflète, d'après le spectre et la carte, que la falaise Est à une tendance d'érosion continue depuis 1960 en atteignant un maximum de -1.7m/an et un minimum de -0.15m/an qui touche le pied de la falaise. A l'Ouest de la zone, une fluctuation d'une mobilité moderne se caractérise par l'érosion et l'avancement de la ligne de cote. Une dominance principale du retrait bascule entre 0 à -0.14m/an, d'une distance maximal de -8m et une faible d'accumulation correspondant à 0.08m/an ainsi que d'un mouvement de 4m. Cette évolution vers la terre serait associée en grande partie à l'énergie des houles notamment celles provenant de l'Ouest, Nord-Ouest et les houles frontales. La pression anthropique qui s'exerce sur la falaise présente un enjeu important dans la modification de la morphologie du site d'étude. L'ampleur d'évolution varie en fonction de la lithologie de la côte.

L'implantation d'ouvrage de protection à l'Ouest du site, qui a une même structure que l'ancienne (source DTP) n'a pas une bonne fonctionnalité, ce qui forme une menace pour les habitants

**Tableau II.4 :** Vitesse et taux d'évolution du rivage "El Kettar " entre (1960-2016).

Profile	Taux d'évolution (NSM (m))	Vitesse d'évolution (m/an)	Etat
P1 à P65	-8 à -37 m	-0.15 à -0.66m/an	Erosion
P66 à P69	-8 m	-0.14m/an	Erosion
P70	-8m	-0.15m/an	Erosion
P71	-8m	-0.15m/an	Erosion
P72 à P84	-0.22 à -8m	0 à -0.14m/an	Erosion
P85 à P96	1 à 4m	0.03 à 0.07m/an	Eboulement
P97 à P121	-2 à -4m	0 à -0.08m/an	Erosion
P122	0.46m	0.01m/an	Eboulement
P123 à P128	-1 à -5m	-0.03 à -0.09m/an	Erosion

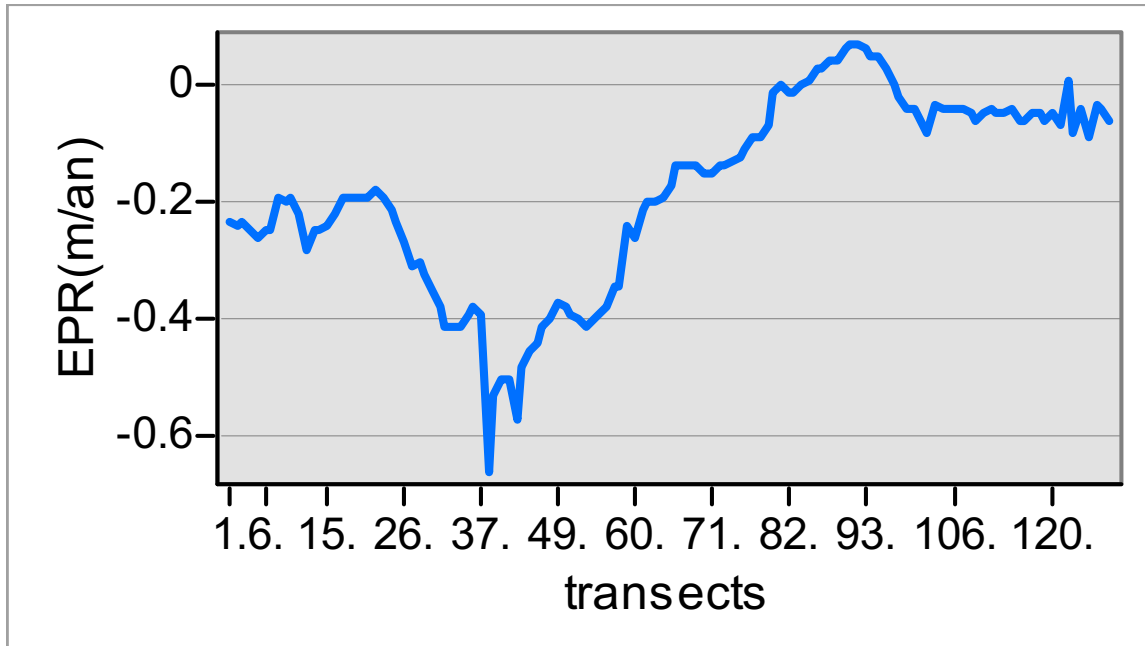


Figure II.10 : Spectre d'évolution du linéaire côtier de « El kettar» entre 1960-2016

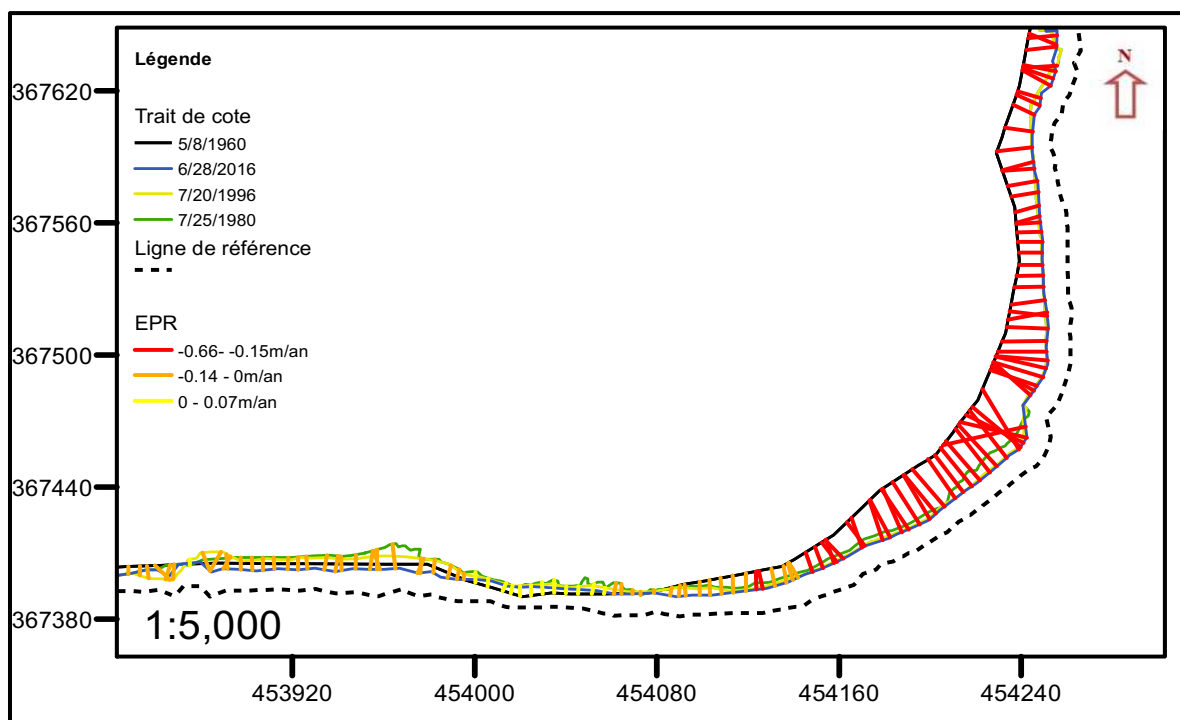


Figure II.11 : variations globale de vitesse d'évolution de trait de côte de "El kettar " entre (1960-2016)

## II.4. Evaluation le taux d'évolution d'espace côtier

Tableau II.5 : Bilan de taux de retrait et d'accrétion de « El Kettar »

Période	Erosion (m <sup>2</sup> )	Accrétion (m <sup>2</sup> )	Bilan (m <sup>2</sup> )	Erosion par période (m <sup>2</sup> /an)
1960-1980	-2210	78	-2132	-110
1980-1996	-408	10	-398	-25
1996-2016	-689	6	-683	-34
1960-2016	-3307	94	-3213	-59

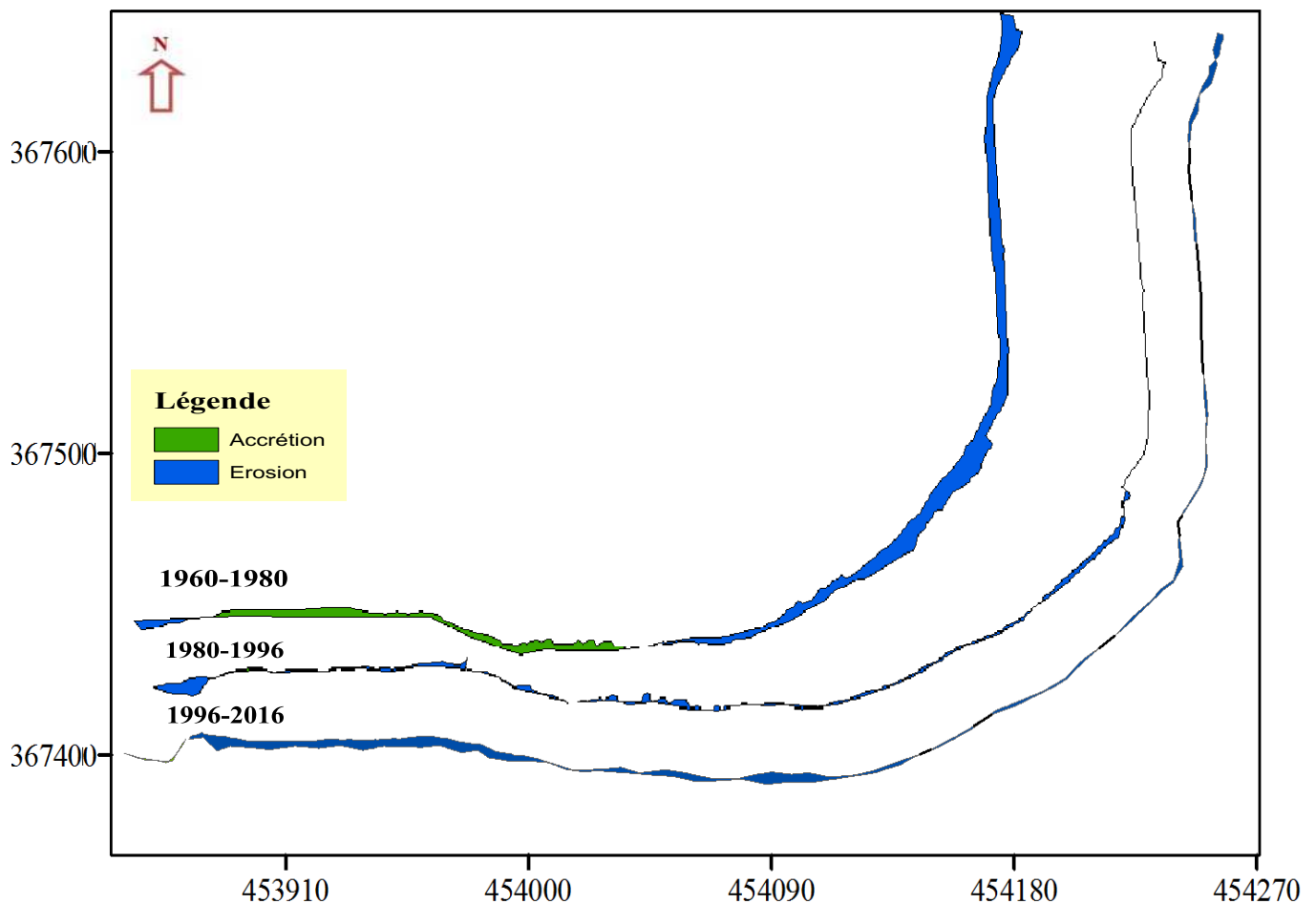
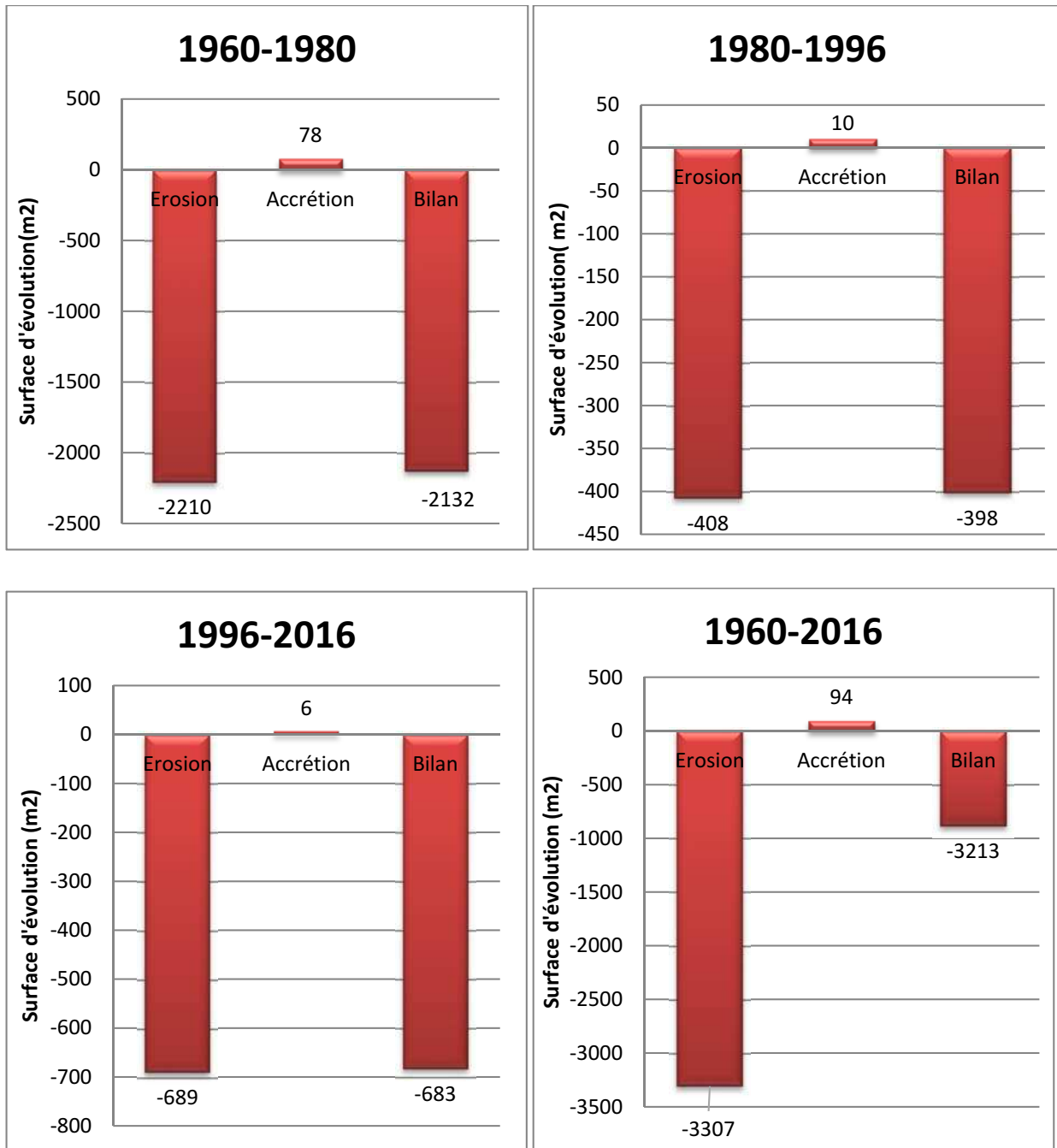


Figure II .12 : variation de surface d'évolution de « El Kettar » (1960-2016).



**Figure N°13 :** Bilan d'évolution de la surface (perte/gain) côtier de « El-Kettar » (1960-2016).

La quantification des surfaces perdues et gagnées qui se traduit par la variation du trait de côte, permet de déterminer le niveau d'aléa qui présente un risque pour la zone d'étude. Et pour ce, les résultats sont présentés sous forme de graphes et de cartes, ces derniers nous démontrent que la surface perdue était importante durant la période 1960-1980 ce qui exprime un bilan de l'ordre de  $-2132\text{m}^2$  avec la dominance de la quantité perdu par rapport à celle

gagnée ( $-2210\text{m}^2$  et  $78\text{m}^2$ ), par contre cette valeur a diminué durant la période 1980-1996 à  $-408\text{m}^2$  ce qui pourrait être dû à l'implantation d'une protection frontal dans la partie Est. Un bilan négatif de la surface érodée se manifeste durant la période 1996-2016 avec une valeur de  $-689\text{m}^2$ , qui comprend une accrétion très faible ( $6\text{m}^2$ ). Cette effet aurait provenu de la force de l'action hydrodynamique qui se manifeste par la destruction de l'ouvrage dans la partie Est d'une part. D'autre part l'espace gagné correspond à des valeurs assez faibles ( $78\text{m}^2$ ,  $10\text{m}^2$ ,  $6\text{m}^2$ ) et qui se manifeste sous forme de plate d'abrasion instantané uniquement dans la partie Ouest, çapourrait expliquer la possibilité d'un piégeage des matériaux allant de l'Est vers l'Ouest (présence d'une plage à galet à l'extrême Ouest de la zone) et/ ou et les matériaux qui résultent des éboulements et érosion.

### **Conclusion**

Le taux d'évolution de la zone d'étude s'est matérialisé par une forte variabilité tout au long du rivage et qui se manifeste par la dominance de l'érosion (un maximum de retrait d'ordre  $1.7\text{m/s}$ ). Ce phénomène serait à l'origine des actions marines qui dominent les facteurs subaériens, ainsi aux effets anthropiques qui ont accentué le processus de ce phénomène. (Infiltration des eaux usées et ruissellement des pluies sur la falaise, l'effet du poids des urbanisations et de la route....)

Les résultats des vitesses de la mobilité du trait de côte se concordent au bilan de perte et de gain de la surface ce qui exprime le fait que la falaise présente une morphologie (structure et nature) vulnérable, notamment au pied de cette dernière. A noter que le taux d'évolution d'espace se focalise sur la partie Ouest.

La présence d'une protection en mur maçonné et un cordon d'engrochement (réalisée en 2004) a permis la stabilité de la partie occidental, en revanche la destruction de l'ancienne protection, sous l'effet d'hydrodynamique, a contribué à la menace dela stabilité de la partie Est, qui a été révélé par le taux d'érosion de ladernièreperiode.

**Chapitre III :**  
**Etude hydrodynamique et**  
**bathymétrique de**  
**« El Kettar »**

### III.1. Etude hydrodynamique

#### Introduction

Les vagues jouent un rôle particulièrement important dans l'hydrodynamique littorale, elles agissent en effet comme un « moteur » pour la circulation, notamment dans la zone de déferlement. En effet les conditions hydrodynamiques liées aux vagues se trouvent fortement modifiées en faible profondeur, sous l'action combinée de multiples processus (influence de la bathymétrie, réflexion, réfraction, déferlement, effets non – linéaires ...) dont la plupart contrôle la dissipation ou la concentration d'énergie de la houle incidente. La connaissance fine et la compréhension de ces phénomènes sont un préalable obligatoire pour la prédiction de la dynamique sédimentaire.

#### III.1.1. Etude de la réfraction de la houle

##### III.1.1.1. Principe de calcul de la réfraction de la houle

La propagation de la houle entre le large et la côte, a été effectuée avec le modèle numérique SWAN en se basant sur les données bathymétriques des cartes nautiques du SHOM complétées par la bathymétrie de détail réalisée sur terrain. Le coefficient de réfraction est défini de la manière suivante :

$$K_r = H_s \text{ local} / H_s \text{ large} \quad \text{III .1}$$

**K<sub>r</sub>** : Coefficient de réfraction (sans unité).

**H<sub>s</sub> local** : Hauteur significative local (m)

**H<sub>s</sub> large** : Hauteur significative au large (m)

Les calculs de la réfraction sont effectués pour différentes conditions de houle au large (hauteur, période et direction). Le logiciel modélise la propagation de la houle en prenant notamment en compte les phénomènes de : Réfraction, sur les fonds et autour des ouvrages, Frottement sur le fond, Déferlement, Il est donc parfaitement adopté à la problématique du littoral Ouest algérien dont notre site d'étude. Les résultats sont donc exploités sous deux formes :

- ✓ Les épures de réfraction qui montrent qualitativement comment hauteur de houle et direction changent au cours de la propagation de la houle.

- ✓ La détermination quantitative des conditions de la houle en certains points situés sur différentes isobathes permettant l'établissement des caractéristiques de la houle à ces profondeurs.

### III.1.1.2. Donnée de base

#### III.1.1.2.1. Données bathymétriques

La bathymétrie utilisée pour l'étude de réfraction est celle issue de la digitalisation de la carte SHOM n° 3030 intitulée « Côte septentrionale d'Afrique, partie comprise entre Alger et Cherchell, échelle : 1/100720 » complétée avec celle issue de la campagne de reconnaissances réalisée par le LEM, année 2012.

#### III.1.1.2.2. Données de houles au large

Les données de houle au large sont reprises à partir des statistiques de l'US Naval Weather Services Command compilées dans un manuel intitulé Summary of Synoptic Meteorological Observations (SSMO)

**Tableau III.1** : Conditions de houles retenues dans le cadre de cette étude (LEM)

Période	Direction houle au large		
	N360	N270	N315
6s	Hs = 1.00 m	Hs = 1.19 m	Hs = 1.10 m
8s	Hs = 2.67 m	Hs = 2.67 m	Hs = 2.64 m
10s	Hs = 4.92 m	Hs = 5.54 m	Hs = 4.53 m

#### III.1.1.2.3. Choix des périodes

Le choix des périodes a été fait en fonction de la répartition des probabilités de dépassement d'une houle d'amplitude données. Pour le littoral de la Wilaya de Tipaza (ville de Cherchell) et pour les directions retenues, les houles de forte amplitude et de période supérieure à 10 s ont une probabilité d'apparition relativement faible.

L'étude de ces périodes a donc peut d'intérêt. Un calcul de houle équivalente en fonction de la période a été effectué pour déterminer les conditions de la houle au large pour le secteur affectant la zone d'étude.

### III.1.1.2.4.Choix des directions

Trois directions ont été choisies en tenant compte de l'incidence des houles par rapport à la zone d'étude :

- ✓ Une direction approximativement perpendiculaire à la côte pour mesurer les effets d'une houle frontale (N315°).
- ✓ Deux directions de houle à incidence oblique (N 270° et N360°).



**Figure III.1 :** Choix des directions défavorables au site d'étude (ArcgisEarth ,2016)

Un traitement statistique des données (SSMO) a permis de déterminer les fréquences d'apparition de houle par direction et par période, ainsi que la détermination de la probabilité de retour des houles (Biennale, Décennale, Cinquantennale).

**Tableau III.2 :** les caractéristiques des houles extrêmes retenues pour la détermination des conditions de houles (LEM, 2012)

Période de retour		Nord	Nord Ouest	Ouest
Biennale	Hs(m)	4.90	4.16	7.36
	TP(s)	10.88	9.99	13.19
Décennale	Hs(m)	6.38	5.40	9.22
	TP(s)	12.37	11.42	14.49
Cinquantennale	Hs(m)	7.87	6.65	11.08
	TP(s)	13.51	12.60	15.54

### III.1.1.3. Déroulement des étapes de la réalisation de la réfraction

Afin de procéder à l'étude de la réfraction deux logiciels sont couplés il s'agit du logiciel des SIG Mapinfo version 7.8 comme surface de saisie de données et d'acquisition de résultats, ainsi que le logiciel SWAN comme calculateur. L'étude de la propagation de la houle sur un site réel comporte trois phases principales, présentées schématiquement sur l'organigramme ci-dessous

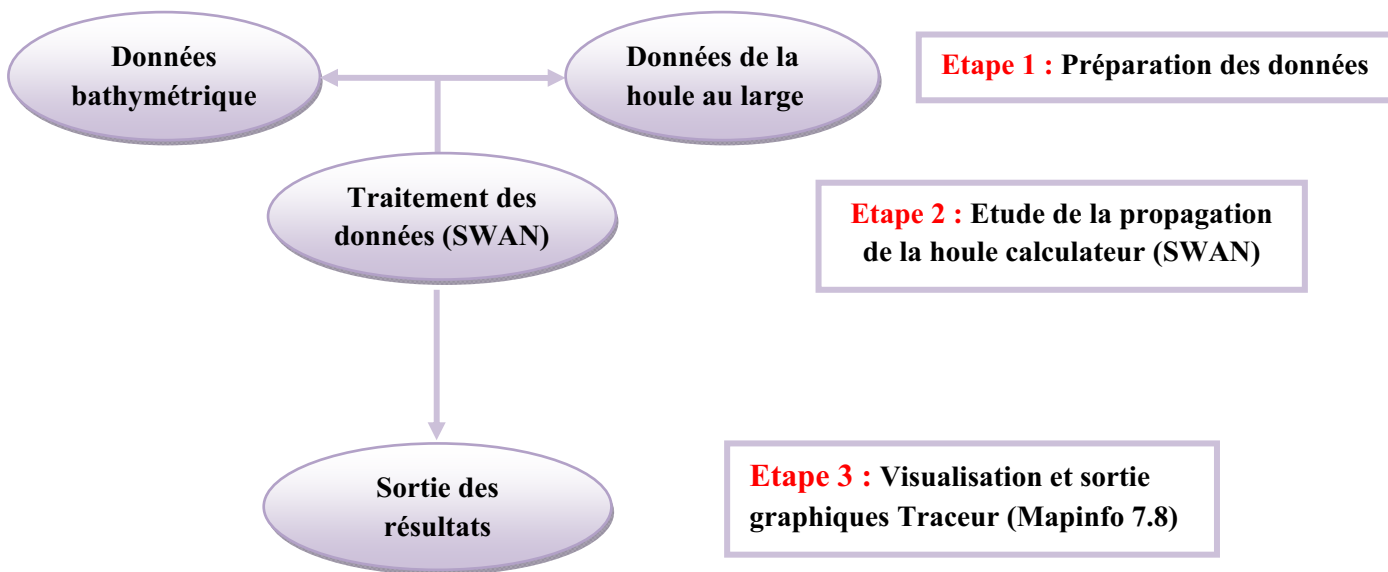


Figure III.2: Organigramme du déroulement des étapes de la réalisation de la réfraction

### III.1.1.4. MODÉLISATION DE LA RÉFRACTION

Elle se base sur l'utilisation des outils informatiques à savoir :

- Logiciels : SWAN (Simulating Waves in the Nearshore développé par l'université De Delft) et Map info 7.8.
- Extensions : Vertical Mapper et la moulinette Sogreah.

#### III.1.1.4.2. DESCRIPTION DES LOGICIELS ET OUTILS UTILISÉS

- Mapinfo Professional V7.8 est un outil de type Système d'information géographique qui sert à créer de l'information géographique, traiter et manipuler cette information et la cartographier de différentes manières.

- le modèle spectral de propagation des états de mer SWAN (SimulatingwavesNearshore) est développé au sein de Delft University of Technology , aux Pays Bas. Il s'agit d'un modèle numérique permettant le calcul des paramètres des vagues , dans les régions côtières ,les lacs et les estuaires ,à partir d'informations fournies sur la bathymétrie , les courants et le vent. Le modèle résout l'équation de transport de l'énergie (ou de l'action d'onde, en présence de courants).
- vertical Mapper 3.0 est un outil de création et d'exploitation de l'information géographique sous forme de grilles assez puissant ( MNT, exploitation d'image raster en relief).
- La moulinette Sogreah est une sorte de convertisseur permettant la création de fichiers reconnaissables par SWAN .

### III.1.4.3. ÉTAPES DE LA MODÉLISATION

- 1- Calage de la carte marine de la Wilaya de Tipaza dans la projection Universal Transverse Mercator (WGS 84), UTM Zone 31, Northern Hemisphere => Sur MapInfo
- 2- Digitalisation des points et des lignes => Sur MapInfo
- 3- Extraction des points à partir des lignes digitalisées => Par Vertical Mapper.
- 4- Extraction des coordonnées des points existants => Par MapInfo.
- 5- Création de la table BathyTerra => Par MapInfo.
- 6- Création de la table des Fonds => Par MapInfo.
- 7- Création de la grille d'interpolation => Par Vertical Mapper.
- 8- Choix de l'emprise du modèle : Modèle de Détail et Modèle d'Ensemble sur Mapinfo.
- 9-Construction des grilles régulières des points :La grille du modèle d'ensemble et La grille du modèle de détail.
- 10- Interpolation sur la grille régulière des points du MNT : les grilles régulières des points seront interpolées sur le MNT, pour en extraire les valeurs des profondeurs en chaque point de la grille crée => Vertical Mapper. En utilisant la fonction : Show Grid Manager => Analysis => Point Inspection. Puis on construit ainsi les fichiers grid : Grid\_mod\_ens.tab ,Grid\_mod\_det.tab.

11- Exportation des fichiers fonds par la moulinette Sogreah. Pour créer les fichiers Hiswa : Grid\_mod\_ens et Grid\_mod\_det → Exporter la table via la moulinette Sogreah, pour créer les fichiers d'extension .HIW.

12- Création des fichiers .BOT en renommant les fichiers Hiswa en fichiers .BOT

13- Regroupement des fichiers nécessaires au calcul dans le dernier calcul : ens.SWA ,det.SWN, goswan ,SWAN\_411.EXE, SWAN\_411.BOT, mod.BOT (modèle d'ensemble), det.BOT (modèle de détail).

14- lancement du calcul et résultat en double cliquant sur goswan, on aura les fichiers résultats : ens.PRT et det.PRT => Il donne le compte rendu du calcul et affiche les erreurs.

-ens.SWA et det.SWA=> Ce sont les fichiers résultats en chaque noeud de la grille du calcul.

-ens.NST et det.NST => Donne des résultats sous forme de graphe.

-ens.RES et det.RES => Donne des résultats sous forme de tableau.

### **Remarque**

MapInfo a la particularité de prendre la bathymétrie en valeurs positives et la topographie en valeurs négatives.

### **III.2.Résultat de la réfraction**

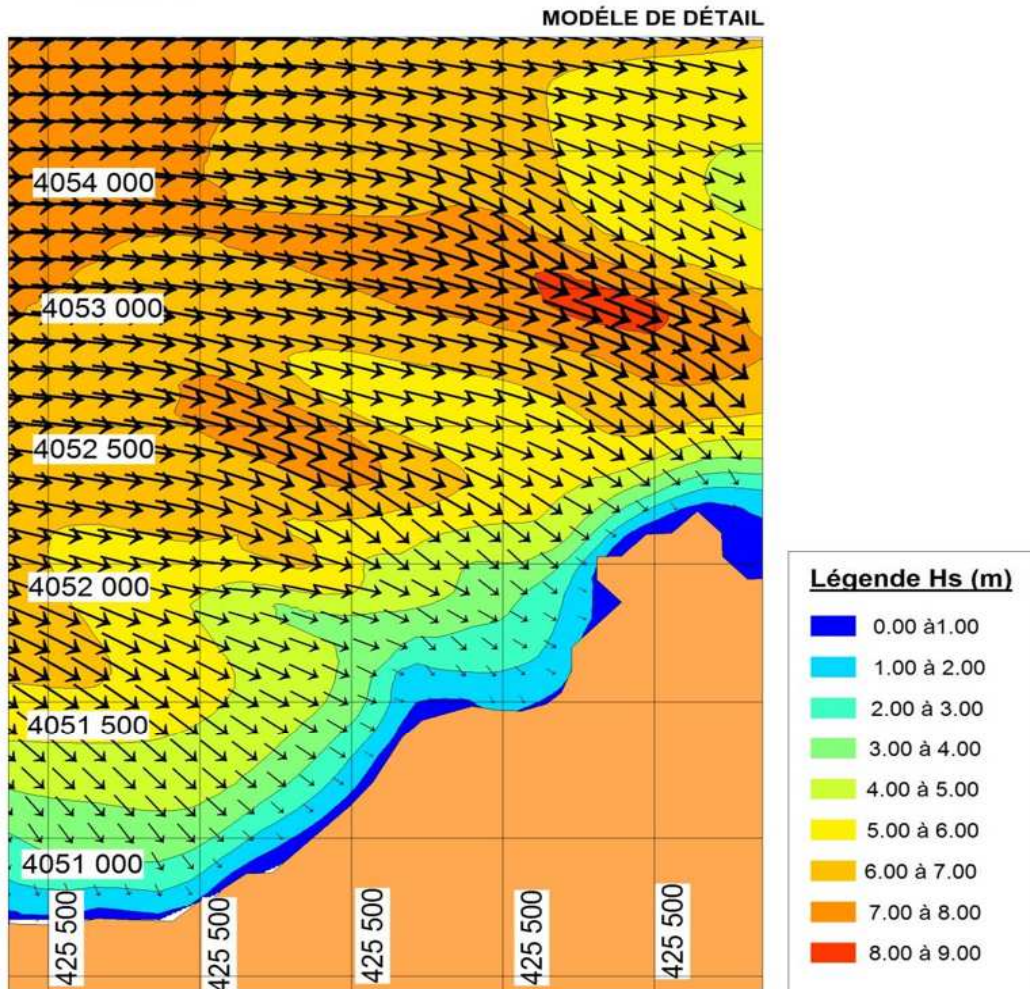
Les résultats de l'étude de propagation de la houle sont illustrés par :

- La détermination quantitative des conditions de la houle en quelques points, qui permet l'établissement de la statistique locale de la houle à cette profondeur qui sera utilisée pour l'estimation de la capacité de transport sédimentaire et le dimensionnement des ouvrages de protection.
- Les épures de réfraction qui montrent qualitativement comment hauteur de houle et Direction changent au cours de la propagation de la houle, elles sont représentés sous format A4 après traitements des résultats du calcul SWAN par le logiciel MapInfo 7.8 (Voir figures ci après).

**ETUDE DE PROTECTION DU RIVAGE D'EL KETTAR -CHERCHELL**

Etude de la réfraction de la houle  
Caractéristiques de la houle au large

Houle Biennale  
H=7.36 m  
Tp = 13.19  
Direction :N270°



Niveau altimétrique :NGA  
Niveau planimétrique : UTM WGS 84 - Zone 31 Nord

Batymétrie extraite de la carte SHOM n° 3030  
(Cote Septentrionale d'Afrique - partie comprise entre Alger et Cherchell)  
Levé bathymétrique de terrain réalisé par le IEM ,2012

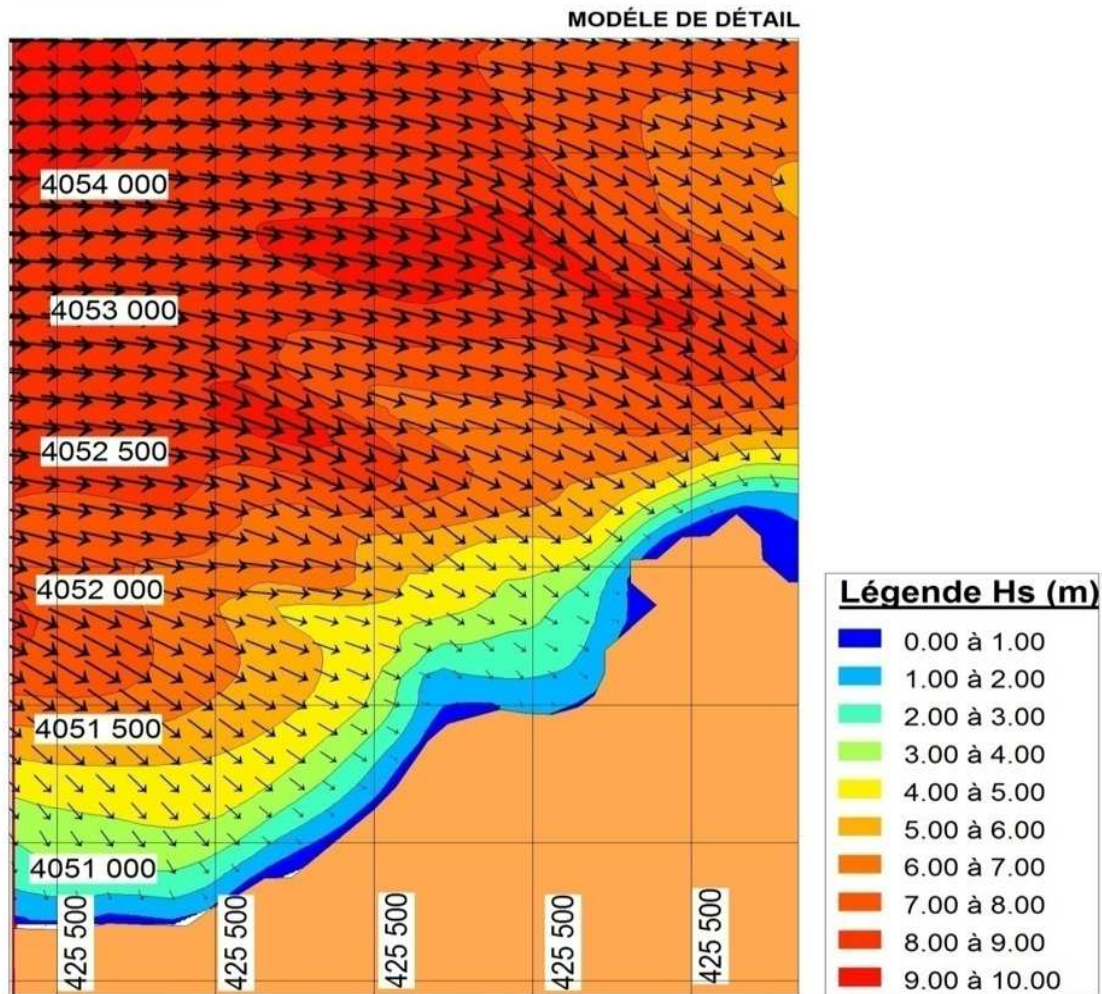
**Figure III.3 :** Réfraction de la houle pour une direction N 270 °et une période de 13.19 s

(2016)

ETUDE DE PROTECTION DU RIVAGE D'EL KETTAR -CHERCHELL

Etude de la réfraction de la houle  
Caractéristiques de la houle au large

Houle Décennale  
H=9.22 m  
Tp = 14.49 s  
Direction : N270°



Niveau altimétrique : NGA  
Niveau planimétrique : UTM WGS 84 - Zone 31 Nord

Bathymétrie extraite de la carte SHOM n° 3030  
(Cote Septentrionale d'Afrique - partie comprise entre Alger et Cherchell)  
Levé bathymétrique de terrain réalisé par le IEM ,2012

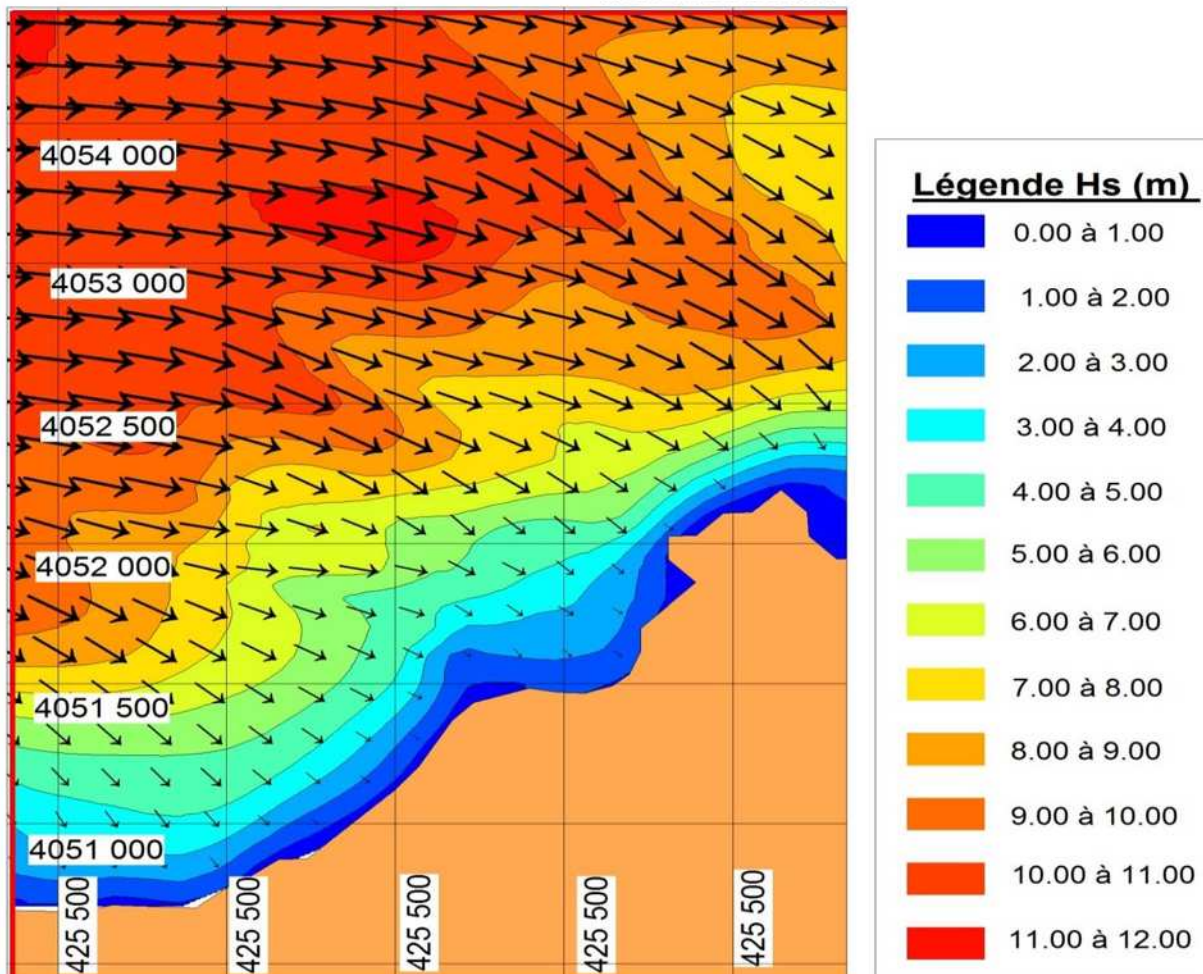
Figure III.4 : Réfraction de la houle pour une direction N270 ° et une période de 14.49 s (2016)

### ETUDE DE PROTECTION DU RIVAGE D'EL KETTAR -CHERCHELL

Etude de la réfraction de la houle  
Caractéristiques de la houle au large

Houle Cinquantennale  
H=11.08 m  
Tp = 15.51 s  
Direction :N270°

MODÈLE DE DÉTAIL



Niveau altimétrique :NGA  
Niveau planimétrique : UTM WGS 84 - Zone 31 Nord

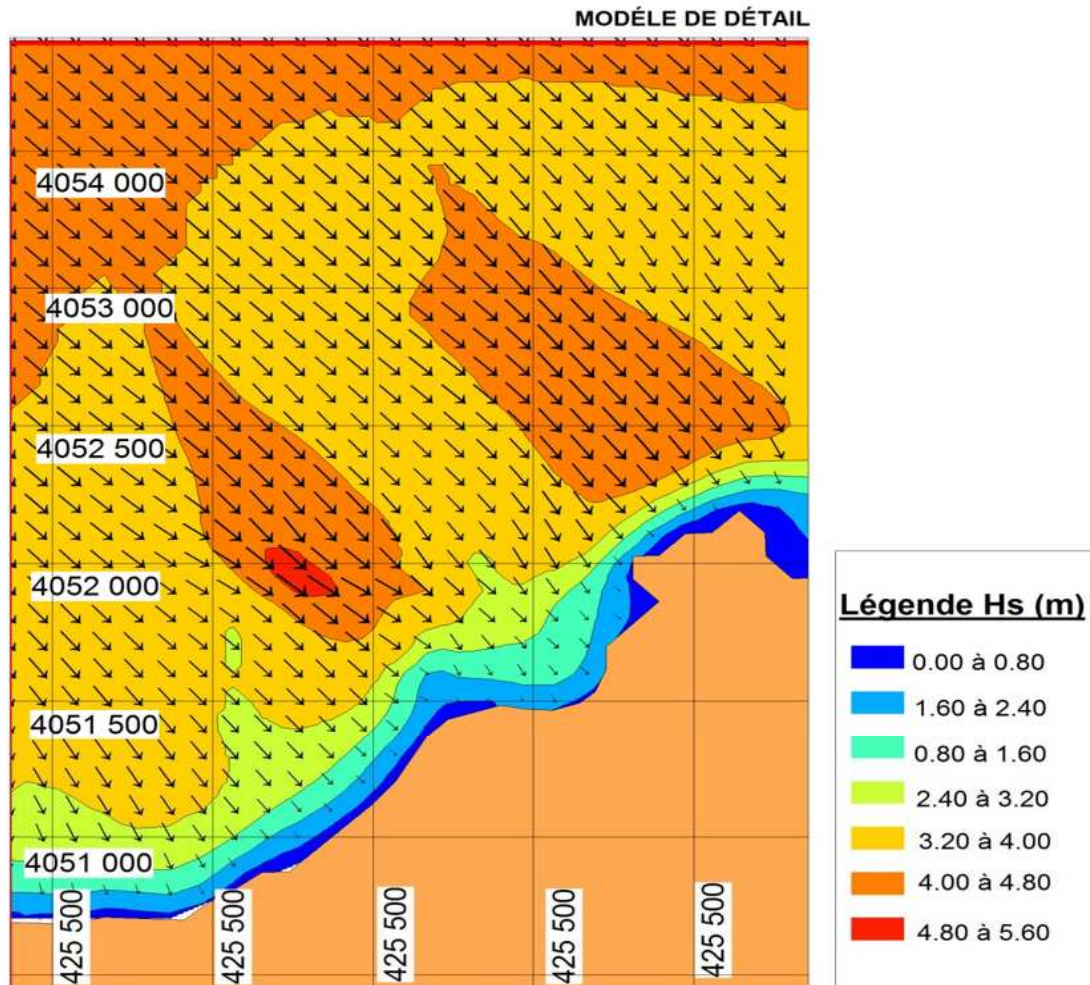
Bathymétrie extraite de la carte SHOM n° 3030  
(Cote Septentrionale d'Afrique - partie comprise entre Alger et Cherchell)  
Levé bathymétrique de terrain réalisé par le LEM ,2012

Figure III.5 : Réfraction de la houle pour une direction N 270 ° et une période de 15.51 s (2016)

### ETUDE DE PROTECTION DU RIVAGE D'EL KETTAR -CHERCHELL

Etude de la réfraction de la houle  
Caractéristiques de la houle au large

Houle Biennale  
H=4.16 m  
Tp = 9.99  
Direction :N315°



Niveau altimétrique :NGA  
Niveau planimétrique : UTM WGS 84 - Zone 31 Nord

Bathymétrie extraite de la carte SHOM n° 3030  
(Cote Septentrionale d'Afrique - partie comprise entre Alger et Cherchell)  
Levé bathymétrique de terrain réalisé par le IEM ,2012

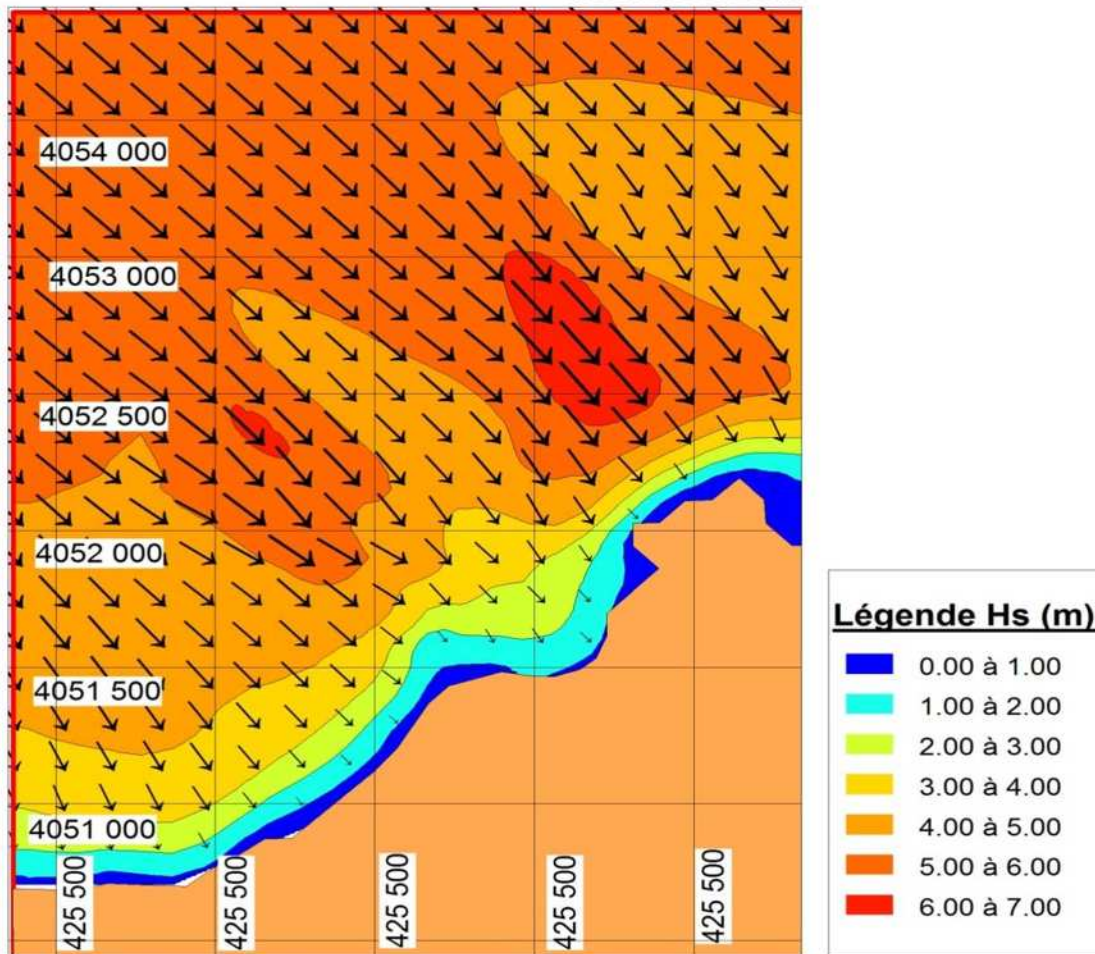
**Figure III.6 :** réfraction de la houle pour une direction N 315 ° et une période de 9.99 s (2016)

**ETUDE DE PROTECTION DU RIVAGE D'EL KETTAR -CHERCHELL**

Etude de la réfraction de la houle  
Caractéristiques de la houle au large

Houle Décennale  
H=5.40 m  
Tp = 11.42 s  
Direction : N315°

MODÈLE DE DÉTAIL



Niveau altimétrique : NGA  
Niveau planimétrique : UTM WGS 84 - Zone 31 Nord

Bathymétrie extraite de la carte SHOM n° 3030  
(Cote Septentrionale d'Afrique - partie comprise entre Alger et Cherchell)  
Levé bathymétrique de terrain réalisé par le LEM ,2012

Figure III.7 : Réfraction de la houle pour une direction N 315 ° et une période de 11.42 s

(2016)

**ETUDE DE PROTECTION DU RIVAGE D'EL KETTAR -CHERCHELL**

Etude de la réfraction de la houle  
Caractéristiques de la houle au large

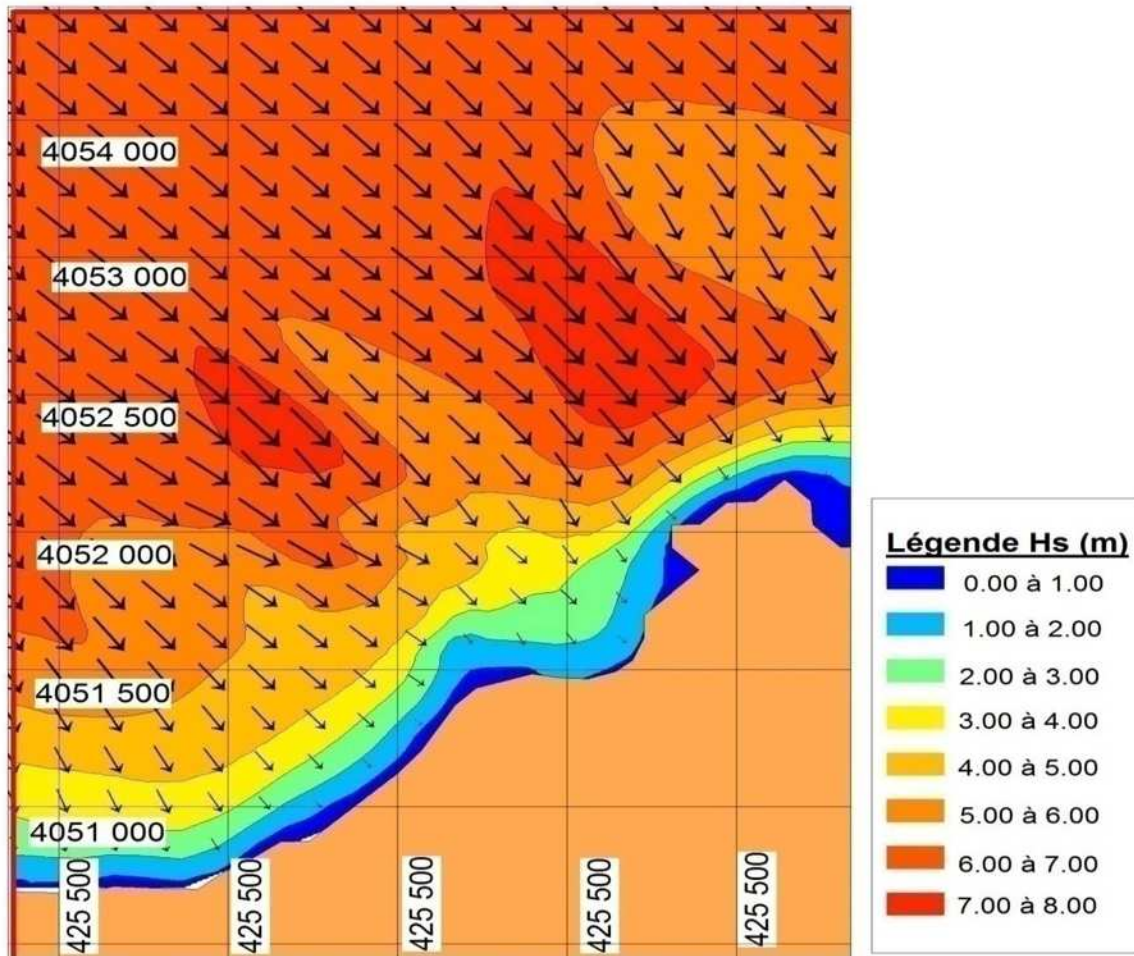
Houle Cinquantennale

H=6.65 m

Tp = 12.60 s

Direction :N315°

MODÈLE DE DÉTAIL



Niveau altimétrique :NGA

Niveau planimétrique : UTM WGS 84 - Zone 31 Nord

Bathymétrie extraite de la carte SHOM n° 3030

(Cote Septentrionale d'Afrique - partie comprise entre Alger et Cherchell)

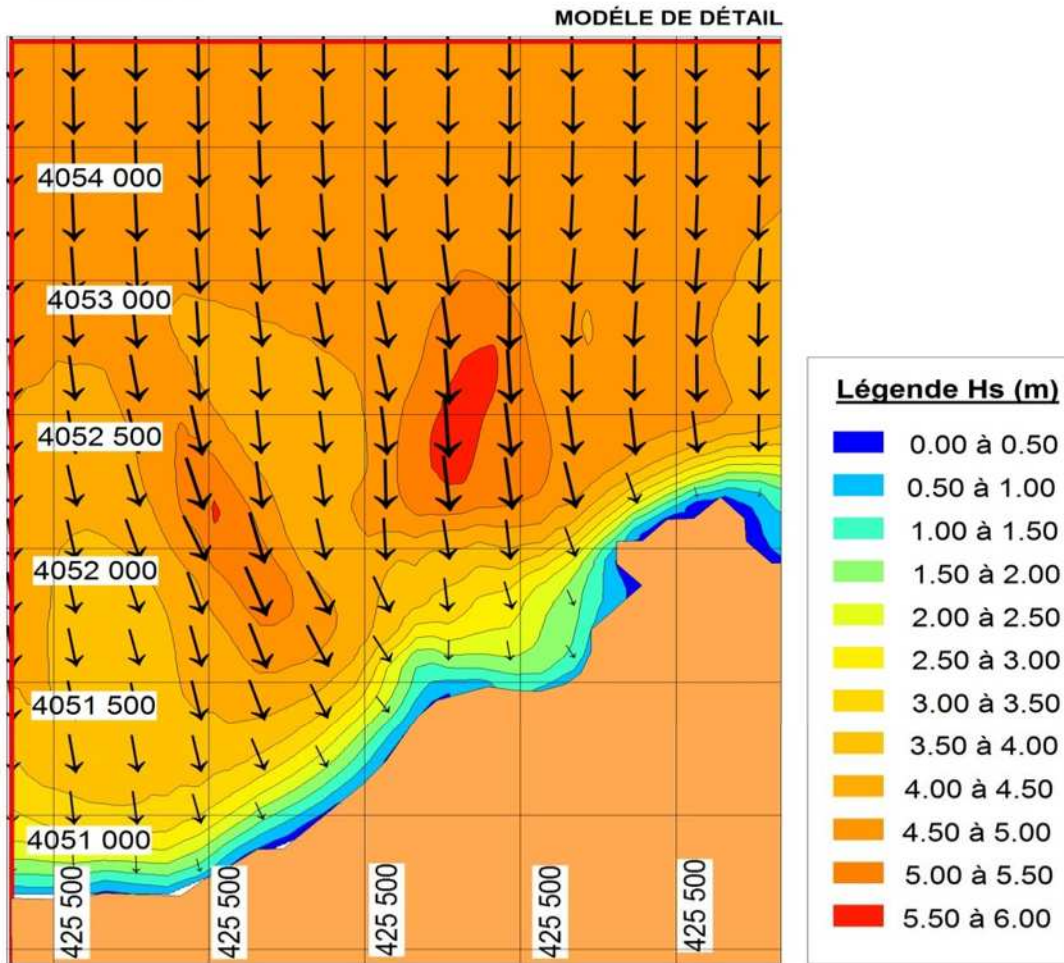
Levé bathymétrique de terrain réalisé par le LEM ,2012

Figure III.8 : Réfraction de la houle pour une direction N 315 °et une période de 12.60 s( 2016).

**ETUDE DE PROTECTION DU RIVAGE D'EL KETTAR -CHERCHELL**

Etude de la réfraction de la houle  
Caractéristiques de la houle au large

Houle Biennale  
H=4.90 m  
Tp = 10.88 s  
Direction : N360°



Niveau altimétrique : NGA  
Niveau planimétrique : UTM WGS 84 - Zone 31 Nord

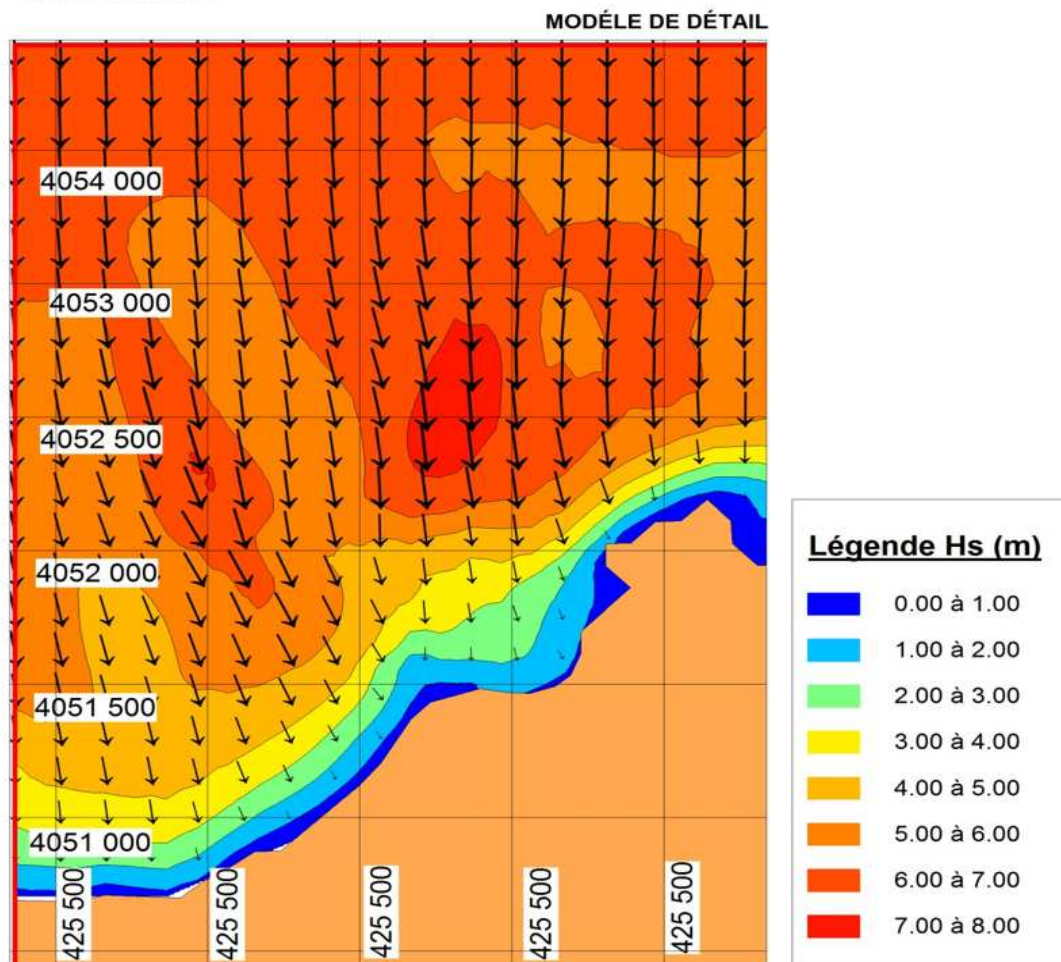
Bathymétrie extraite de la carte SHOM n° 3030  
(Cote Septentrionale d'Afrique - partie comprise entre Alger et Cherchell)  
Levé bathymétrique de terrain réalisé par le LEM ,2012

**Figure III.9** : Réfraction de la houle pour une direction N 360 ° et une période de 10.88 s (2016).

### ETUDE DE PROTECTION DU RIVAGE D'EL KETTAR -CHERCHELL

Etude de la réfraction de la houle  
Caractéristiques de la houle au large

Houle Décennale  
H=6.38 m  
Tp = 12.37 s  
Direction :N360°



Niveau altimétrique :NGA  
Niveau planimétrique : UTM WGS 84 - Zone 31 Nord

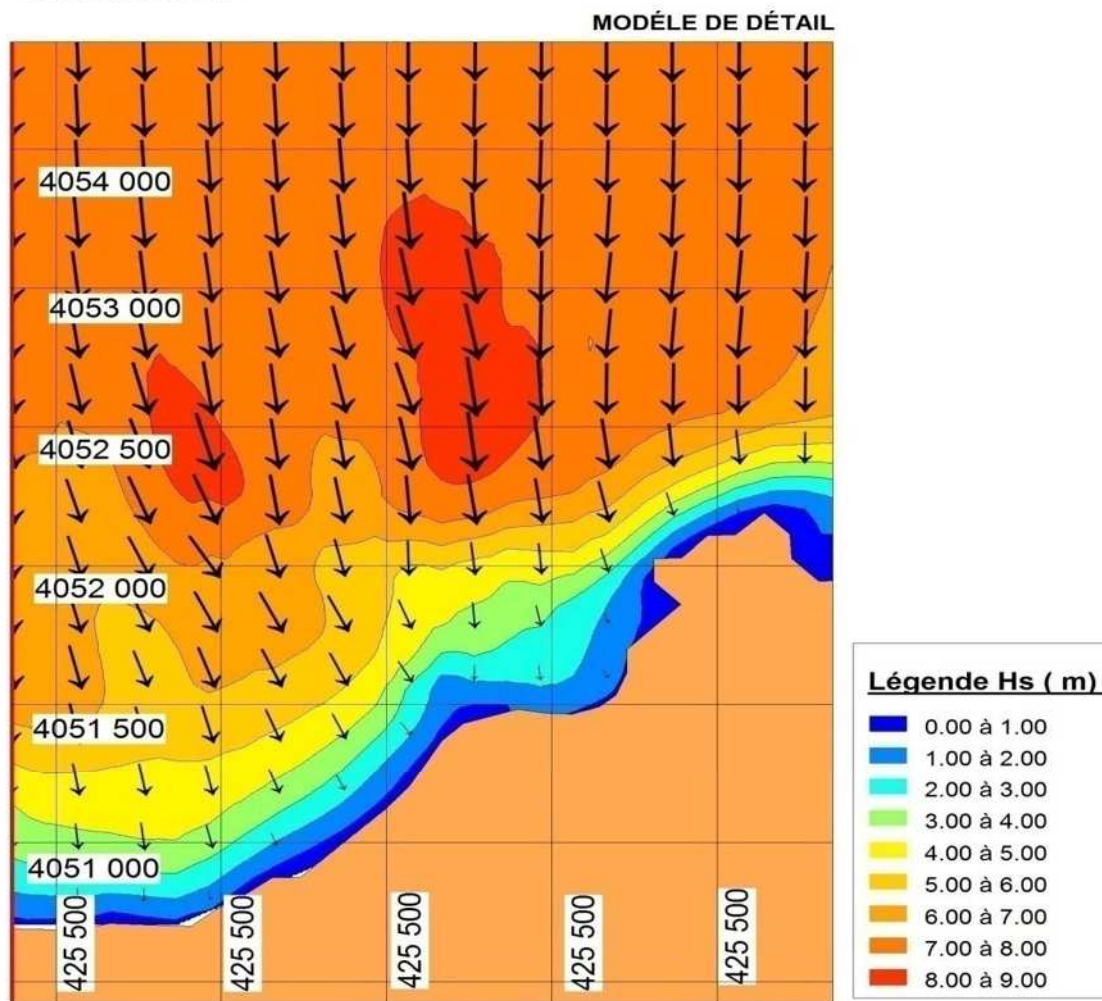
Bathymétrie extraite de la carte SHOM n° 3030  
(Cote Septentrionale d'Afrique - partie comprise entre Alger et Cherchell)  
Levé bathymétrique de terrain réalisé par le IEM ,2012

Figure III.10 : Réfraction de la houle pour une direction N 360 ° et une période de 12.37 s ( 2016)

**ETUDE DE PROTECTION DU RIVAGE D'EL KETTAR -CHERCHELL**

Etude de la réfraction de la houle  
Caractéristiques de la houle au large

Houle Cinquantennale  
H=7.87 m  
Tp = 13.51 s  
Direction :N360°



Niveau altimétrique :NGA  
Niveau planimétrique : UTM WGS 84 - Zone 31 Nord

Bathymétrie extraite de la carte SHOM n° 3030  
(Cote Septentrionale d'Afrique - partie comprise entre Alger et Cherchell)  
Levé bathymétrique de terrain réalisé par le LEM ,2012

**Figure III.11** : Réfraction de la houle pour une direction N 360 ° et une période de 13.51 s  
( 2016).

**III .1.3. Interprétation des résultats de la réfraction**

Le coefficient de réfraction ( $K_r$ ) a été calculé pour chaque direction retenue à des profondeurs (-1,-3, -5, -7, -10, -15) pour les résultats de calcul issus des données du SSMO.

**✚ Direction de houle (biennale)**

Les résultats de période de retour biennale ressort que les houles de secteur Ouest ont une amplitude importante par rapport à celles de direction Nord et Nord-Ouest. Le coefficient de réfraction révèle que les houles des trois directions conservent presque la totalité de leurs énergies sur les profondeurs de 15m et donc elles sont peu réfractées. ( $K_r$  varie entre 0.94 à 0.79). par contre ces houles pivotent en allant vers les petites profondeurs ce qui induit à la perte d'énergie au fur à mesure. La réfraction est importante notamment pour les houles de secteur N270, elle se fait brutalement qui est à l'origine de la morphologie sous-marine (présence d'une pente abrupt). Ce fait permet aux houles de garder de leurs énergies.

**Tableau III .3:** Moyenne de réfraction et  $H_s$  des périodes de retour pour la houle biennale.

Direction	Profondeur											
	-1		-3		-5		-7		-10		-15	
N270°	Hs	1.45	Hs	2.36	Hs	3.24	Hs	4.01	Hs	5.01	Hs	5.84
	Kr	0.20	Kr	0.32	Kr	0.44	Kr	0.54	Kr	0.68	Kr	0.79
N360°	Hs	1.28	Hs	2.17	Hs	3.08	Hs	3.78	Hs	4.76	Hs	4.44
	Kr	0.26	Kr	0.44	Kr	0.63	Kr	0.77	Kr	0.97	Kr	0.91
N315°	Hs	1.24	Hs	2.09	Hs	2.87	Hs	3.80	Hs	3.87	Hs	3.82
	Kr	0.30	Kr	0.50	Kr	0.69	Kr	0.84	Kr	0.93	Kr	0.94


**✚ Direction de houle (Décennale)**

Les houles du secteur Ouest sont plus au moins réfractées, le coefficient de réfraction est estimé à 0.75 sur les profondeurs de 15 m ce qui montre que la houle a perdu que peu de son énergie de large et qu'elle se diminue en rapprochant de la cote. les orthogonales a un pivotement d'ouest à nord-ouest. Les houles de direction N360, conservent plus de la moitié

de leurs énergie qui s'exprime par le coefficient de réfraction d'ordre 0.89 sur 15 m de profondeur. Les houles ont tendance d'être plus réfractées vers la cote ce qui contribue à la diminution de leurs énergies par dissipation. Ce fait s'explique par la diminution de la valeur de coefficient de réfraction. Les houles proviennent sous-un angle de N315° sont très peu Réfractées , ce qui montre la valeur de coefficient de réfraction de 0.97 sur une profondeur de 15m.les houles conservent presque la totalité de leurs énergies vu qu'elles ont une déviation légère à l'approche de rivage. (En termes d'énergie sont plus importante que celles d'ouest).

**Tableau III.4 :** Moyenne de réfraction et Hs des périodes de retour pour les houles décennale

		<b>Profondeur</b>											
<b>direction</b>		-1		-3		-5		-7		-10		-15	
<b>N270°</b>	Hs	1.53	Hs	2.49	Hs	3.42	Hs	4.27	Hs	5.58	Hs	6.95	
	Kr	0.17	Kr	0.27	Kr	0.37	Kr	0.46	Kr	0.61	Kr	0.75	
<b>N360°</b>	Hs	1.35	Hs	2.31	Hs	3.31	Hs	4.14	Hs	5.58	Hs	5.70	
	Kr	0.21	Kr	0.36	Kr	0.52	Kr	0.65	Kr	0.87	Kr	0.89	
<b>N315°</b>	Hs	1.32	Hs	2.23	Hs	3.13	Hs	3.91	Hs	4.77	Hs	5.23	
	Kr	0.24	Kr	0.41	Kr	0.58	Kr	0.72	Kr	0.88	Kr	0.97	

 Direction de houle (cinquantennale)

les résultats du tableau montre que la hauteur significative de la houle diminue du large vers la cote pour les trois directions accompagnée d'abaissement plus au moins important de son énergie ce qui a été exprimé par les valeurs de coefficient de réfraction qui ont une tendance de se rapprocher vers une valeur nul , en allant vers la cote. Ce fait est dû à la topographie sous-marine de la zone qui affecte tous les secteurs de la houle. Ces derniers atteignent un coefficient de réfraction maximum d'ordre 0.96 qui correspond à la direction Nord-Ouest sur une profondeur de 15m et un minimum d'une valeur 0.14 qui est dévoilée par la direction Ouest sur 1m de profondeur. Cela montre que la houle en provenance du secteur Ouest (270 °) se réfracte beaucoup plus que les houles des autres directions (N 360° et N 315°). En somme, les hauteurs significatives de la direction Ouest sont plus importantes

comparant aux autres ce qui mène à une élévation de leur énergie qui a une action dominante sur la zone.

**Tableau III.5 :** Moyenne de réfraction et Hs des périodes de retour pour les houles

		<b>Profondeur(m)</b>					
<b>Direction</b>		-1	-3	-5	-7	-10	-15
<b>N 270°</b>	Hs	1.60	2.60	3.56	4.47	5.94	7.73
	Kr	0.14	0.23	0.32	0.40	0.54	0.70
<b>N 360°</b>	Hs	1.42	2.42	3.49	4.38	6.07	6.81
	Kr	0.18	0.31	0.44	0.56	0.77	0.87
<b>N 315°</b>	Hs	1.40	2.36	3.32	4.18	5.39	6.38
	Kr	0.21	0.36	0.50	0.63	0.81	0.96

### Conclusion :

Les résultats pour les trois périodes de retour (Biennale, Décennale, Cinquantennale ) montrent que les houles de direction Ouest atteignent la cote avec une hauteur importante et donc portent une énergie assez élevée. En vue de leur influence sur la zone, les houles de période cinquantennale et de secteur N270 vont être prises en considération dans le dimensionnement des ouvrages de protection.

## III.2. Etude bathymétrique

### Introduction

Les fonds marins constituent généralement le prolongement naturel des structures terrestres, il y a souvent donc une relation étroite entre la géomorphologie du littoral et la topographie générale des fonds. Conformément au marché d'étude le département reconnaissance sur site du LEM a effectué un levé bathymétrique du site (2012). L'analyse bathymétrique sur la base des cartes établies à partir des points de sondes relevés sur terrain (résultats de la campagne

bathymétrie) ainsi que l'analyse de quelques profils rendant compte de la morphologie sous-marine sont développées ci-après.

### **III.2.1. Travaux sur terrain**

#### **III.2.1.1. Le levé bathymétrique**

Le levé bathymétrique consiste à déterminer les coordonnées tridimensionnelles des points du fond marin dans le système géodésique WGS84 à l'aide d'un GPS et d'un échosondeur. Les travaux sur le terrain ont consisté en un levé bathymétrique de la zone d'étude, exécutés suivant des profils parallèles réalisés avec un maillage de 500 \* 1000 mètres et ceci sur 3726 stations. Ce levé bathymétrique servira entre autre de bathymétrie d'approche entre 0 et -20 m à l'étude de réfraction de la houle, ces données ont été fournies par le LEM.

#### **III.2.1.2. Moyens**

✓ **Moyens humains :**

-01 Ingénieur chef de mission ,01 Ingénieur topographe ,01 Marinier.

✓ **Moyens matériels :**

-02 Récepteurs GPS 5700 et accessoires, 01 GPS de poche GARMIN 76 C,01 Radio modem Pacific Crest ,01 niveau de chantier , embarcation ,01 Pc portable + accessoires informatiques ,01 Véhicule utilitaire.

### **III .2.2. La carte bathymétrique**

La carte bathymétrique constitue un document de base nécessaire pour la reconnaissance de la morphologie sous-marine qui nous renseigne sur : La présence éventuelle de phénomènes de rupture de pentes ; La connaissance des courbes bathymétriques devant servir aux modifications des phénomènes hydrodynamiques. Les résultats obtenus par les levés bathymétriques et topographiques sont exploités dans l'élaboration des cartes bathymétriques à l'aide de **progiciel MIKE Zéro** qui consiste en création de maillage ce qui permettant par la suite d'interpoler les données de profondeur.

#### **III .2.2.1. Définition**

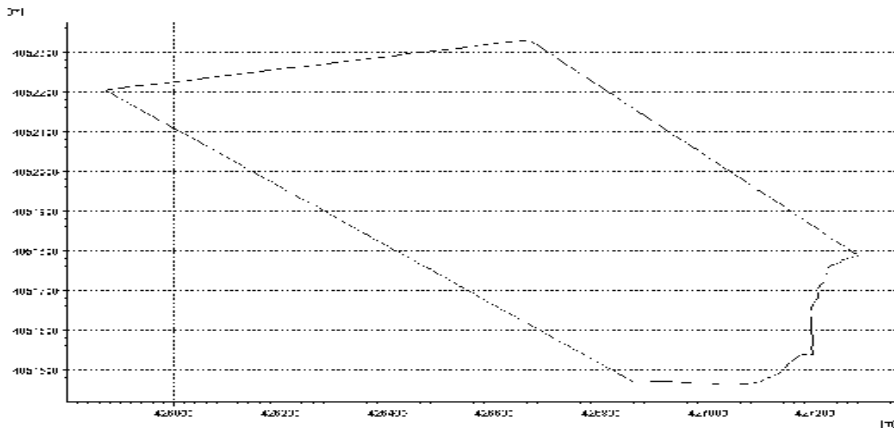
Mike Zéro est progiciel commun de DHI, permet l'analyse, la présentation et la visualisation dans un environnement de projet orientée à travers ses outils de différentes fonctions, ainsi il donne accès au système de modélisation développé par DHI. Dans le cadre de réaliser une représentation des profondeurs, on a utilisé l'outil Mesh Generator.

### III .2.2.2. Procédure

- Préparation des données sous-forme d'un fichier xyz , comportant les coordonnées du trait de cote et l'autre contenant les données de profondeur.
- La conception du maillage s'effectue sur le parametre Mesh generate de Mike Zéro, en déterminant le système de projection « WGS\_1984\_UTM\_Zone 31N »
- A la suite d'importation des données et la délimitation des frontieres de la zone, le fichier de maillage sera généré .ce dernier constitue des éléments du maillage sous-forme triangulaire et des profondeurs.

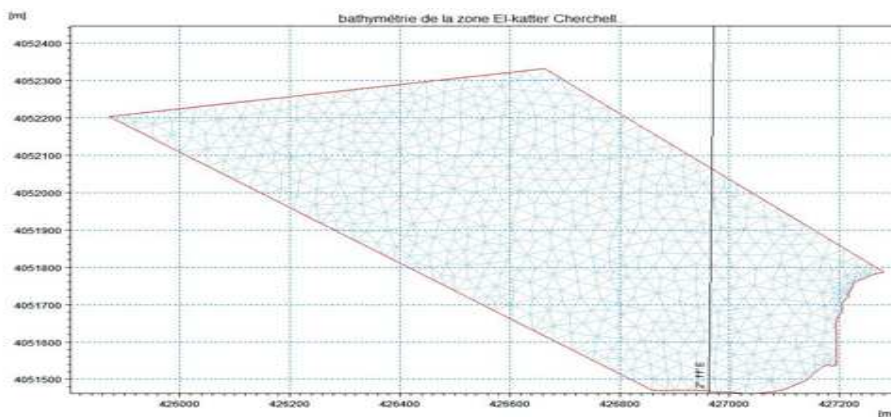
### III .2.3. Etapes de réalisation de la carte bathymétrique

- ✓ Limiter la zone d'étude (boundary) pour la création d'une mesh.



**Figure III.12 :** limitation de la zone d'étude pour la création d'un maillage.

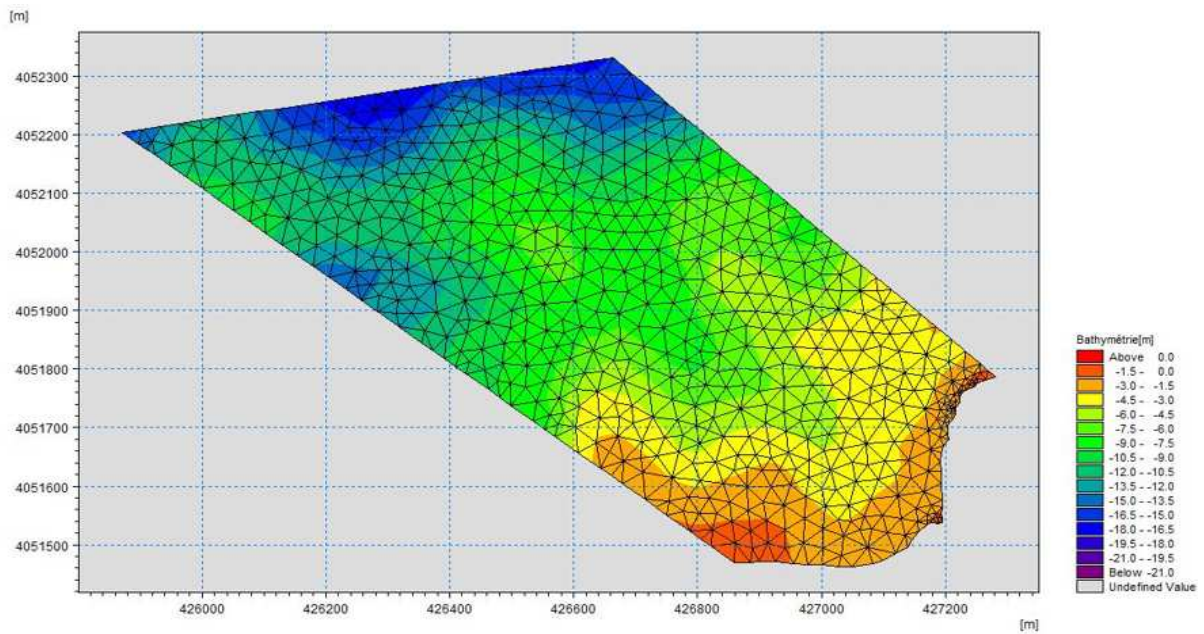
- ✓ Résultante de la mesh file de la zone d'étude « El Kettar » pour interpoler les données Bathymétrique :



**Figure III.13 :** Résultante de la mesh file de la zone pour interpoler les données de Bathymétrie

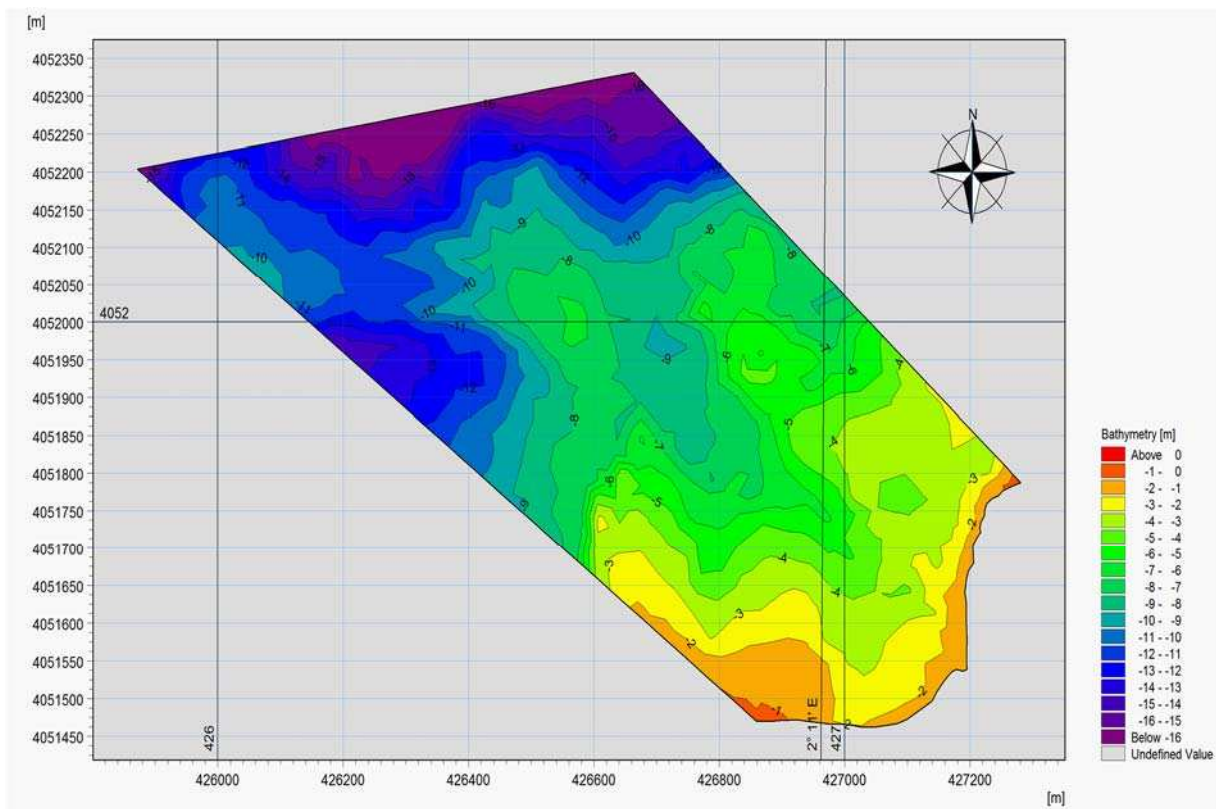
## Chapitre III : Etude hydrodynamique et bathymétrique de « El Kettar »

- ✓ Une interpolation de mesh file permet de déterminer une bathymétrie propre à chaque nœud du maillage .



**Figure III.14:**Création les contours des profondeurs suit à l'interpolation.

- ✓ Obtention de la carte bathymétrique :



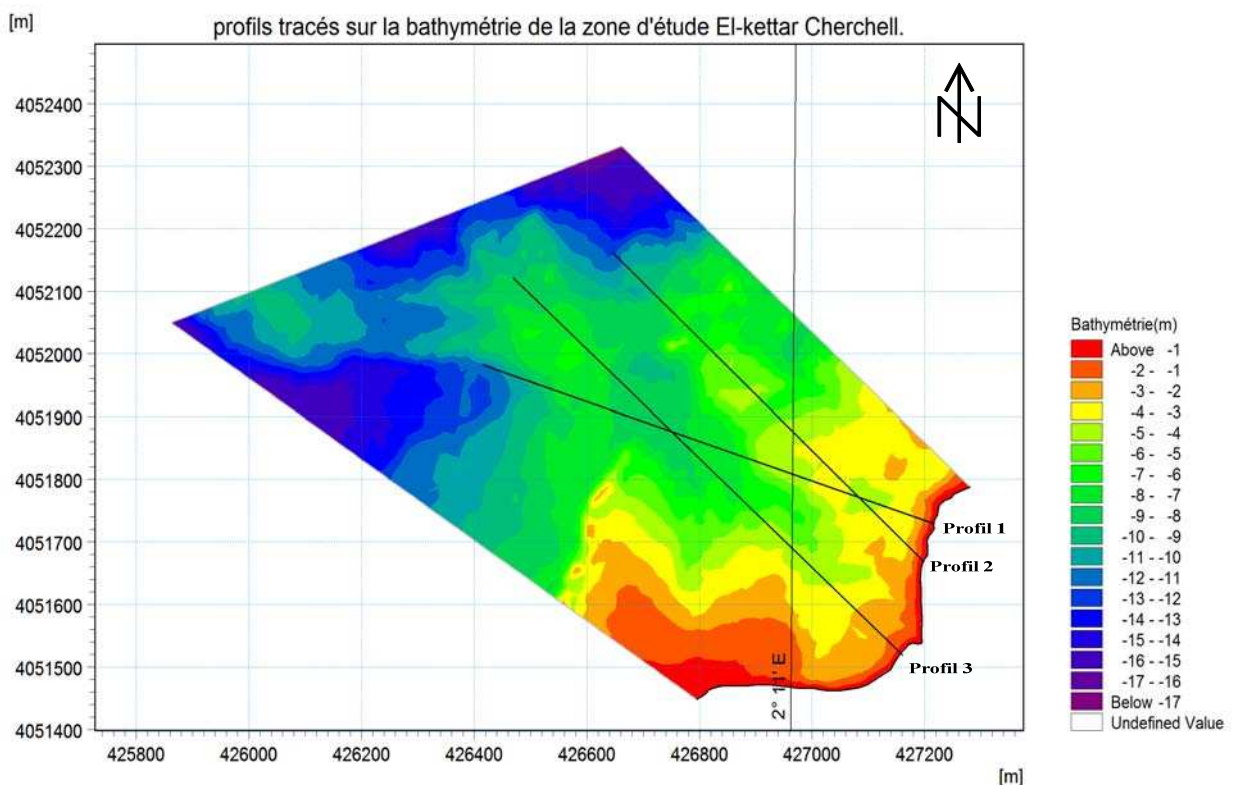
**Figure III.15:**Bathymétrie de la zone d'étude de « El-Kettar » (2016)

### III.2.4. Résultats d'analyses bathymétriques

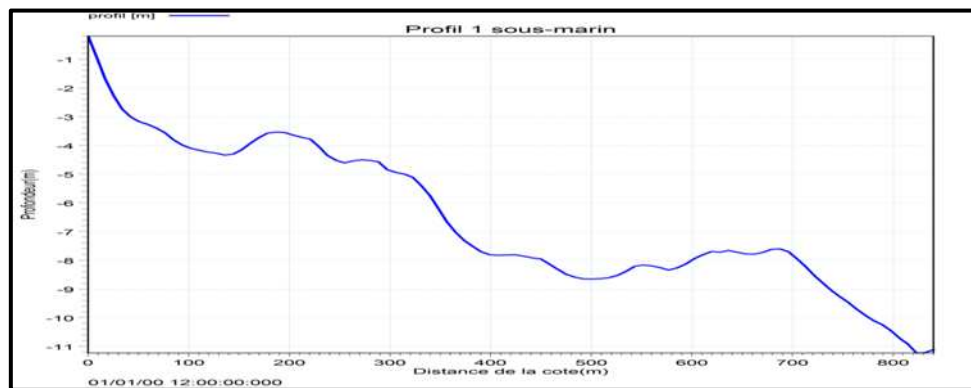
D'après la carte bathymétrique résultante, la morphologie sous-marine de la zone illustre que les profondeurs sont très irrégulières ce qui montre le caractère d'un fond rocheux. Des isobathes parallèles et serrées se trouvent sur des profondeurs de 0 à 2m. au-delà de 3 m les isobathes deviennent très serrées et irrégulières, notamment ceux de la partie Ouest ce qui définit la présence d'une pente plus raide d'une part, d'autre part les isobathes du centre et l'Est ont une équidistance réduite et moins importante comparant à la partie Ouest

### III.2.5. Les profils bathymétriques

Des profils transversaux sous-marins ont été tracés (perpendiculaire à la ligne de la côte), afin d'étudier au mieux la morphologie sous-marine et comprendre l'évolution du fond de la côte vers le large.



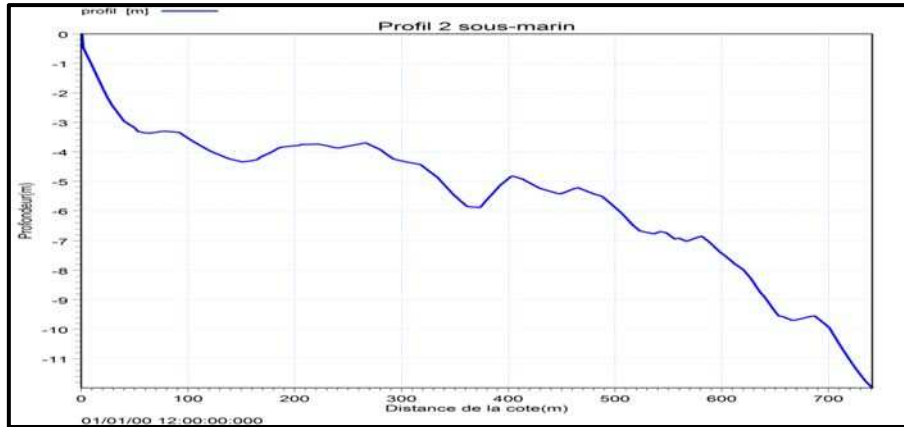
-Les trois profils obtenus sont les suivants : **Profile 1**



**Figure III.17:** Profil bathymétrique n°1

Le profil présente un aspect irrégulier, il montre de la côte à 4 m de profondeur une pente importante de 16% sur une distance de 70m . A partir de 150 m le fond se caractérise par des segments qui s'élèvent formant des demi-cercles peu pointus et des ruptures de pente très abrupte.

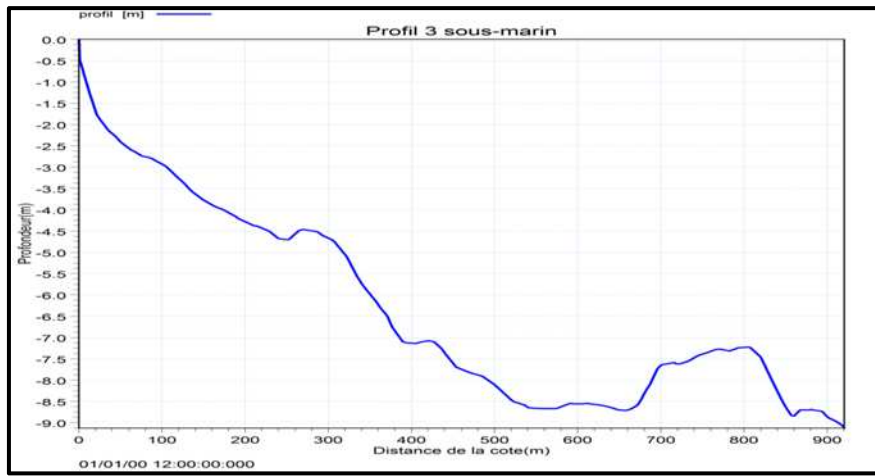
**Profile 2 :**



**Figure III.18:** Profil bathymétrique n°2

Le profil a une allure d'un fond irrégulier, caractérisé par une pente abrupte de 16% qui atteint des profondeurs jusqu'à -3.3m, sur une distance de 52m de la côte suivie d'une pente douce s'étend sur une largeur étroite. Le fond est caractérisé par des ruptures de pente le long du profil accompagnées de surélévations des profondeurs.

### Profile 3 :



**Figure III.19:**Profil bathymétrique n°3

Le profil s'étend sur une distance de 900m, il illustre des irrégularités du fond marin. On constate une pente importante de 33% qui se prolonge jusqu'à 3m de profondeur suivie d'un replat sur une distance de 10 m. Une succession de rupture de pente se produit au-delà de 4.5 m en atteignant des profondeurs de 9 m.

### **Conclusion :**

L'étude bathymétrique du site « El kettar », a révélé que le fond marin présenté un caractère rocheux irrégulier accompagné des pentes abruptes en général d'ordre 20% qui se trouvent sur différentes profondeurs notamment près de la côte.

### **C. Transit littoral**

#### **III .3.1. Estimation du transit littoral**

L'estimation du transit sédimentaire est réalisée par un calcul manuel en s'appuyant sur la

formule du LCHF suivante :

$$Q = \frac{K}{C} * g * H_s^2 * T * t * f(\alpha) \quad \text{III .3}$$

Q = volume de sable transporté (en m<sup>3</sup>)

K = coefficient de transport du sédiment (2,5 10<sup>-6</sup>)

g = accélération de la pesanteur (en m/s<sup>2</sup>)

$c$  = cambrure de la houle (0,03)

HS = amplitude significative de la houle (en m)

T = période de la houle (en secondes)

$f(\alpha)$  = fonction de l'obliquité " $\alpha$ " de la crête de la houle avec la côte

$t$  = durée d'action de la houle (en secondes).

Le coefficient  $k$  pour des sables fins à moyens ( $d_{50}$  de 0,2 à 0,5 mm) varie de 2,5 à 5,0  $10^{-6}$  ; pour un sable de diamètre supérieur à 0,5mm le coefficient  $k$  peut s'exprimer par la relation suivante :  $k = 1,8 \cdot 10^{-6} d^{-1/2}$  avec  $d$ , diamètre en mm. **III .4**

❖ L'utilisation de cette formule conduit à déterminer d'abord :

### **III.3.1.1. Le bilan énergétique annuel de transport caractérisé par : $H_s^2 \cdot T$ .**

**t** On aura alors à suivre les étapes suivantes pour définir les paramètres  $H_s$ , T et t

#### **1. Détermination des amplitudes $H_s$ :**

- ✓ La détermination de la fréquence d'apparition « fri » de la houle par période et par direction est donnée par la formule suivante : (fri n'a pas d'unité, elle représente un nombre).  $fri = \text{nombre de cas d'apparition (par direction et par période)} / 8870$  **III .5**

-La valeur 8870 correspond au nombre total d'apparition des houles, pour toute direction et période confondu.

-La détermination de la moyenne des fréquences d'apparition  $P_n$  qui est égale à :  $P_n = \sum fri / n$

Avec :  $n$  = nombre de fois où la houle ayant une amplitude comprise dans les intervalles suivant : [0- 2 m], [2,5- 4 m], [5- 9 m].....et ayant la même période  $P_n$  n'a pas d'unité, elle représente un nombre.

- ✓ Calcule des amplitudes  $H_s$  :

A partir des droites de régression logarithmiques qui représentent les amplitudes  $H_s$  observées en fonction des fréquences d'apparition  $fri$  :  $f(fri) = H_s$  observées, les amplitudes  $H_s$  à la côte sont déterminées. En effet, on obtiendra des courbes de tendances de la forme suivante :  $H_s = A \ln(P_n) + B$  ; il suffit alors de remplacer les valeurs de A, B (déterminés des droites de régression) et  $P_n$  (calculée auparavant).  $H_s$  est exprimée en mètres.

**2.** T représente la période, puisqu'on calcule le transit annuel, donc on utilisera les périodes de 6, 8 et 10 secondes. Ce qui fait que pour chaque direction, trois périodes sont utilisés.

#### **3. Détermination de la durée t :**

- ✓ Détermination des fréquences d'observation F : (F est exprimé en pourcentage)

Elle est déterminée en utilisant la formule suivante :  $F \% = \Sigma (\text{nombre de cas pour chaque} / 8870) \times 100$ . **III .6**

- ✓ Calcul de la durée  $t$  : ( $t$  est exprimée en secondes.)

La durée d'action de la houle d'un secteur donné est obtenue en utilisant la formule Suivante :

$$t = (365 \times 24 \times 3600 / 100) \times F\% \quad \text{III .7}$$

Une fois que tous ces paramètres sont obtenus, le bilan énergétique peut être défini.

### **III.3.1.2. Détermination de l'angle « $\alpha$ » et de la fonction $f(\alpha)$ :**

La fonction  $f(\alpha)$  liée à l'obliquité de la houle  $f(\alpha) = \sin [7/4(\alpha)]$ . **III .8**

Pour déterminer théoriquement le transit le long de la côte qui est directement lié à la direction de la houle au large, il est nécessaire d'évaluer l'angle ( $\alpha$ ) et la fonction qui en découle. Cette obliquité de la houle avec la ligne de rivage étant supposée mesurée par profondeur de 15 à 20 m, dans notre étude ( $\alpha$ ) a été déterminée pour la profondeur de 10 m.

L'angle ( $\alpha$ ) est déterminé par la méthode suivante :

- $\alpha = \text{angle crête de la houle} - \text{côte} = 180^\circ - (90^\circ + \beta)$ .
- $\beta = \text{angle orthogonale} - \text{côte}$ .
- $\sigma = \text{angle orthogonale} - \text{Nord}$ .

### **III .3.2. Données utilisées :**

Les données nécessaires à l'établissement du transit sédimentaire proviennent des résultats de l'étude de réfraction de la houle réalisée dans le cadre de cette étude et sont obtenus par extraction de points au niveau du site à la profondeur de 10 m à partir du modèle SWAN.

### **III .3.3. Résultats des calculs effectués**

#### **1- L'estimation du bilan énergétique**

##### **a- Détermination de l'amplitude $H_s$**

- ✓ **Les fréquences et les moyennes d'apparition  $f_{ri}$  et  $P_n$**

En utilisant le tableau du document de l'U.S. Naval Weather Command intitulé « Summary of Synoptic Meteorological Observations » (S.S.M.O tome II, Zone Algiers (1963-1970), où les houles sont classées en fonction de leur période, de l'amplitude au large ainsi que du nombre

de leur apparition et ceci par direction. Ces données sont traitées pour obtenir les fréquences  $f_{ri}$  et les moyennes  $P_n$ . (voir annexe)

✓ **Résultat du calcul des amplitudes  $H_s$**

En traçant les droites de régression logarithmiques qui représentent les amplitudes  $H_s$  observées en fonction des fréquences d'apparition  $f_{ri}$  :  $f(f_{ri}) = H_s$  observées,  $H_s$  est déterminée en utilisant les équations des courbes de tendances tracées par direction et par période.

**Tableau III.6:** Résultats du calcul de  $H_s$  par direction et par période

Direction	Période (s)		
	6	8	10
N 360 °	$H_s = 0.94$	$H_s = 2.55$	$H_s = 4.69$
N 315 °	$H_s = 1.02$	$H_s = 2.43$	$H_s = 4.17$

**Tableau III.7:** Moyennes des résultats obtenus de l'étude de la réfraction de la houle à la profondeur de 10 m par direction et par période.

Direction \ Période (s)	360 ° N			315 ° N		
	$H_s$ (m)	T(s)	Angle d'arrivée ( $\theta^\circ$ )	$H_s$ (m)	T(s)	Angle d'arrivée ( $\theta^\circ$ )
6	0.94	6.2	356	1.02	6.2	316
8	2.55	7.68	352	2.43	7.68	318
10	4.69	10.28	348	4.17	10.28	319

**b- Résultat du calcul de la durée d'action  $t$  :**

Le temps «  $t$  » est donné par la relation suivante :  $t = \frac{365j}{100} \times 24 \frac{H_x}{3600s} \times f(\%)$  **III .9**

✓ **Calcul des fréquences d'observation  $F\%$**

Le tableau suivant récapitule les fréquences d'observation de la houle par période et par direction :

**Tableau III.8:** Résultats du calcul des fréquences d'observation F % par direction et par période

Direction	Période (s)		
	6	8	10
N 360 °	7.52	0.94	0.09
N 315 °	5.72	0.81	0.03

✓ **Calcul de la durée t :**

Le tableau suivant récapitule les durées d'action de la houle par période et par direction :

**Tableau III.9:** Résultats du calcul des durées d'action « t » de la houle par direction et par période

Direction	Période (s)		
	6	8	10
N 360 °	2371507.20	296438.40	28382.40
N 315 °	1803859.20	255441.60	9460.80

Les bilans énergétiques par direction et par période sont représentés dans le tableau récapitulatif suivant :

**Tableau III.10:** Résultats du calcul du bilan énergétique annuel par direction et par période

Direction	Période (s)			Total bilan énergétique
	6	8	10	
N 360 °	12 991 875.32	14 803 896.55	6 417 825.68	34 213 597.55
N 315 °	11 635 757.69	11 584 128.56	1 691 192.66	24 911 078.91
<b>Total Général : <math>H_s^2 \cdot T \cdot t = 59124658.46 \text{ (m}^2 \text{ s}^2\text{)}</math></b>				

### c- Détermination de l'angle $\alpha$ : ("α" angle que fait la crête de la houle avec la côte)

L'angle  $\alpha$  a été déterminé manuellement. Les angles obtenus ainsi que leurs fonctions  $f(\alpha)$  sont récapitulés dans le tableau suivant :

**Tableau III.11:**Résultats du calcul des angles  $\alpha$  et les fonctions  $f(\alpha)$  par direction et par période

Direction Période (s)	360 °N		315 ° N	
	$\alpha^\circ$	$f(\alpha)$	$\alpha^\circ$	$f(\alpha)$
6	-67	-0.89	27	0.73
8	-63	-0.94	29	0.77
10	-59	-0.97	30	0.79

### d- Estimation du transport sédimentaire :

Le bilan est ainsi calculé, le tableau suivant récapitule le transit sédimentaire par direction et par période, ainsi que le transit sédimentaire global :

**Tableau III.12:**Estimation du transit sédimentaire global par période et par direction

Direction Période(s)	360 °N	315 °N	Total par période	
	6	-9471.00	7006.41	-9471.00
8	-11 388 .89	7355.89	-11 388 .89	7355.89
10	-5 122 .52	1100.20	-5 122 .52	1100.20
<b>Total par direction</b>	-25 982 .41	15 462.59	-25 982 .41	15 462.59
<b>Total général = 41 445 .00 m<sup>3</sup> / an</b>				

**Ouest (+)15 462.59 m3/an**

**Est (-) 25 982.41m3/an**

Le volume résultant des sédiments pouvant être déplacés de l'Est vers l'Ouest serait de **10 500 m<sup>3</sup>/an**. (volume faible).

**Remarque :** Par convention le signe (+) correspond à un transport Ouest → Est et le signe (-) correspond à un transport Est → Ouest.

**CHAPITRE IV :**  
**TECHNIQUES ET METHODES**  
**DE PROTECTION CONTRE**  
**L'EROSION**

## **Introduction**

L'évolution naturelle d'une zone, qui n'est soumise à aucune contrainte d'aménagement, reste le moyen de défense le plus efficace, mais la forte anthropisation de la bande littorale a rendu nécessaire la lutte contre le phénomène érosif pour protéger les infrastructures construites à proximité des rivages .On a désormais pris l'habitude de structurer les plages par des ouvrages de défense tels que les épis et les brise-lames. Les ouvrages de défense ont pour rôle essentiel de s'opposer à l'attaque de la mer en recevant directement le choc des lames (murs, brise mer), en dissipant leur énergie sur un talus d'enrochement (digue à talus).

### **IV.1. Nécessité d'une étude d'aménagement**

En vue de la vulnérabilité de la géomorphologie de la zone El-Kettar, l'occupation de la falaise ainsi que les actions énergétiques des houles ont conduit à un risque naturel majeur en menaçant considérablement la vie humaine par l'effet de l'érosion .Pour y remédier un recours à l'étude de protection est nécessaire afin de mettre en œuvre les moyens de protection avant que la situation ne devienne irréversible

### **IV.2. Les ouvrages de protection envisageables**

La plage, absorbant graduellement l'énergie de la houle par les déferlements successifs qu'elle provoque, constitue le meilleur ouvrage de défense du littoral contre l'érosion .C'est en effet la dynamique naturelle des plages qui est fondamentale pour la survie physique de la plage et pour la diversité de ses habitats biologiques. Pour toute défense contre l'érosion, il est donc plus efficace de se tourner vers des ouvrages de défense souples qui travaillent en harmonie avec les dynamiques naturelles en jeu. Toutefois, la diversité des phénomènes à l'origine de l'érosion, conduit à une diversité de réponses techniques .Ainsi, pour améliorer l'efficacité des interventions de protections, on adopte souvent des défenses de natures mixtes. Suite aux différents résultats obtenus lors des études élaborées sur la zone d'étude .On a pu retenir les variantes suivantes :

**IV.2.1. Variante n°1** (Elle comporte deux brise-lames immergé en enrochements).

#### **IV.2.1.1. Les brise-lames**

## CHAPITRE IV : TECHNIQUES ET METHODES DE PROTECTION CONTRE L'EROSION

Les brise-lames sont des ouvrages longitudinaux mis en place sur les petits fonds, donc en avant de la côte, et disposés plus ou moins parallèlement à son tracé (Paskoff, 1993).

Les ouvrages longitudinaux de bas de plage et de petits fonds, dénommés brise-lames, ont pour objet (olivier 2007) :

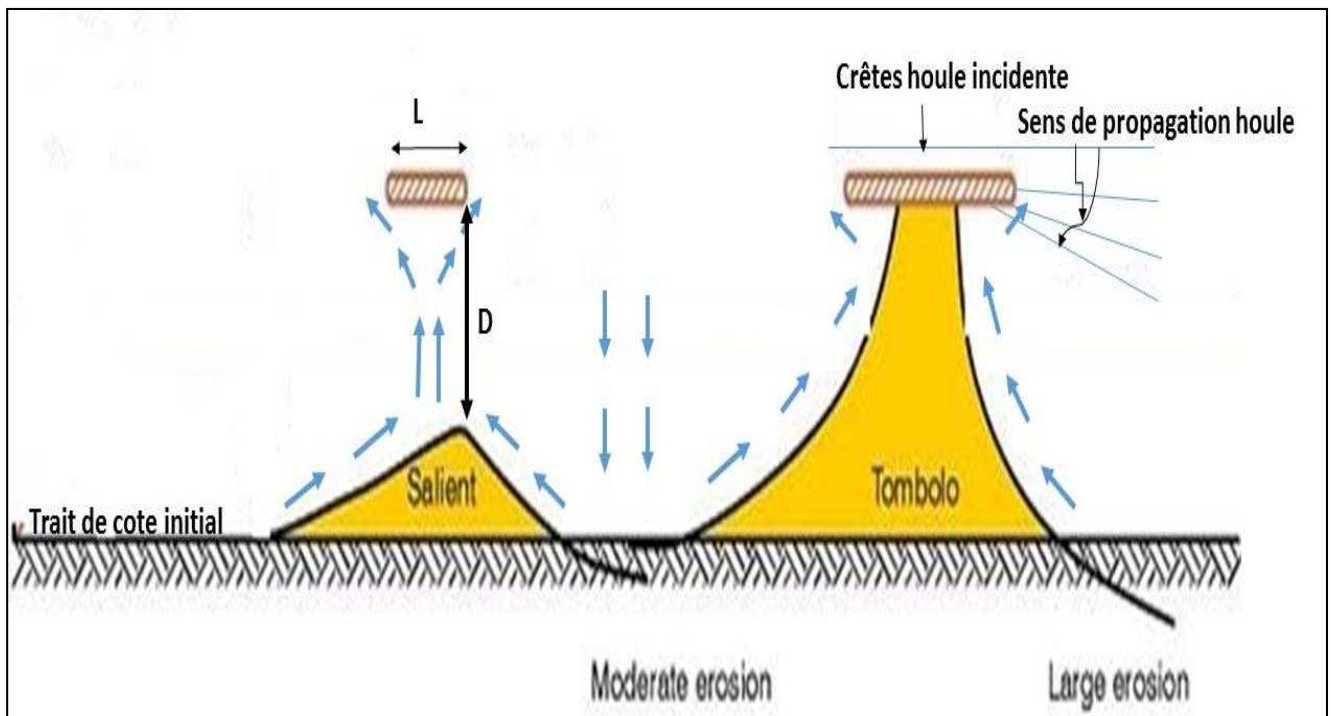
### ✿ Pour les sédiments

- ✓ Limiter la dissipation transversale des matériaux, lorsque de transports importants de Sédiments s'effectuent dans le profil.
- ✓ Diminuer l'énergie de la houle permettant aux sédiments en transit de s'accumuler à leur abri.

### ✿ Pour les houles

Les brise-lames exercent deux types d'action sur les houles en s'approchant du rivage :

- ✓ Diminuer l'énergie des houles atteignant le plan d'eau et la zone côtière situés à son abri, en réfléchissant ou absorbant au moins partiellement l'énergie des houles qui le frappent directement.
- ✓ Ils provoquent la diffraction des houles à ses extrémités ce qui entraîne une modification du tracé des orthogonales et des crêtes de houle en arrière de l'ouvrage.



**Figure VI.1 :** Schématisation de l'action des Brise-lames ( Sogreah , 2016 modifié)

### IV.2.1.2. Dimensionnement

#### IV.2.1.2.1. La distance de la brise lame par rapport à la côte $L_c$

Il n'existe pas actuellement des règles bien définies pour fixer les caractéristiques optimales des brise-lames (profondeur d'implantation, longueur et espacement, hauteur). Celles-ci dépendent de l'amplitude de la marée, de la houle (hauteur, période, longueur d'onde) de la pente de l'ouvrage et de la pente des fonds. Il semble en tout état de cause que les brise-lames efficaces sont ceux qui ne sont pas franchis par les vagues. Des études faites par LCHF( Laboratoire Central Hydraulique de France ) montrent que pour qu'un brise-lame puisse provoquer la formation d'un tombolo se raccordant à l'ouvrage, il faut que les limites d'expansion de la houle, issues de chacune des extrémités de l'ouvrage, se croisent sur le trait de côte, ce qui conduit dans le cas d'une houle normale à la côte, à la relation :  $l > 1.2 (L_c + 0.3 L)$  VI.1 Avec :

$l$  : longueur de brise- lame.

$L_c$  : distance de brise lame à la cote.

$L$  : longueur d'onde de la houle au point considéré.

Le CERC montre que la formation d'un tombolo peut habituellement être évitée si  $l < L_c$ . En revanche, si la longueur de l'ouvrage devient supérieure à sa distance à la côte, la probabilité de formation d'un tombolo augmente, et pour  $l > 2 L_c$ , un tombolo se forme.

$L_0 = 1,56T^2$  et que  $T = 15.51$  s VI.2

Avec :  $L_0$  = la longueur d'onde au large

AN :  $L_0 = 1,56 (15.51)^2$  donc  $L_0 = 375.274$  m

$L_c = L/2$

AN :  $L_c = 375.274/2$  donc  $L_c = 187$  m

#### IV.2.1.2.2. La longueur du brise- lame

La longueur du brise-lames est le paramètre qui conditionne le plus directement la longueur de rivage protégée, elle est liée à deux autres longueurs qui sont la distance  $l_c$  et la longueur d'onde de la houle  $L$ . Selon les auteurs, différentes formules sont proposées pour choisir la longueur globale à donner à un brise lames, Charpentier (1920) propose une relation qui est en accord avec le fait que la formation des tombolos dépend de la distance

**CHAPITRE IV : TECHNIQUES ET METHODES DE PROTECTION CONTRE L'ÉROSION**

relative et de la longueur d'onde relative :  $l > 1.2 (L_c + 0.3 L)$ . Sogreah propose de rattacher la longueur d'onde du brise-lames à la longueur d'onde de la houle (dans le cas de petits fonds) par une expression de la forme :  $l = 1,25 L$ .

Par contre, Chapon (1987) conseille de donner au brise-lame une longueur équivalente à plusieurs longueurs d'ondes ce qui recoupe les idées de Toyoshima (1984) où il préconise les longueurs suivantes en fonction de la profondeur d'implantation des brise-lames :

**Tableau IV. 1** : Proposition pour la longueur des brise-lames (Chapon et al , 1987 )

Ouvrage	Prés de la côte	Faible profondeur	Moyenne profondeur	Grande profondeur
Profondeur d (m)	<1	1 à 2	1 à 6	>6
Longueur l (m)	2à3L	3 à 5 L	3 à 10 L	3 à 10 L

On commence par le calcul suivant :

Au pied de l'ouvrage

$$L = L_0 * \sqrt{\tanh\left(\frac{4\pi^2 D_p}{T^2 g}\right)}$$

**VI.3**

L : La longueur d'onde au pied de l'ouvrage.

Dp: la profondeur au pied de l'ouvrage.

AN :  $L = 82.67 \text{ m}$ .  $l > 1,2(187 + 0,3 \times 82.67) = 254 \text{ m}$ .

$l > 254\text{m}$ . On a choisi  $l = 260\text{m}$ .

-Donc la longueur du brise-lames :  $l = 260 \text{ m}$

**IV.2.1.2.3. Espacement entre deux brises- lames**

Des brise –lames séparés constituent une solution très fonctionnelle pour une longue ligne de côte .Le LCHF recommande pour qu'il n'y ait pas d'érosion du rivage entre deux brise –lames successifs, un espacement entre deux brise-lames tel que :  $e < 0.83 L_c + 0.5L$

Le CERC recommande un espacement égal à deux fois la longueur d'onde de la houle (2L) avec une longueur de chaque ouvrage inférieure à sa distance au rivage.

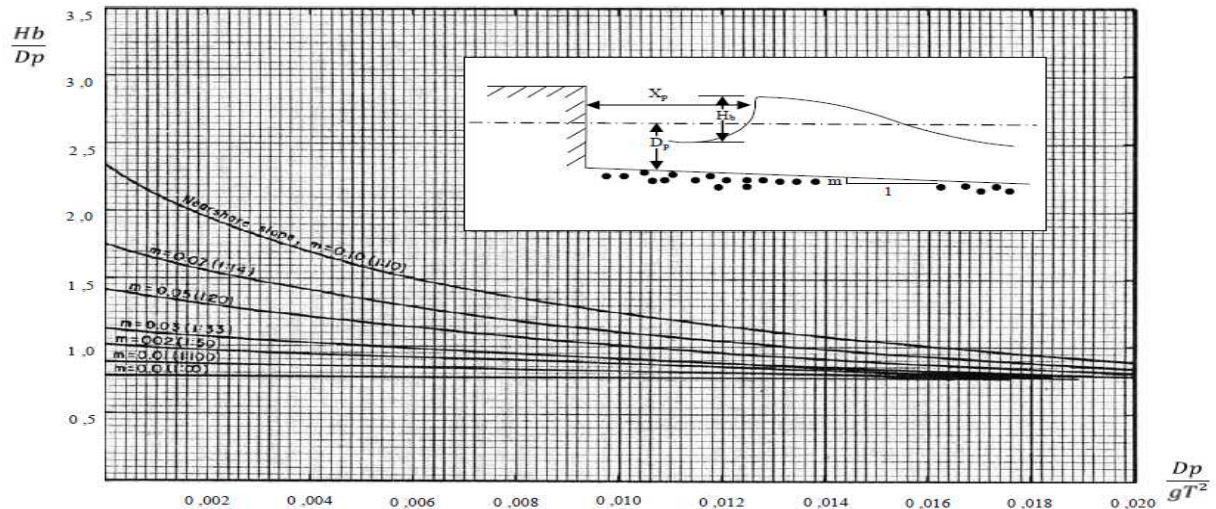
AN :  $L_c = 187\text{m}$ ,  $L = 260\text{m}$   $\longrightarrow e < 285\text{m}$  donc :  $e = 285\text{m}$ .

**IV.2.1.2.4. Hauteur de la houle au pied de l'ouvrage (Hb)**

Pour un ouvrage de défense des côtes, ainsi que pour tout ouvrage, la hauteur de la houle de dimensionnement est bien souvent celle qui correspond à la hauteur de la plus grande

## CHAPITRE IV : TECHNIQUES ET METHODES DE PROTECTION CONTRE L'EROSION

lame déferlante pouvant atteindre l'ouvrage. On distingue en général quatre types de déferlement (glissant, plongeant, cassant et gonflant) mais on s'intéresse surtout ici au déferlement plongeant qui est le plus dangereux pour les ouvrages. La figure VI.2 permet de déterminer Hb directement à partir de la hauteur d'eau Dp au pied de l'ouvrage et de la pente m.



**Figure VI.2 :** Détermination de la houle de déferlement ( Waggel 1972 , in Boualili )

Le calcul de Hb :

On a : Dp = 3 m (la profondeur au pied de l'ouvrage) .

g : La force de gravité, g=9,81.

AN :  $\frac{Dp}{gT^2} = \frac{3}{9.81.(15.51)^2} = 0.001$  On prend la pente 0.01 et avec l'utilisation de

l'abaque on aura :  $\frac{Hb}{Dp} = 0.87$

Donc: Hb = Dp. 0.87

AN: Hb = 3. 0.87 = 2.6    Donc Hb = 2.6

### IV.2.1.2.5.La largeur en crête du brise-lames (B)

La largeur en crête du brise-lames est calculée par la formule suivante :  $B = Hb \cdot 4$  **VI.5**

B = 4 \* 2.6    donc B = 10 m

### IV.2.1.2.6.La hauteur du brise-lames

La hauteur à donner à un brise-lames dépend de l'objectif poursuivi, dans la mesure où son efficacité dépend en grande partie de sa cote d'arase, qui conditionne la hauteur des houles qui le franchissent sans déferler.

## CHAPITRE IV : TECHNIQUES ET METHODES DE PROTECTION CONTRE L'EROSION

Pour un brise-lames submersible, on peut estimer que l'amortissement de la houle qu'il provoque est égal à 50% si l'ouvrage est arasé à une cote voisine du niveau de l'eau au repos.

Dans notre zone d'étude, nous avons choisi la hauteur de la surface libre de l'ouvrage ( $F = -0,5\text{m}$ ) à une profondeur ( $H_b$ ) de 2.6m, alors la hauteur  $h = 2\text{ m}$ .

Avec ces dimensions on prévoit une installation de deux brise-lames au niveau de notre zone d'étude « **El Kettar** » comme indique la figure suivante :



### IV.2.1.2.7. Stabilités des ouvrages de protection

Globalement les ouvrages à talus comprennent au minimum 3 couches de matériaux de granulométrie différente ayant des fonctions bien spécifiques. La carapace en enrochements naturels ou artificiels à fort indice de vides supports directement l'action de la houle, le noyau (Généralement massif en tout venant) constitue le corps de la digue, enfin le filtre disposé entre le noyau et la carapace, assure la transition entre ces 2 couches et le poids de ses éléments ne doit pas être inférieure 1/10 de ceux constituant la carapace. Les formules les plus usuelles pour le dimensionnement des blocs utilisées dans les ouvrages de protection contre la houle sont celles de Hudson et de Van Der Meer. Si on arrive à calculer le poids de bloc de la carapace de l'ouvrage par ces formules, on peut déduire d'autres paramètres de la structure comme l'épaisseur, poids de sous-couche...

## CHAPITRE IV : TECHNIQUES ET METHODES DE PROTECTION CONTRE L'ÉROSION

L'ouvrage est dimensionné par la formule de Hudson, qui est la plus utilisée.

### ❖ La carapace

La carapace forme la première défense contre l'action d'érosion des vagues et représente aussi une protection pour les sous-couches. C'est en effet entre les blocs de la carapace que l'essentiel de l'énergie contenue dans les vagues va être dissipée, avant de rentrer en contact avec les sous-couches.

Les carapaces peuvent être construites le plus couramment avec :

- ✚ des enrochements naturels,
- ✚ des blocs artificiels massifs en béton.

**a- Le poids de la carapace** Poids des blocs de carapace, formule de Hudson (1974)

$$W_{carapace} = \frac{\gamma_s * H_b^3}{K_D \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1\right)^3 * \cot \alpha} \quad \text{VI.6}$$

Avec :

W : poids unitaire des blocs de la carapace en tonne (t).

$\gamma_s$  : densité du matériau du bloc en (t/ m<sup>3</sup>).

$\gamma_w$  : densité de l'eau de mer (1,026 t/ m<sup>3</sup>).

H : hauteur de la houle de dimensionnement en (m).

$\alpha$  : angle du talus en enrochements.

KD : coefficient adimensionnel qui dépend de la nature du bloc, du type d'aménagement et de la pente.

✚ On prenant :

H = 2.6 m ; KD = 3,5 ;  $\gamma_w = 1,026 \text{ t/ m}^3$  ;  $\cot \alpha = 3/2 = 1.5$  ;  $\gamma_s = 2,65 \text{ t/m}^3$ .

**Application numérique :**  $W_{carapace} = \frac{2.56 * (2.6)^3}{3.5 * \left(\frac{2.65}{1.026} - 1\right)^3 * 1.5} = \frac{46.58}{20.69} = 2.25 \text{ t}$  . W = 2.25 t

❖ Le diamètre nominal (D<sub>NB</sub>) :  $D_{N50} = \sqrt[3]{\frac{W_{carapace}}{(\gamma)^B}} = \text{0.95 m}$  VI.7

❖ L'épaisseur de la carapace :

L'épaisseur de la carapace est déterminée par la formule suivante :

$$E = n * K_t * D_{N50} = \text{2.19 m} \quad \text{VI.8}$$

## CHAPITRE IV : TECHNIQUES ET METHODES DE PROTECTION CONTRE L'EROSION

Kt : coefficient de couche (1,15 pour l'enrochement anguleux), n : nombre de couche (n=2).

### **b- La butée de pied**

Il s'agit d'une partie importante de l'ouvrage qui assure un double rôle, d'une part un blocage en pied des blocs de carapace pour éviter leur glissement, d'autre part une protection contre les affouillements de pied.

$$\text{Poids de butée de pied : } W_{\text{butée}} = \frac{1}{10} W_{\text{carapace}} = 225 \text{ Kg} \quad \text{VI.9}$$

### **c- Le Noyau**

Le noyau doit assurer une transition satisfaisante entre le soubassement en matériaux fins, et les matériaux plus grossiers du filtre, on utilise des matériaux de bon marché provenant des carrières proches, matériaux tout-venant (TVC), généralement entre [0-500 kg].

$$W_{\text{Noyau}} = \frac{1}{200} W_{\text{carapace}} = 11 \text{ kg} \quad \text{VI.10}$$

### **❖ Partie musoir**

#### **a. Le poids (Partie musoir)**

En prenant :

$$H = 2.6 \text{ m.}$$

$$\cot \alpha = 3/2.$$

$$\gamma_s = 2,65 \text{ t/m}^3.$$

$$\gamma_w = 1,026 \text{ t/m}^3$$

-Mais pour cette partie on prend  $K_D = 2,5$ .

$$W_{\text{carapace}} = \frac{\gamma_s * H_b^3}{K_D \left( \frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1 \right)^3 * \cot^2 \alpha}$$

- **Application numérique :**  $W = \frac{2.65 \cdot (2.6)^3}{\left(\frac{2.65}{1.026} - 1\right)^3 \cdot 2.5 \cdot 1.5}, \quad W = \frac{46.58}{14.63} = 3.19 \text{ t}$

donc  $W = 3.19 \text{ t}$

#### **b. L'épaisseur (Partie musoir)**

- **Application numérique**  $e = 2 \cdot 1,15 \cdot (3.19 / 2,65)^{1/3} = 2.4 \text{ m}$

### **❖ La première sous couche**

#### **a. Le poids de la première sous couche**

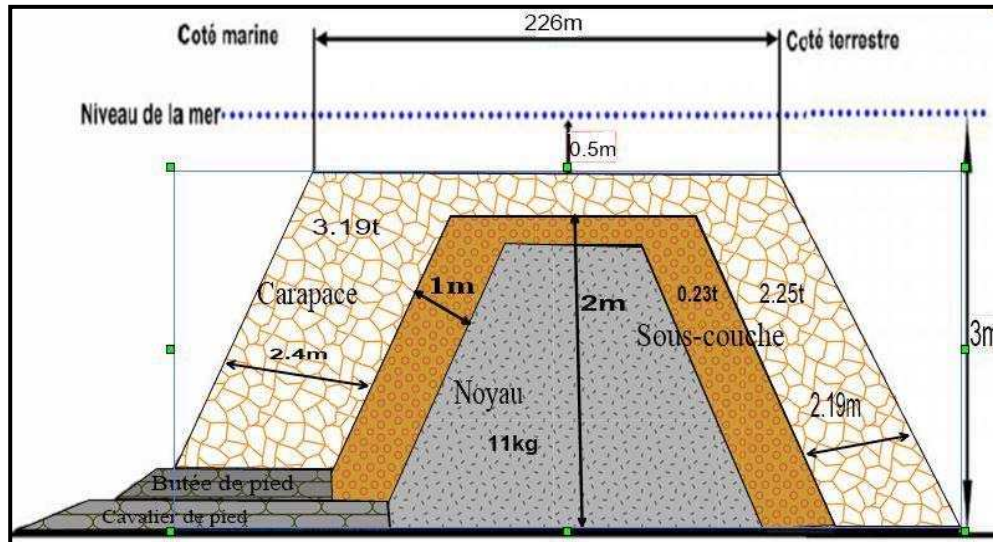
Le poids de la première sous couche est donné par la formule suivante :  $W_{\text{moy}} = W_c$

**Application numérique :**  $W_{\text{moy}} = 2.25 / 10$  Donc  $W_{\text{moy}} = 0,23 \text{ t}$

#### **b. L'épaisseur de la première sous couche : $e = n \cdot K_t \cdot (W_{\text{moy}} / \gamma_s)^{1/3}$**

- **Application numérique**  $e = 2 \cdot 1,15 \cdot (0.23 / 2.65)^{1/3} = 1,04 \text{ m}$  donc  $e = 1 \text{ m}$ .

**CHAPITRE IV : TECHNIQUES ET METHODES DE PROTECTION CONTRE  
L'EROSION**



**Figure VI.4 :** Schéma du brise-lame immergé proposé pour notre zone d'étude.

On résume les résultats de dimensionnements dans le tableau VI.2.

**Tableau IV. 2 :** Résultats obtenus pour le dimensionnement de la stabilité de la carapace (brise –lames)

	Partie de l'ouvrage	La formule	Application numérique	Résultats
<b>Brise-lames</b>	Carapace	$w_{carapace} = \frac{\gamma_s * H_b^3}{K_D \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1\right)^3 * \cot \alpha}$ $Dn_{50} = \sqrt[3]{\frac{w_{carapace}}{(\gamma)^B}}$ $E = n * K_t * Dn_{50}$	$W_{carapace} = \frac{2.56 * (2.6)^3}{3.5 * \left(\frac{2.65}{1.026} - 1\right)^3 * 1.5}$ $Dn_{50} = \sqrt[3]{\frac{2.25}{2.65}}$ $E = 2 * 1.15 * 0.95$	<p>W= 2.25 t</p> <p>Dn<sub>50</sub>=0.95m</p> <p>E=2.19m</p>
	Butée de pied	$W_{butée} = \frac{1}{10} W_{carapace}$	$W_{butée} = \frac{1}{10} * 2.25$	W=225 kg
	Le noyau	$W_{Noyau} = \frac{1}{200} W_{carapace}$	$W_{Noyau} = \frac{1}{200} * 2.25$	W <sub>Noyau</sub> = 11 Kg
	La largeur en crête	$4 * H_b$	$4 * 2.60$	B=10 m
	Partie musoir	$w_{carapace} = \frac{\gamma_s * H_b^3}{K_D \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1\right)^3 * \cot \alpha}$ $e = n * K_t (W / \square s)^{1/3}$	$W_{carapace} = \frac{2.65 * (2.6)^3}{2.5 * \left(\frac{2.65}{1.026} - 1\right)^3 * 1.5}$ $e = 2.1, 15. (3.19 / 2.65)^{1/3}$	<p>W=3.19t</p> <p>e=2,4m</p>
	La première sous couche	$W_{moy} = W_c / 10$ $e = n * K_t (W_{moy} / \gamma_s)^{1/3}$	$W_{moy} = 2.25 / 10$ $e = 2.1, 15. (0.23 / 2.65)^{1/3}$	<p>W=0.23t</p> <p>e=1m</p>

#### **IV.2.1.2.8. Impact des brise-lames sur la ligne de rivage**

Les ouvrages de type brise-lames sont bien au site d'étude car ils permettent de créer un gradient longitudinal des hauteurs des houles tout en atténuant l'agitation. La construction d'un brise-lames déplace l'équilibre du trait de côte. Son impact sur l'évolution de la ligne de rivage est essentiellement gouverné par l'accélération locale qu'il produit sur le transport sédimentaire longitudinal, et dans une moindre mesure par le transport solide dans le profil. Un point fondamental dans le dimensionnement des brise-lames découle de l'évolution du trait de côte en réaction à sa mise en place. Il s'agit de savoir si la forme d'équilibre recherchée inclut ou non le rattachement du brise-lames au rivage par la création d'un tombolo. Les deux configurations présentent des avantages et des inconvénients. De manière générale, les évolutions de la ligne de rivage sans tombolo sont préférées. En effet, en formant, un tombolo peut fixer une grande quantité de sédiments et générer une érosion importante en aval du transport sédimentaire. Par ailleurs, lors du changement saisonnier de secteur des houles dominantes, une évolution en point de rebroussement s'oppose beaucoup moins qu'un tombolo à l'inversion du transport solide. A noter également que la formation d'un tombolo permet d'augmenter considérablement la superficie disponible pour les activités humaines récréatives, et qu'elle facilite grandement l'entretien du brise-lames par l'accès qu'il offre aux engins. Toutefois, l'utilisation du brise lames pour les plongeurs peut représenter un danger pour la sécurité publique.

### **IV.2.2. Variante n° 2**

#### **IV.2.2.1. Une digue à talus**

Une digue à talus est un ouvrage de protection marine se dispose parallèlement au trait de côte, ou sur pied de la falaise qui forme une interface entre la terre et la mer. sa construction s'effectue par des matériaux en enrochement ou en pierre maçonnerie.

#### **IV.2.2.2. Principe de fonctionnement**

Elle brise les houles incidentes sous l'effet d'enrochement de la carapace ce qui permet l'absorption de leur énergie et donc assurer la protection du trait de côte. Elle présente un coefficient de réflexion faible. Les digues à talus sont en général moins franchissables.

### IV.2.2.3. Dimensionnement d'ouvrage

#### Caractéristique de la houle au pied de l'ouvrage

D'après l'abaque et les calculs effectués en suivant la méthodologie déjà mentionnée en dessus (dimensionnement de brise-lame) le  $h_b=2.20\text{m}$  sur une profondeur d'implantation de 2m.

#### Cote d'arase

Elle présente la hauteur de l'ouvrage, sa dimension dépend essentiellement du Run-up afin d'assurer le fonctionnement de l'ouvrage et qu'elle soit aussi supérieure à la houle de dimensionnement.

$$\frac{D_p}{h_b} = \frac{2}{2.20} = 0.9 \text{ donc on utilise l'abaque d'ascension des lames sur un talus lisse et}$$

impermeable, N3 et 4, qui permettent de déterminer : le Run-up :  $\frac{R}{h_b}$  -La

profondeur d'implantation l'ouvrage est estimé à  $D_p = 2\text{m}$

-la pente de talus est estimée à 1/2 pour avoir un bon amortissement des houles.

$$\frac{h_b}{gT^2} = \frac{2.20}{9.81 \cdot (15,51)^2} = 0.0009. \text{ Cette valeur sera projetée sur en premier lieu sur l'abaque}$$

N°3 et par la suite sur l'abaque N°4, les résultats sont les suivantes :

$$\text{D'après l'abaque N°3 : } \frac{R}{h_b} = 2.30\text{m} \text{ et D'après l'abaque N°4 : } \frac{R}{h_b} = 1.60\text{m}$$

$$\text{Et donc la moyenne pour les deux résultats : } \frac{R}{h_b} = 1.95\text{m}, R = 1.95 \cdot h_b = 4.30\text{m}.$$

On doit tenir en considération le coefficient de correction k et pour ce, on utilise l'abaque de facteur de correction : on projette la tg du talus (0.5) sur la courbe, le  $k=1.19$ .

Donc :  $R = 4.30 \cdot k = 4.30 \cdot 1.19 = 5.12 \text{ m}$ . En vue que le talus sera formé des blocs naturels, il est nécessaire de déterminer r coefficient pour différent type de talus en enrochement .D'après le tableau,  $r=0.50$ .

## CHAPITRE IV : TECHNIQUES ET METHODES DE PROTECTION CONTRE L'EROSION

$R=5.12 \cdot 0.50=2.56\text{m}$  , Donc au minimum la cote d'arase = 2.56m.

### **La largeur de la crête**

Elle est estimée selon la formule suivante :  $B= 4 h_b$

**Application numérique** :  $B= 4 \cdot 2.20 = 8.8 \text{ m.}$

### **IV.2.3.4.Stabilité de l'ouvrage**

#### **Carapace**

✓ **Le poids de la carapace** Selon la formule d'Hudson :

$$W_C = \frac{\gamma_s \cdot h_b^3}{K_d \cdot \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1\right)^3 \cot \alpha} , H_b=2.20\text{m} , K_d=3.5 , \cot \alpha = 2/1.$$


**Application numérique** :  $W_C = \frac{2.65 \cdot (2.20)^3}{3.5 \cdot 3.97 \cdot 2} = \frac{28.22}{27.76} = 1.02\text{t.}$  (Catégorie 1-3t)

✓ **Diamètre nominale** Elle s'exprime par la formule suivante :  $D_{n50} = \sqrt[3]{\frac{W_C}{\gamma_s}}$

$$D_{n50} = \sqrt[3]{\frac{1.02}{2.65}} = 0.73.$$

✓ **L'épaisseur de la carapace** :

L'épaisseur sera déterminée selon la formule suivante :  $e = n \cdot K_t \cdot D_{n50}$   
 $e = 2 \cdot 1.15 \cdot 0.73 = 2\text{m.}$

 **Sous-couche** : dans le cas de notre étude, on a opté pour une seule sous-couche qui constitue d'une seule couche des enrochements.

✓ **Le poids des blocs d'enrochement**: représente le 1/10 du poids de la carapace.

$$W = \frac{W_C}{10} = \frac{1.02}{10} = 0.102\text{t} = 102\text{Kg.}$$
 (catégorie [100-500kg] ) .

✓ **Diamètre nominale** :  $D_{n50} = \sqrt[3]{\frac{W_C}{\gamma_s}} = \sqrt[3]{\frac{0.1}{2.65}} = 0.34.$

✓ **L'épaisseur** :  $e = n \cdot K_t \cdot D_{n50} = 1 \cdot 1.15 \cdot 0.34 = 0.39\text{m.}$

## CHAPITRE IV : TECHNIQUES ET METHODES DE PROTECTION CONTRE L'EROSION

### ✚ Noyau

Une partie intérieure du massif constitue du remblai, généralement il s'agit des matériaux de tout-venant de carrière. Le poids représente 1/200 du poids de la carapace

$$W_n = \frac{W_c}{200} = \frac{1.02}{200} = 0.0051t = 5.1Kg.$$

### ✚ La butée de pied

Pour que l'ouvrage ait un bon fonctionnement, il est important de mettre en place d'une butée de pied qui a un rôle important sur la protection de pied d'ouvrage contre l'affouillement, le glissement de la carapace et du parement de l'ouvrage. Donc il doit être conçu pour empêcher l'apparition ces modes de ruptures.

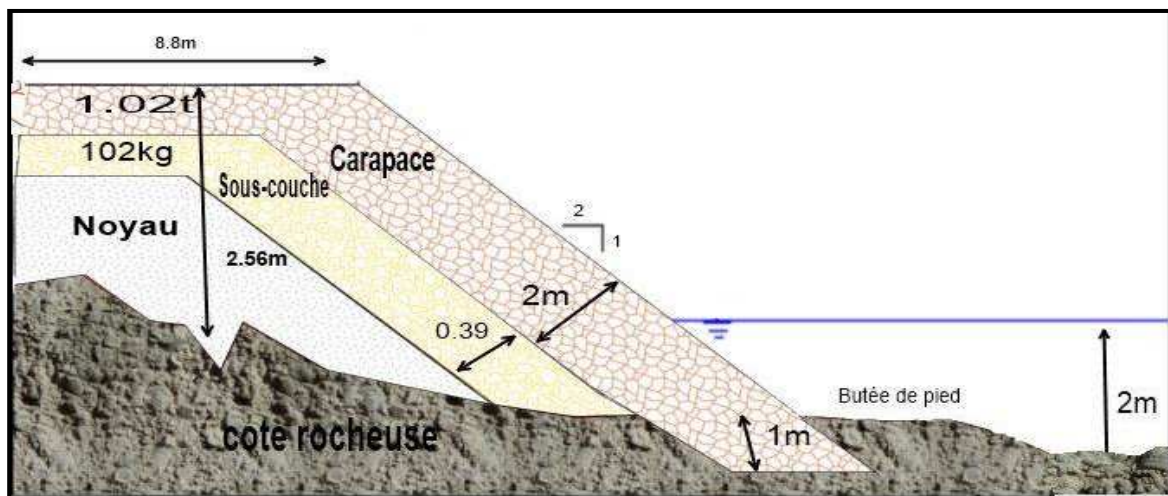
#### ✓ Conception de la butée de pied

Généralement il est préférable que la butée formée des enrochements naturel, à cause De sa déformabilité

✓ **Le poids des blocs** :  $W_{butée} = W_c = 1.02t$ .

✓ **Profondeur et la forme de butée**

En vue que la zone d'étude composée d'un fond rocheux, on a adopté la méthode tranchée creusé dans le rocher. Elle consiste sur l'excavation du fond afin de déposer les blocs. La profondeur représente 1/2 de l'épaisseur de la carapace, et donc dans notre cas la profondeur est 1m Il suggéré que La largeur de la butée soit sur une distance de cinq blocs d'enrochement, pour assurer la stabilité de la carapace.



**Figure IV. 5** : schéma d'une digue à talus proposée pour  
notre zone d'étude

**CHAPITRE IV : TECHNIQUES ET METHODES DE PROTECTION CONTRE  
L'ÉROSION**

**Tableau IV. 3** : résultats de dimensionnement d'une digue à talus.

Digue à talus	Partie de l'ouvrage	La formule	Application numérique	Résultats
	carapace	$-W_c = \frac{\gamma_s \cdot h b^3}{K d \cdot \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1\right)^3 \cot \alpha}$ $-e = n \cdot K_t \cdot D_{n50}$	$W_c = \frac{2.65 \cdot (2.20)^3}{3.5 \cdot 3.97 \cdot 2}$ $e = 2 \cdot 1.15 \cdot 0.73$	$W_c = 1.02t$ $e = 2m$
	Sous-couche	$W = \frac{W_c}{10}$ $e = n \cdot K_t \cdot D_{n50}$	$W = \frac{1.02}{200}$ $e = 1 \cdot 1.15 \cdot 0.34$	$W = 102Kg$ $e = 0.39m$
	Noyau	$W_n = \frac{W_c}{200}$	$W_n = \frac{1.02}{200}$	$W_n = 5.1Kg$
	Butée de pied	$W_{butée} = W_c$ $\text{Profondeur} = 1/2 \cdot e_{carapace}$	$\text{Profondeur} = 0.5 \cdot 2$	$W_{butée} = 1.02t$ $\text{Profondeur} = 1m$
	Largeur de la crete	$B = 4h_b$	$B = 4 \cdot 2.20$	$B = 8.8m$

 **Avantage :**

- Permet d'éviter la dégradation de la cote.
- Sauvegarder les urbanisations existantes au sommet de la falaise
- Freiner le recule de trait de cote
- Créer un espace supplémentaire.

 **Inconvénients :**

Toutes artificialisation a un impact sur l'environnement, notamment lorsque s'agit d'un ouvrage lié à la terre. L'ouvrage peut être endommagé sous l'effet de l'attaque des vagues ce qui va engendrer le glissement des enrochements en perdant ses fonctions aussi l'ouvrage est irréversible.

**IV.3. Protection de la falaise ( proposé par SOTRASHYPE )**

Il s'agit de la réalisation d'un mur de soutènement en remblai renforcé en géotextile a haute résistance (inclusion surfaciques pour renforcement de sols ) , avec retour de nappes

## CHAPITRE IV : TECHNIQUES ET METHODES DE PROTECTION CONTRE L'EROSION

et parement en bloc fleurie type Retenus 50 . Sa hauteur maximale sera de 20 m. Le linéaire et le tracé en plan 100 ml.

### IV.3.1. Principe du renforcement

Le renforcement du sol par inclusion de nappes géotextiles, sous les résistances à la traction, se fait par transmission de l'effort de traction par frottement de l'interface remblai / géotextile (cas des remblais sélectionné en sols fins soit un tuf) .

#### IV.3.1.1. Objectifs

Augmenter les caractéristiques mécaniques du remblai pour permettre la réalisation d'un mur de pente verticale ou quasi – verticale, et ainsi assurer sa pérennité sous les diverses sollicitations qu'il peut rencontrer au cours de sa durée de vie (accidentelles ou Permanentes). Le géotextile travaille à la traction, et reprend l'effort suivant son plan.

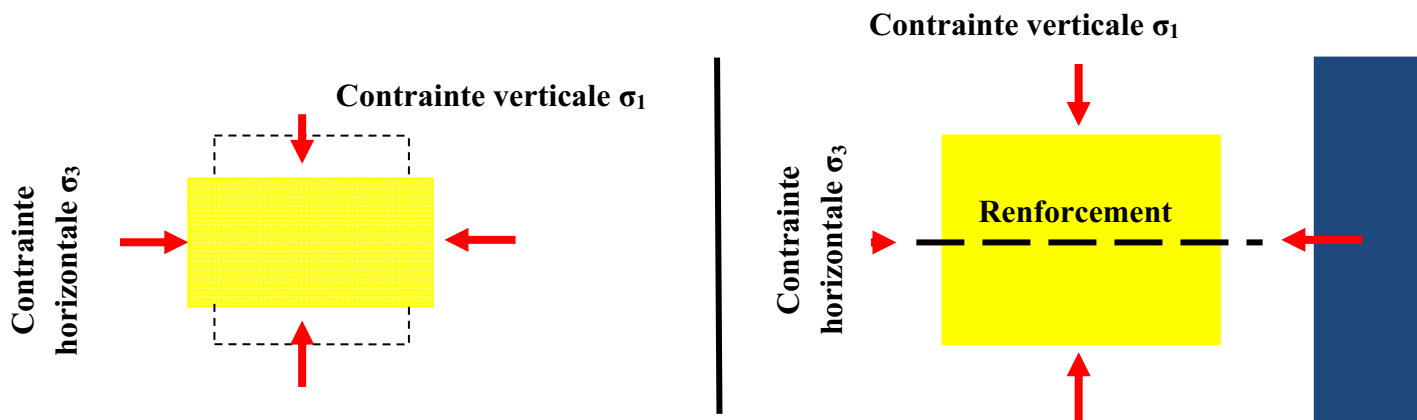


Figure VI.6 : géotextile et traction ( Sotrashype ,2016)

### IV.3.2. Exigences qualitatives sur les matériaux

#### IV.3.2.1. Remblai

Le remblai doit remplir les exigences normatives relatives à la NF EN 14475. A savoir :

- ✓ Classe du remblai constitutif du mur : exigences relatives aux inférieures à 80 et 20  $\mu\text{m}$ , indice de plasticité, et autres recommandations décrites aux articles de la norme.
- ✓ Applications possibles suivant le type d'ouvrage.
- ✓ Propriétés chimiques du remblai.

### IV.3.2.2. Système de drainage

Un système de drainage derrière le mur doit être exécuté avec une grave drainante, géotextile filtration séparation et enfin un drain PEHD perforé pour collecter et évacuer vers un exutoire les eaux qui se sont infiltrées .Ce système est indispensable pour les murs en massifs renforcé .

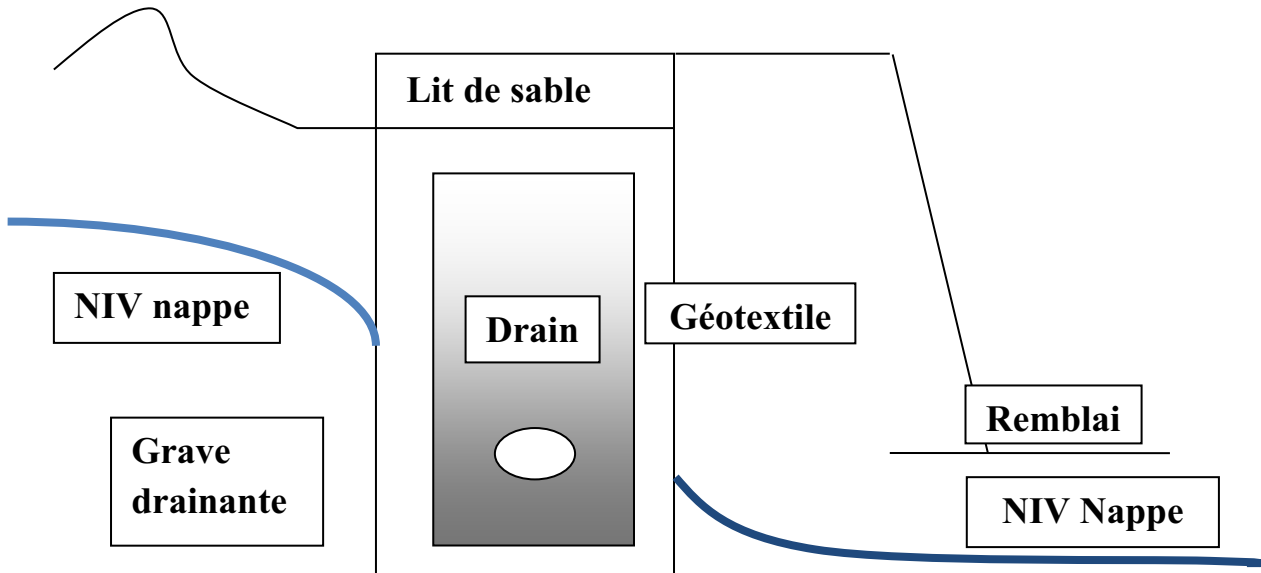


Figure VI.7 : Système de drainage (Sotrashype ,2016)

### IV.3.2.3. Terrassements et assise du mur

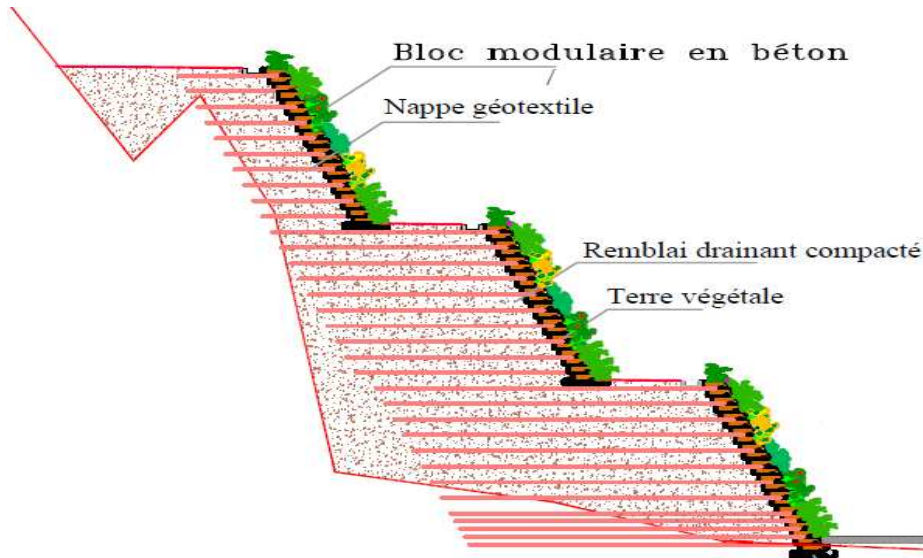
Tout d'abord, et avant l'entame des travaux de la réalisation du mur, le sol ayant subi des mouvements ou fissuré et remanié doit être totalement purgé, car un remblai fondé sur un sol remanié et décomprimé, générera ultérieurement des tassements différentiels nuisibles à l'ouvrage. Après purgé, l'assise de remblai doit toujours être horizontale et plane. Bien réglé du point de vue compactage.

### IV.3.2.4. principe de dimensionnement

- ✚ Justifier la stabilité externe du mur (considéré alors comme indéformable).
  - ✓ Vérification du non glissement sur la base (remblai / sol support).
  - ✓ Vérification du non poinçonnement du sol de fondation.
- ✚ Justifier sa stabilité interne locale
  - ✓ Equilibre locale pour chaque inclusion.

## CHAPITRE IV : TECHNIQUES ET METHODES DE PROTECTION CONTRE L'EROSION

- ✓  $T_{max} < \text{Résistance inclusion}$ .
- ✓ Vérification du critère d'adhérence.
- ✓  $T_{max} < \text{force de frottement mobilisable dans la partie passive}$ .
- ✓ Calcul des efforts sur le parement.



**Figure VI.8 :** protection de la falaise de « El Kettar » proposé par Sotrashype ,2016

### **Conclusion**

L'étude de la protection traitée dans ce chapitre vise à désigner une résolution en suggérant des variantes adéquates à la zone, permettant de garantir sa potentialité et sa richesse naturelle. Le choix de la technique de protection dépend du régime hydraulique et les caractéristiques géologiques de la falaise. Tout en prenant en considération les moyens et le but de sa mise en œuvre. Sur la base de l'analyse des variantes, il s'avère que les brise-lames seraient efficaces contre l'érosion par la création d'une zone calme aux pieds d'ouvrage, mais cette solution pourrait présenter des critères négatifs en raison des couts (très couteuse) et des délais de réalisation (une longue durée) et l'entretien sera plus difficile de ces brise-lames. En revanche la variante (digue à talus) est la plus avantageuse. Elle assure et élimine le facteur risque lié à la dégradation du rivage et permet aussi de créer un espace en plus. sa réalisation facile et moins couteuse comparant à la variante 1. La digue à talus sera plus valable lorsque la falaise soumis à une protection par des géotextiles qui vont rendre le site plus esthétique et moins vulnérable.

# **CONCLUSION GENERALE**

Malgré un linéaire côtier de 26.56 Km et bien qu'elle soit très riche en sources naturelles d'eau potable (14 sources) et un paysage paradisiaque avec une continuité entre forêt et la mer. La commune de Cherchell n'a à son actif que quelques plages autorisées à la baignade.

Le site de « El Kettar » a subi une dégradation intensive notamment dans le passé ou il est difficile de trouver les causes, et qui se manifeste par une érosion au pied de la falaise. L'étude de la zone a pour objectif d'effectuer un aménagement adéquat qui répond à la problématique en permettant une préservation naturelle du site. Le diagnostic du site, fait ressortir les causes principales de l'instabilité, se représentant naturellement sous-forme des houles énergétiques, courants, paramètres météorologique et anthropique tel que l'occupation de l'espace côtier par les différentes infrastructures, pollution aggravé notamment par le versement direct des eaux usées vers la mer. Ces effets ont une influence néfaste sur la dynamique du littoral.

L'étude diachronique du linéaire côtier à partir des documents multi-dates iconographiques (image satellitaire, deux images aériennes et une carte topographique) traitées à l'aide du logiciel Arcgis 12.1 et l'outil DSAS, révèle d'une part que la récession du pied de la falaise existe depuis 57 ans et que le phénomène menace l'homme, et le taux d'évolution se bascule entre -0.1m/an à -0.5m/an ce qui affirme la vulnérabilité du site d'autre part.

La modélisation de la réfraction de la houle par le modèle SWAN, démontre que le site est exposée aux houles du secteur Nord, Nord-Ouest et Ouest notamment celles de la direction Ouest qui Attaque la partie Est de la zone avec une énergie assez importante en provoquant la dégradation de la structure du pied de la falaise. Par conséquent les résultats des houles en provenance de direction N270° présentent des caractéristiques extrêmes qui vont être pris en compte lors de dimensionnement de l'ouvrage. L'étude bathymétrique s'avère que la topographie sous-marine a un aspect irrégulier, caractérisé par des ruptures de pente de forme très raide, accompagné des ondulations tout au long du fond marin.

La décision de protéger un site côtier, le choix de type de défense ou de protection, son implantation et son dimensionnement résultent d'une triple analyse se fondant sur :

- ✓ La justification de l'opportunité de la protection envisagée par rapport à la valeur des biens dommageables.

- ✓ La connaissance de l'évolution du milieu littoral, souvent influencé par des actions anthropiques.
- ✓ L'appréciation des contraintes économiques qui pondèrent la mise en place des dispositifs de protection par rapport au fonctionnement du milieu physique, notamment du point de vue environnemental.

Le choix et les caractéristiques du type des ouvrages de protection, qui vont contribuer à mettre à l'abri les habitations et préserver la plage et la falaise des effets de la houle frontale sont basés sur des critères technico-économique, et l'optimisation de son profil par le modèle réduit physique.

Des différentes variantes envisagés pour une protection marine d'une part et la préservation de la partie terrestre d'autre part et pour ce on a opté des ouvrages frontaux et longitudinaux présentés comme suit :

- ✓ mise en place des géotextiles sur la paroi de la falaise.
- ✓ des brise-lames immergé et digue à talus en enrochement.
- ✓ mur en pierrée maçonnerie accompagnée des enrochements.

Les ouvrages proposés présentent chacun des avantages et des inconvénients. Toutefois, nous favorisons le choix de l'ouvrage qui, en combinant la souplesse et la stabilité semble le plus adéquat pour notre zone d'étude .Parmi les critères des choix qui devraient être pris en considération, de manière forte, il y a la protection durable de la nature et le cout des ouvrages. La lutte contre l'érosion recommande une gestion efficace qui prend en considération la durée de vie de la solution et pour ce les méthodes souples ont une fonction durable à long terme en gardant le paysage naturel par leur intégration avec le site. L'étude de ce travail a fournis des connaissances approfondis sur le fonctionnement de la dynamique du rivage de « El-Kettar » qui combine les paramètres météorologiques, processus hydrodynamiques et la géomorphologie de la falaise ainsi que l'introduction de l'homme qui a altéré le régime de ces éléments.

L'objectif principale de cette étude est l'implication de l'océanographe ou l'aménagiste au fait que l'aménagement côtier est intimement lié à l'environnement naturel et à la société qui le composent. Au territoire auquel il s'intègre .et surtout à la conviction que son métier consiste à être au service de la population sans nuire à l'environnement .car aménager c'est d'abord ménager.

# **RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- AHIZOUN, M., MAIRE, E. (2009).** Estimation des changements de la ligne de rivage de la zone côtière sablonneuse de Kenitra au Maroc : Trait de côte [en ligne] , [Consulter le 14/05/2016]. Disponible sur. <[www.Afriquesciences.info.1813-548X](http://www.Afriquesciences.info.1813-548X)>.
- ANGREMOND, K. F., VAN ROODE. (2004).** *Breakwaters and Closure Dams*. London: Spon press. 371 p.
- AOUDJ, C. (2014).** *Evolution morpho dynamique du trait de côte du littoral Est de Bejaia cas de Tichy plage*. Mémoire de master. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 73 p.
- AOUDJ, C., BOUAZIZE, T. (2014).** *Fonctionnement et dynamique morpho-sédimentaire du littoral Est de Bejaïa*. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 150 p.
- ASSASSI, C., OTTMANI, H. (2010).** *Etude de la protection de la zone de Club des Pins*. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL. 130 p.
- BELLOULOU, B., GANA, A. (2012).** *Etude de protection du rivage du site de Hadjret En Enous*. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL. 79 p.
- BENKENNOU, N. SALLAYE, M. (2012).** *Etude de protection du ravage du complexe culturel de Chenoua*. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 109 p.
- BENCHAOU, M. TATAI, M. (1998).** *Envasement et dragage du port de Cherchell impact sur l'environnement*. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 95 p.
- BENDERRADJI, A. FERHAT, A. (2011).** *Erosion du littoral de Cherchell : causes, conséquences et solution d'aménagement*. Mémoir d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL. 89 p.
- BIRD, E. (2007).** *Coastal géomorphology an introduction*. 2<sup>e</sup> éd. London : Wiley. 411 p.
- Bonnefille , R. (1980).** *Cours d'hydraulique maritime*. 2<sup>e</sup> éd . Paris : Masson . 171 p.
- BOURTI, H. HENDA, S. (2014).** *Evolution et dynamique de la falaise Est de Boumerdès et proposition des solutions*. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 120 p.

- BOUALILI, N. (2015).** *Analyse statistique de l'évolution morphodynamique du littoral de Boumerdes.* Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 131 p.
- CERC (1984).** Shore protection. Vol. 2.5<sup>e</sup> éd. Washington : [ s.n] . 652 p.
- CHAIBI, M. AIT MALEK, H.** Etude de l'évolution du littoral de la baie El Jadida (Maroc) par photo-interpretation. Trait de côte [en ligne], [consulter le 29/6/2016]. Disponible sur <[www.Afriquesciences.info](http://www.Afriquesciences.info)>.
- CHAPON, J. (1978).** Travaux maritimes tome I. Le milieu marin-le navire, la navigation-les cotes, les ouvrages extérieurs des maritimes : cours de l'école national des ponts et chaussées. Paris : Eyrolles, 309 p.
- CIRIA.CUR.CETMEF. (2009).** *Guide enrochement : utilisation des enrochements pour les ouvrages hydrauliques* version française du rock manual. 2<sup>e</sup> éd . [SL] : CETMEF. Chapitre N°5, Phénomène physique et outils de dimensionnement, 170 p.
- CNERU (2014).** PDAU intercommunal Cherchell-Sidi Ghiles. Rapport d'activité. Document non publié. Alger : CNERU.
- DEAN, R. DALRYMPLE, R. (2002).** Coastal processes with engineering applications. Cambridge : University press. 475 p.
- DGPR. (2014).** Plan de prévention des risques littoraux : Rapport d'activité. Document publié. France : DGPR.
- DTP. (2004).** Protection du rivage de Cherchell : Rapport d'activité. Document non publié. Tipaza : DTP.
- France, Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la Mer. (2010).** la gestion du trait de côte .Versailles Cedex : Quae. 290 p.
- Goda, Y.Random. (2000).** Seas and design of maritime structures. USA: World scientific. 462 p.
- GROUP CNERU (2004).** Etude d'aménagement du littoral de la wilaya de Tipaza. Rapport d'activité. Document non-publié. Alger : CNERU.
- GUILLAUME, P. (2005).** Structure et évolution des falaises gréseuses et argileuses du Cap Gris-Nez .Relief et processus.Vol. 11, n°4,310 p.

- KHALDI, N. (2015).** *Modélisation de l'hydrodynamique sédimentaire soumise à l'action de la houle et des courants : application à la cote de Sidi Fredj.* Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 135 p.
- HAPKE, C. REID, D. (2007).** *Historical coastal cliff retreat along the California Coast* [En ligne]. California : [ s.n.]. [Consulté le 12/06/2016]. Disponible sur : <[www.USGS.com](http://www.USGS.com)>.
- LECLAIRE(1972).** *Sédimentation Holocène sur le versant méridional du bassin Algéro-Baléars (prés-continent algérien).* Paris : Meusium. 391 p.
- LECLERC, A. (2010).** *Ouvrage de protection du littoral .* Mémoire d'ingénieur. Québec : Université Québec à Rimouski. 161 p.
- LEM (2012).** *Etude de protection de la falaise de Cherchell : Rapport d'activité.* Document non publié. Alger : LEM.
- LEM (2016).** *Etude de protection de la falaise de Tipaza : Rapport d'activité.* Document non publié. Alger : LEM.
- LEM (1985).** *Etude d'aménagement du port de Cherchell : Rapport d'activité.* Document non-publié. Alger : LEM.
- Mallet, Michot, Lafon, et al. (2012).** *Synthèse de référence des techniques de suivi de trait de côte : Rapport d'activité.* Document publié. France : [s.n.].
- MASSELINK, G., HUGHES, M., KNIGHT, J. (2011).** *Introduction to coastal processes & geomorphology.* 2<sup>e</sup> éd. London : Routledge. 416 p.
- MEZOUAR, K. (2009).** *Etude comparative entre les méthodes de protection des deux littoraux Algérien et Roumain.* Thèse de doctorat. Ingénierie Civil. Bucarest : Université technique de construction, 417 p.
- MOUHOUBI, N. OUABEL, K. (2012).** *Etude d'une solution de protection pour la plage centre de Sidi Ghiles (Cherchell).* Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 123 p.
- NECHENACHE, F. (2015).** *Etude géomorpho-sédimentaire de la zone côtière du parc national de Taza (wilaya de Jijel).* Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 137 p.

**OLIVIER, S. (2007).** Efficacité et impacts des ouvrages en enrochement sur les plages microtidales, le cas du Languedoc et du delta du Rhone. Thèse de doctorat. Aménagement du littoral. Marseille : Université Aix-Marseille, 28-32 p.

**PASKOFF, R. (1998).** *Côte en danger*. France : L'harmattan. 262 p.

**PINOT, J. (1998).** *La gestion du littoral, les littoraux tempérés* . Paris : Institut océanographique. 352 p.

**RAHMANI, W. (2015).** *Proposition d'aménagement et de protection par les méthodes dite « SOFT »*. Mémoire de master. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL , 21 p.

**REGNOULT, H. (1999).** *Les littoraux*. Paris : Atlande. 95 p.

**ROPERT, F. BOUTTES, F. (1997).** Conception et dimensionnement des digues à talus. France : Centre d'études techniques maritimes et fluviales. 187 p.

# Etude de protection du rivage d'El Kettar- Cherchell

## Résumé :

Le site d'El Kettar a connu une érosion intensive notamment au pied de la falaise vu que ce dernier est formé par des roches d'une lithologie vulnérable. Le phénomène s'est accentué sous l'effet énergétique des houles d'une part, et l'extension des infrastructures et le déversement des rejets sur la falaise d'autre part. Par conséquence, l'état de la zone a mis en menace la vie humaine ainsi la valorisation naturel du site .Un ensemble d'étude tendent à explorer une meilleure gestion vis-à-vis des contraintes naturelles et anthropiques afin d'établir et de réaliser une protection adéquate permettant ainsi la pérennité de cette falaise. Les démarches s'appuient sur le suivie historique de la cinématique du trait de côte par le système d'analyse numérique « DSAS », analyse de la morphologie sous-marine en utilisant le progiciel « Mike Zéro » et une modélisation de la propagation de la houle à l'aide du modèle « Swan », ces outils ont permis de donner une estimation de la marphodynamique et le taux de changement.

**Mots clés :** El-Kettar , érosion, falaise, lithologie, modélisation, trait de côte, DSAS, Mike Zéro, SWAN.

## Abstract:

The zone called El Kettar has been going through an intensif erosion , especially on the foot of the cliff as its constitution is mainly made of vulnerable rocks. This phenomenon has been growing because of the energitic effect of the swells ,the quick spread of the infrastructures as well as the littering .As a conquence , the situation of the area is making a real threat on people health and life and the natural value of the zone. We have established some studies in order to suggest a better protection plan against these natural phenonmenons , this would contribute to preserve the site in an effectif way . We have started by making a hisorical follow up of the kinematic of the coast line , by using the digital analysis system called « DSAS » , analysing the submarine morphology with « Mike 0 « hardware , and modelizing the spread of the swell by using the SWAN model , these professional tools have helped us giving an approximate estimation about the morphodynamic and the change rate

**Keywords:** El-Kettar, recession, cliff, lithology, modelling, shoreline, DSAS, MikeZero, SWAN.

## ملخص:

المنطقة الساحلية القطار شهدة تآكل كثيف خصوصا في سفح المنحدر لأنه يتكون من صخور ذات بنية ضعيفة. وتبرز هذه الظاهرة تحت تأثير قوة الامواج توسع البنيات وتلوث المنطقة عن طريق مياه الصرف. ونتيجة لذلك، عدم استقرار التضاريس أدى الى تهديد لحيات الانسان والطبيعة ولهذا مجموعة من الدراسات ذات اتجاه الى تطور جيد لتسيير المنطقة ضد الضغوطات البشرية الطبيعية لإنشاء وتحقيق الحماية الكافية مما يتيح للاستدامة التضاريس هذه الدراسات تستند على حركة الخط الساحلي التاريخية من قبل نظام التحليل الرقمي (دساس) ، تحليل مورفولوجيا لقاع البحار باستخدام برنامج ميك زيرو ونمذجة انتشار الامواج باستخدام نموذج سوان هذه الطرق سمحت بتتبع المورفودينامك للمنطقة ايضا استنتاج معدل التغير.

الكلمات الدالة : التآكل، التضاريس، النمذجة، لیتولوجي، خط الساحل، دساس، ميك زيرو، سوان.