

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة الساحل

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



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME

DE MASTER EN SCIENCES DE LA MER

OPTION : Aménagement du littoral

Sujet :

**Utilisation du modèle SWAN pour la modélisation  
des vagues/houles. Cas de Béjaia**

Presenté par:

- BRAIK Zine ddine
- YOUBI Tahar Med Amine

Soutenu le 01/07 /2015 devant le la commission d'examen formée de:

Mr	<b>GUERFI M.</b>	Maître de Conférences A (ENSSMAL)	<b>Président</b>
Mr	<b>HEMDANE Y.</b>	Maître de Conférences A (ENSSMAL)	Promoteur
Mr	<b>MEZOUAR K.</b>	Maître de Conférences B (ENSSMAL)	<b>Examineur</b>
Mme	<b>MEHDID S.</b>	Maître-Assistante A (ENSSMAL)	Examinatrice

Promotion : (2015)

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة الساحل

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



**MEMOIRE DE FIN D'ETUDE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME  
DE MASTER EN SCIENCES DE LA MER**

**OPTION : Aménagement du littoral**

**Sujet :**

**Utilisation du modèle SWAN pour la modélisation  
des vagues/houles. Cas de Béjaia**

Presenté par:

- BRAIK Zine ddine
- YOUBI Tahar Med Amine

Soutenu le 01/07 /2015 devant le la commission d'examen formée de:

Mr	<b>GUERFI M.</b>	Maître de Conférences A (ENSSMAL)	<b>Président</b>
Mr	<b>HEMDANE Y.</b>	Maître de Conférences A (ENSSMAL)	Promoteur
Mr	<b>MEZOUAR K.</b>	Maître de Conférences B (ENSSMAL)	<b>Examinateur</b>
Mme	<b>MEHDID S.</b>	Maître-Assistante A (ENSSMAL)	Examinatrice

**Promotion : (2015)**

## **Remerciements**

*Tout d'abord, nous remercions Allah le tout puissant pour nous avoir donné la santé, le courage et la volonté, pour réaliser ce modeste travail.*

*Nous tenons à exprimer toutes nos reconnaissances à ceux qui, à divers titres, ont collaboré à la réalisation de ce travail. Nous les devons à de nombreuses personnes que nous avons le plaisir et l'honneur de citer ci-après.*

*Mr, HEMDANE Y. avoir dirigé ce travail et lui avoir accordé un intérêt tout au long de son élaboration, pour sa confiance, sa disponibilité, ses encouragements et ses conseils au cours de la réalisation de ce mémoire.*

*Nous tenons à remercier :*

*Mr, GUERFI M. d'avoir accepté de présider le jury de cette soutenance et pour sa présence et son aide considérable.*

*Mr, MEZOUAR K, nous avoir honoré de sa présence, d'avoir accepté d'examiner ce travail et pour son aide et son soutien.*

*Mme, MEHDID S. le remercie d'avoir accepté évaluer notre travail.*

*Nous somme reconnaissant à tous nos enseignants qui ont contribué à notre formation.*

*Nos profondes reconnaissances au personnel de SHFN pour leur accueil et leur aide*

*Nos profondes reconnaissances au personnel de la bibliothèque de l'ENSSMAL pour leur disponibilité et leur accueil, son oublié, tous les personnel de notre établissement.*

*Enfin nos vifs remerciements à nous familles, et à toutes les personnes qui nous ont aidé du près ou de loin à la réalisation de ce mémoire de Master.*

**BRAIK Zine ddine**

**YOUBI Tahar Med Amine**

**Liste des acronymes :**

**SHFN:** Service **H**ydrographique des **F**orces **N**avales

**G.P.S:** **G**lobal **P**ositioning **S**ystem.

**Hsig :** **H**oule **S**ignificative.

**I.N.C.T:** Institut **N**ational de **C**artographie et de **T**éledétection.

**Km:** **K**ilomètres.

**L.E.M:** Laboratoire des **É**tudes **M**aritimes.

**m:** **M**ètres.

**M.N.T:** **M**odèle **N**umérique de **T**errain.

**O.N.M:** **O**ffice **N**ational de **M**étéorologie.

**S.S.M.O:** **S**ommary of **S**ynoptic **M**eteorological **O**bservation.

**SWAN:** **S**imulating **W**aves **N**earshore

**U.T.M:** **U**niversal **T**ransverse **M**ercator.

**W.G.S:** **W**orld **G**éoïde **S**ystem.

**GCM:** **G**aussian **Q**uadrature **M**ethod.

**Listes des figures :**

Figure 1: Schématisation du phénomène de réfraction au-dessus d'une côte comportant des caps et des baies (Mezouar, k, 2009).....	15
Figure 2: Exemple de résultat de SWAN .....	20
Figure 3: Spectre de vague .....	20
Figure 4: Localisation de la zone d'étude. (Aoudj, 2014).....	24
Figure 5: carte bathymétrique de Bejaïa (SHFN) .....	28
Figure 6: carte bathymétrique de Bejaïa (LECLAIRE). .....	28
Figure 7: carte bathymétrique 3D (SHFN).....	29
Figure 8: carte bathymétrique 3D (LECLAIRE).....	29
Figure 9: Carte du réseau hydrographique de la wilaya de Béjaïa, (KECIR, 2013). .....	30
Figure 10: Table représentant le calage de la carte marine de Bejaia .....	37
Figure 11: Table représente carte géoréférencé .....	37
Figure 12: La digitalisation des lignes et des points. ....	37
Figure 13: L'extraction des points à partir des lignes et points digitalisées. ....	38
Figure 14: Enregistrement des points extraits .....	39
Figure 15: Interpolation de la bathymétrie .....	39
Figure 16: résultats après l'interpolation .....	40
Figure 17: Fichier de commande et output SWAN.....	41
Figure 18: représentation des résultats avec Surfer.....	42
Figure 19: Carte des directions choisies.....	43
Figure 20: Résultats du SWAN N45T10 (LECLAIRE 1972) .....	45
Figure 21: Résultats du SWAN N45T10 (SHFN).....	45
Figure 22: Résultats du SWAN N315T10 (LECLAIRE 1972) .....	46
Figure 23: Résultats du SWAN N315T10 (SHFN).....	46
Figure 24: Résultats du SWAN N360T10 (LECLAIRE 1972) .....	47
Figure 25: Résultats du SWAN N360T10 (SHFN).....	47

**Liste des tableaux :**

Tableau 1: Principales caractéristiques de SWAN.....	19
Tableau 2: Fréquences mensuelles des houles au large selon les directions. ....	31
Tableau 3: L'état de la mer. Source : S.S.M.O, Période : (1963 – 1970). ....	31
Tableau 4: Houle annuelle dans la région de Bejaia Source : (SSMO ; 1970)....	32
Tableau 5: Anthropisation de la cote de Béjaïa.....	34
Tableau 6: Coefficient de shaoling N45T10 .....	48
Tableau 7: Coefficient de shaoling N315T10 .....	48
Tableau 8: Coefficient de shaoling N360T10 .....	48
Tableau 9: Coefficient de shaoling N45T10 .....	48
Tableau 10: Coefficient de shaoling N315T10 .....	48
Tableau 11: Coefficient de shaoling N360T10 .....	49

## Table des matières

Introduction générale .....	9
Chapitre I : Généralités .....	12
<b>I.1 Introduction à la modélisation :</b> .....	12
<b>I.2 Principe de la modélisation :</b> .....	12
<b>I.3 A quoi sert la modélisation</b> .....	12
<b>I.4 La modélisation des vagues</b> .....	13
<b>I.4.1 Applications possibles :</b> .....	13
<b>I.5 Les modèles spectraux d'état de mer :</b> .....	13
<b>I.5.1 Modèle de troisième génération :</b> .....	14
<b>I.6 La réfraction :</b> .....	15
<b>I.6.1 Définition de la réfraction :</b> .....	15
<b>I.6.2 But de l'étude :</b> .....	16
<b>I.6.3 Principe de calcul de la réfraction :</b> .....	16
<b>I.7 Description et principes des logiciels utilisés :</b> .....	17
<b>I.7.1 Le modèle SWAN :</b> .....	17
<b>I.7.2 Application du modèle SWAN :</b> .....	20
<b>I.8 Données de la houle au large :</b> .....	21
Chapitre II : Description de la zone d'étude .....	23
<b>II.1 La situation géographique de la zone d'étude :</b> .....	23
<b>II.2 La zone côtière de Béjaïa :</b> .....	24
<b>II.3 Le contexte géomorphologique :</b> .....	25
<b>II.3.1 Les plages :</b> .....	25
<b>II.4 Etude bathymétrique :</b> .....	27
<b>II.5 Le contexte hydrographique :</b> .....	30
<b>II.5.1 Les houles :</b> .....	31
<b>II.5.2 Les courants :</b> .....	32
<b>II.6 Anthropisation de la côte :</b> .....	34
Chapitre III : Matériels et méthodes .....	36
<b>III.1 Logiciels élaborés :</b> .....	36
<b>III.1.1 MapInfo MapInfo Professional V11.0 :</b> .....	36
<b>III.1.2 Matlab :</b> .....	39
<b>III.1.3 Modélisation avec swan :</b> .....	40

<b>III.1.4 Représentation des résultats avec Surfer</b> .....	41
<b>III.2 Choix des directions</b> .....	43
<b>Chapitre IV : résultats et discussion</b> .....	45
<b>IV.1. Action des houles de direction (N 45°)</b> : .....	45
<b>IV.1.1. Bathymétrie (LECLAIRE 1972)</b> : .....	45
<b>IV.1.2. Bathymétrie Bejaia (SHFN)</b> : .....	45
<b>IV.2. Action des houles de direction (N 315°)</b> : .....	46
<b>IV.2.1. Bathymétrie (LECLAIRE 1971)</b> : .....	46
<b>IV.2.2. Bathymétrie Bejaia (SHFN)</b> : .....	46
<b>IV.3. Action des houles de direction (N 360°)</b> : .....	47
<b>IV.3.1. Bathymétrie (LECLAIRE 1972)</b> : .....	47
<b>IV.3.2. Bathymétrie Bejaia (SHFN)</b> : .....	47
<b>IV.4. Les résultats de coefficient de Shaoling</b> : .....	48
<b>IV.4.1. Bathymétrie Bejaia (SHFN)</b> : .....	48
<b>IV.4.2. Bathymétrie LECLAIRE (1972)</b> : .....	48
<b>IV.5. Interprétations des résultats</b> : .....	49
<b>IV.5.1. Les houles de secteur Nord-Est (N45°)</b> : .....	49
<b>IV.5.2. Les houles de secteur Nord (N315°)</b> : .....	49
<b>IV.5.3. Les houles de secteur Nord-Ouest (N360°)</b> : .....	49
<b>IV.6. Conclusion</b> : .....	49
<b>Conclusion générale</b> : .....	52
Références Bibliographiques .....	53
Annexes .....	56

# **Introduction générale**

**Introduction générale :**

Le domaine littoral forme une interface complexe entre continent et océan. Il constitue une frontière particulière qui reste encore mal connue à l'heure actuelle. Ainsi, les différents processus dynamiques et sédimentaires ainsi que leurs relations n'ont jamais été intégralement analysés (**Desmazes, 2005**).

Les milieux côtiers et marins constituent des écosystèmes complexes et très diversifiés, soumis aux interactions terre-atmosphère. Cette diversité résulte des changements naturels, des activités anthropiques et de la diversité même des ressources qu'ils renferment.

Les systèmes côtiers comptent parmi les plus productifs de la biosphère et offrent ainsi des attributs dont le développement économique ou social peut tirer parti ou inversement mettre en danger. Ainsi, la vulnérabilité des écosystèmes côtiers est à la mesure de leurs potentiels. Ces milieux sont ainsi souvent soumis à une sur-exploitation et à une occupation anarchique de l'espace, en particulier de façon croissante sur le littoral Algérien.

Dans ces environnements littoraux, la tendance érosive naturelle est parfois accélérée par des actions anthropiques qui ont introduit un déséquilibre dans les processus côtiers en limitant le volume de sable nécessaire au maintien des plages et à la stabilité du trait de côte (**Paskoff, 1998**). La dynamique naturelle des sédiments fluviaux, principale source d'alimentation des côtes, est entravée par l'aménagement des cours d'eau (barrages, stabilisation des berges). Localement, des effets néfastes d'ouvrages de protection (digues, épis, ouvrages portuaires) sont parfois ressentis, perturbant la dynamique sédimentaire naturelle. Enfin, l'extraction de granulats marins peut avoir des conséquences préjudiciables sur la stabilité du trait de côte en aggravant le déficit sédimentaire de la zone côtière.

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. Dans notre étude, on s'intéresse sur la réfraction de la houle.

En effet, la conjugaison des forts aléas naturels et d'enjeux considérables concentrés sur un espace réduit crée une grande vulnérabilité sur la frange côtière.

L'hydrodynamique littorale a pour but de décrire et de modéliser les phénomènes physiques à l'origine de la dynamique des fluides en milieu littoral. Son intérêt est d'une part fondamental pour une meilleure compréhension et modélisation en océanographie physique littorale (**Garlan et al. 2011**).

Le linéaire côtier du littoral de Béjaïa s'étend sur une trentaine (30) de km, aujourd'hui fortement investi, cet espace devient un territoire à risque, subissant une dégradation côtière très intense. Le danger de voir ses plages perdre de leur biodiversité et disparaître est très réel et inquiétant.

L'objet de cette étude est de comparer deux évènements bathymétrique de la zone de Bejaia et d'exploiter les résultats de la houle au large pour aboutir aux caractéristiques de la houle sur le site, ainsi de permettre une meilleure représentative de la propagation des ondes du large vers la plage dans les deux cas étudiés.

Ainsi, pour élaborer cette étude, nous avons suivi le plan de travail suivant :

- Généralités sur la modélisation avec description du model SWAN dans le premier chapitre.
- Description de deux évènements bathymétrique de la zone d'étude, dans le second,
- Le troisième chapitre, les méthodes suivies pour les différentes études (bathymétrie, modélisation numérique.
- Le quatrième chapitre comporte l'interprétation des résultats obtenus dans le troisième chapitre.
- En fin, conclusion et perspectives.

**Chapitre I**  
**Généralités**

## **Chapitre I : Généralités**

### **I.1 Introduction à la modélisation :**

L'étude du mouvement d'un fluide a toujours été un sujet de recherche très actif. Il y a quelques années, seule la description mathématique du mouvement était possible. Aujourd'hui, avec la puissance croissante des ordinateurs, il est possible d'approcher numériquement la solution de ces équations mathématiques et donc de simuler le mouvement d'un fluide qui demande beaucoup de calculs.

La modélisation consiste à construire et à utiliser un modèle qui est une représentation simplifiée de la réalité pour montrer les aspects importants du système étudié (**Ouabel, 2012**).

La modélisation est une représentation virtuelle de phénomènes réels à partir d'algorithmes et des modèles mathématiques. Les progrès de l'informatique permettent aujourd'hui de simuler par le calcul le comportement des fluides, que ce soit pour des ouvrages simples ou complexes.

### **I.2 Principe de la modélisation :**

Très sommairement, le modèle numérique consiste en une description simplifiée de la réalité qui permet, par une mise en équations, d'en approcher le fonctionnement par le calcul.

Cette simplification s'effectue à différents niveaux :

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

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

### **I.3 A quoi sert la modélisation**

La modélisation peut avoir trois objectifs :

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

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

#### I.4 La modélisation des vagues

La dynamique des vagues est complexe et fortement variables de telle sorte qu'il faut avoir recours à une série de modèles sophistiqués pour aborder les nombreux problèmes que cela implique. Ces modèles ont été validés avec des données de laboratoire et de terrain, ils nécessitent peu de données de terrain pour leur mise en route.

Les modèles mathématiques permettent de reproduire le vent et les processus de génération des vagues en un site donné.

##### I.4.1 Applications possibles :

- Analyse de houles
- Prédiction du régime de vent-vagues
- Analyses statistiques,
  - Analyse statistique des vents,
  - Analyse statistique des vagues,
- Génération, propagation et transformation des ondes,
- Réfraction, diffraction et réflexion des ondes dans un port,
- Remontée, franchissement et transmission des vagues,
- Oscillations portuaires,
- Interaction des vagues avec les structures,
- Stabilité des brise-lames,
- Forces exercées par les vagues sur les murs et les piles,
- Evaluation des risques environnementaux,
- Gonflement et déferlement,

##### I.5 Les modèles spectraux d'état de mer :

Les modèles spectraux d'état de mer s'appuient sur l'équation des spectres (1) pour la prédiction de l'état de la mer car ils permettent de s'affranchir des détails du mouvement des vagues.

$$\frac{\partial N(\mathbf{k})}{\partial t} + \nabla_{x,y} \cdot ((C_g + U_c)N(\mathbf{k})) + \frac{\partial C_\theta N(\mathbf{k})}{\partial \theta} + \frac{\partial C_\omega N(\mathbf{k})}{\partial \omega} = \sum_i \frac{S_i(\mathbf{k})}{\omega} \quad (1)$$

### Modèle de première et deuxième génération :

Les premiers modèles spectraux d'état de mer ont été élaborés dans les années 1950 – 1960 (Gelci *et al.*, 1957). Ils s'appuient sur les théories de Miles (1957) et Phillips (1957) pour la génération des vagues par le vent et sur le concept de saturation universelle de Pierson et Moskowitz (1964).

Les interactions non-linéaires sont traitées comme un phénomène secondaire et négligées. Ces modèles sont appelés modèle de 1ère génération.

Dans les années 1970, avec le projet JONSWAP (Hasselmann *et al.*, 1973), ainsi une meilleure connaissance de la physique des vagues ont montré l'importance des transferts non-linéaires dans la modélisation des états de mer, les modèles de 2ème génération apparaissent (e.g. Barnett, 1968 ; Ewing, 1971 ; Hasselmann *et al.*, 1976 *IN* (Belloulou , 2012) ) et comprenant un couplage entre les différentes composantes spectrales.

#### I.5.1 Modèle de troisième generation :

Le développement de la méthode de calcul des interactions non-linéaires (Hasselmann *et al.* , 1985) a marqué le début des modèles de 3ème génération. Dans ces modèles, chaque composante spectro-angulaire du spectre de variance évolue librement sous l'action combiné des différents processus physiques pris en compte.

Le terme de transfert non-linéaire  $S_{nl}$  n'est plus paramétrisé, mais calculé à partir de l'expression (2) de manière plus ou moins approchée.

$$S_{nl}[N_{\mathbf{k}}] = \int_{\mathbf{k}_1} \int_{\mathbf{k}_2} \int_{\mathbf{k}_3} G(\mathbf{k}, \mathbf{k}_1, \mathbf{k}_2, \mathbf{k}_3) \{N_2 N_3 (N + N_1) - N N_1 (N_2 + N_3)\} \times \delta(\mathbf{k} + \mathbf{k}_1 - \mathbf{k}_2 - \mathbf{k}_3) \delta(\omega + \omega_1 - \omega_2 - \omega_3) d\mathbf{k}_1 d\mathbf{k}_2 d\mathbf{k}_3 \quad (2)$$

Le premier modèle de 3ème génération est le modèle WAM (WAMDI Group, 1988 ; Komen *et al.*, 1994), qui a été implémenté pour des applications dans le domaine océanique ou les mers continentales. A la suite de WAM, d'autres modèles comme WAVE WATCH III (Tolman, 1991, 2002), SWAN (Booij *et al.* , 1999) et TOMA WAC (Benoit *et al.*, 1996), puis plus récemment le modèle CREST (Ardhuin *et al.*, 2001) ont été développés.

Certains modèles de recherche incluent aujourd'hui des méthodes de calcul quasi-exactes du terme  $S_{nl}$ , comme la méthode WRT (Webb-Resio-Tracy) (Webb, 1978 ; Resio et Perrie, 1991), ou la méthode GCM (Gaussian Quadrature Method) (Lavrenov, 2001 *IN* (Belloulou , 2012)).

Les temps de calcul de ces méthodes sont encore trop importants pour des applications pratiques à grande échelle. Néanmoins, grâce aux améliorations de ces

méthodes et aux outils informatiques de plus en plus puissants, on peut espérer un calcul quasi-exact des interactions non-linéaires dans un avenir proche.

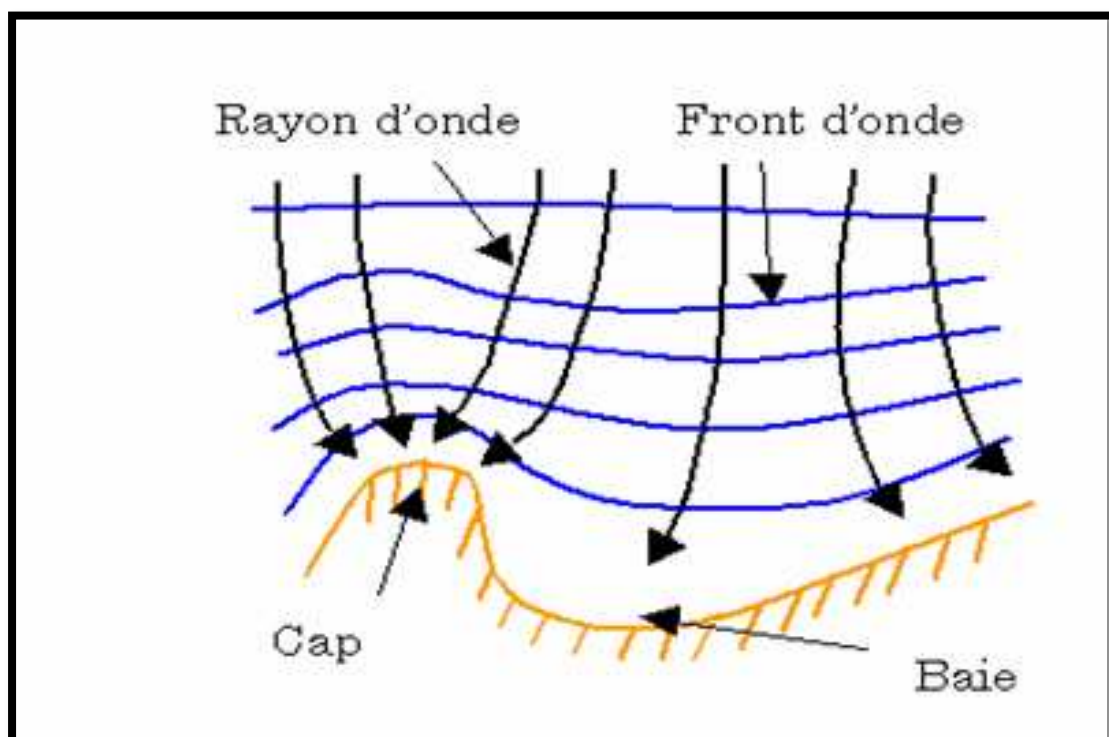
Le modèle SWAN (Ris, 1997 ; Booij *et al.*, 1999) est le premier modèle de 3ème génération conçu spécialement pour les applications côtières, incluant les effets de déferlement bathymétrique et les interactions non-linéaires

## I.6 La réfraction :

### I.6.1 Définition de la réfraction :

La réfraction des vagues est une figure essentielle du comportement de la houle en zone côtière. On peut distinguer deux formes de réfraction : celle induite par les variations du fond marin et celle induite par la présence de courants côtiers.

D'après l'équation  $c = (g \cdot h)^{1/2}$ , la vitesse de propagation de l'onde diminue avec la profondeur d'eau. Cela se traduit par une évolution de la direction de propagation  $\theta$  de la houle. Les orthogonales aux crêtes de houles tendent à être parallèles aux isobathes au fur et à mesure que la profondeur d'eau diminue. La Figure N°1 montre une schématisation de la propagation de la houle au-dessus d'une bathymétrie présentant une alternance de baies et de caps.



**Figure 1: Schématisation du phénomène de réfraction au-dessus d'une côte comportant des caps et des baies (Mezouar, k, 2009).**

La réfraction commence à être perceptible lorsque la profondeur d'eau locale est inférieure à environ la moitié de la longueur d'onde des vagues.

### **I.6.2 But de l'étude :**

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

Les données de la houle à la côte serviront, entre autres, de données d'entrée pour la conception des ouvrages maritimes ainsi que pour les essais en modèle réduit physique (canal ou bassin à houles).

### **I.6.3 Principe de calcul de la réfraction :**

Connaissant la climatologie au large, il est possible d'établir une statistique de la houle au large. Cette statistique est ensuite propagée vers la côte en utilisant des fonctions de transfert calculées suivant la bathymétrie représentée suffisamment au large, dans les fonds où les houles ne sont pas réfractées. Le coefficient de réfraction est défini de la manière suivante:

$$K_s = \frac{\text{Hs locale}}{\text{Hs large}} \dots\dots\dots (3)$$

$K_s$  : coefficient de shoaling.

$H_s$  : hauteur significative.

Les calculs de la réfraction de la houle entre le large et la côte sont effectués par le modèle numérique SWAN (Simulating Waves Nearshore développé par l'université de DELFT) 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 adapté à la problématique du littoral. Le coefficient de réfraction est calculé par SWAN.

## **I.7 Description et principes des logiciels utilisés :**

Les vagues jouent un rôle fondamental pour de nombreuses problématiques en océanographie physique et disciplines connexes : gestion des zones côtières et des opérations en mer, conception et dimensionnement de structures marines et portuaires telles qu'une digue ou une plateforme pétrolière, étude de la morphodynamique côtière et de l'évolution du littoral, récupération de l'énergie des vagues, etc. De plus, par leurs effets sur les flux entre l'océan et l'atmosphère, les vagues ont aussi des effets directs ou indirects sur les dynamiques de circulation océanique et atmosphérique. La connaissance précise et la prévision de la climatologie des états de mer (valeurs moyennes et extrêmes) représentent donc des enjeux importants pour de nombreuses applications.

Le modèle spectral de propagation des états de mer **SWAN** (acronyme de " Simulating WAVes Nearshore ") est développé au sein de **Delft** (University of Technology), 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). Pour cela, le spectre est discrétisé en un certain nombre de fréquences et de directions et l'équation est résolue sur une grille en " différence finie ".

Swan est un modèle de " **troisième génération** ", avec la possibilité de le faire fonctionner en mode première ou seconde génération ; cela permet, en fonction des besoins, des gains en ressources informatiques.

### **I.7.1 Le modèle SWAN :**

Le modèle SWAN (Simulating WAVes Nearshore, Booij et al. 2004), permet de calculer de façon réaliste les paramètres décrivant la houle au niveau des zones côtières, des lacs et des estuaires, à partir de données de vent, de bathymétrie et de courants. SWAN est basé sur l'équation spectrale de conservation de l'action de la houle qui est résolue suivant un schéma implicite en différences finies (équation 4).

SWAN peut fonctionner en mode stationnaire ou transitoire. Il est formulé en coordonnées cartésiennes (domaines de faible emprise) ou sphériques (pour les petites et grandes échelles), le maillage pouvant être rectangulaire ou curviligne.

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial c_x N}{\partial x} + \frac{\partial c_y N}{\partial y} + \frac{\partial c_\sigma N}{\partial \sigma} + \frac{\partial c_\theta N}{\partial \theta} = \frac{S}{\sigma} \quad (4)$$

Avec:  $S = S_{in} + S_{nl} + S_{wc} + S_{bf} + S_{dib}$

Où:

$N(\sigma, \theta)$  = densité de l'action des vagues:

$T$  = temps [s],

$x$  = distance dans la direction  $x$  [m],

$y$  = distance dans la direction  $y$  [m],

$\sigma$  = fréquence relative [Hz] comme on l'observe dans un cadre de référence se déplaçant avec la vitesse du courant,

$\theta$  = direction de la vague [degrés],

$c_x, y, \sigma, \theta$  = vitesses de propagations [m / s] pour respectivement  $x, y, \sigma$  et  $\theta$ ,

$S$  = source / puits terme en termes de densité d'énergie (Génération par le vent, dissipation et non-linéaire onde interactions),

Les principales caractéristiques de SWAN sont synthétisées dans le tableau ci-dessous :

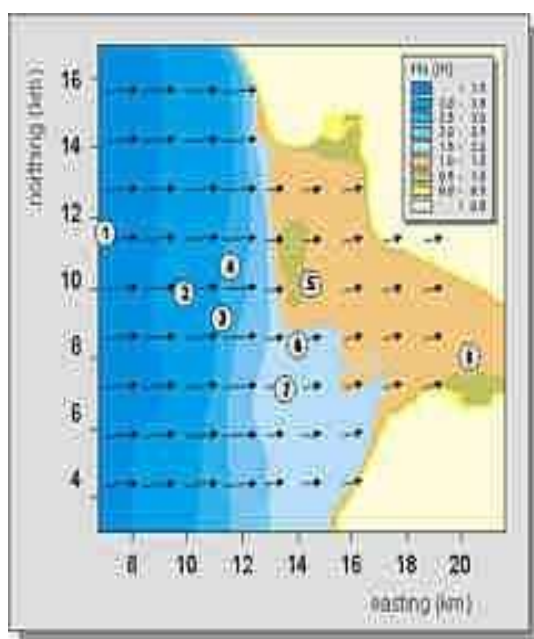
**Tableau 1: Principales caractéristiques de SWAN.**

Propriétés des modèles	SWAN
Base des formulations	Conservation de l'action de la houle
Domaine de propagation	360°
Théorie de la houle	Linéaire
Stationnaire ou transitoire	Stationnaire/Transitoire
Caractéristiques maillage	Différences finies, cartésien, sphérique, rectangulaire, curviligne
Dépendance de la qualité des résultats/densité maillage	Faible
Réfraction	Oui
Diffraction	Oui
Réflexion	Non
Gonflement	Oui
Déferlement	Battjes et Janssen (1978)
Interaction houle-courant	Oui
Interactions vague-vague	Triplet, quadruplet
génération de la houle (Vent)	Modèles de Phillips, Miles/champs de vent homogènes ou hétérogènes
Dissipation énergie par frottements au fond	Modèle de Hasselman et al. (1973), Collins (1972), Madsen et al. (1988)
Dissipation énergie par moutonnement	Oui
Calcul de la surcote (set-up)	Oui (profil et zone)
Prise en compte d'obstacles	Modèle de Seelig

### I.7.2 Application du modèle SWAN :

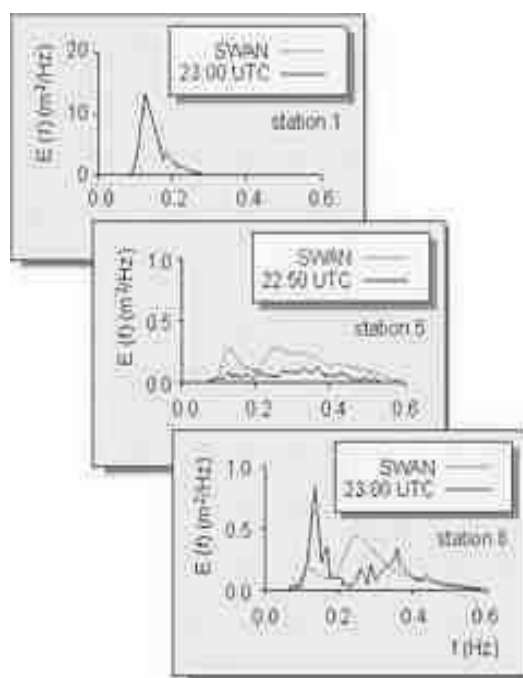
Le modèle SWAN peut être appliqué :

- La modélisation des vagues littorales pour le port et la conception d'installation au large des côtes.
- L'aménagement du littoral et de la gestion.
- Simulation rétrospective des Vagues.



**Figure 2: Exemple de résultat de SWAN**

Calculé tendance significative la hauteur des vagues et direction moyenne de transport de l'énergie (notée avec des vecteurs) dans le Haringvliet (une branche de l'estuaire du Rhin dans le sud-ouest des Pays-Bas).



**Figure 3: Spectre de vague**

Des spectres de vagues calculées à 23.00 UTC et les observations (éparpillés autour de 23,00 UTC) le 12 Octobre 1982, à trois stations (1, 5 et 8). Notez les différences d'échelle densité d'énergie dans les panneaux.

### I.8 Données de la houle au large :

Elles sont prises 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)**). Les données présentées dans le tableau 2, sont structurées par mois et les hauteurs de houle par secteur (en foot). Elles sont traitées pour obtenir un tableau contenant : les amplitudes de houle par secteur et par périodicité d'apparition ; en portant les fréquences d'apparition et les hauteurs de houle (en mètre) sur un graphe semi-logarithmique et en utilisant les droites de régression de type :  $y = a \ln(x) + b$  où :

$$\left\{ \begin{array}{l}
 x = \text{périodicité d'apparition est égale à :} \\
 \\
 x = Pn = \frac{1}{3 \times 365 \times n} \dots\dots\dots(5) \\
 \\
 \text{et } n = \text{période de retour (annuelle } n=1, \text{ biannuelle } n=2, \dots\dots). \\
 \\
 y = \text{hauteur de houle recherchée.}
 \end{array} \right.$$

## **Chapitre II**

# **Description de la zone d'étude**

## **Chapitre II : Description de la zone d'étude**

Ce chapitre porte sur le contexte général de notre zone d'étude, qui est le littoral de Béjaïa. En premier lieu, nous abordons la situation géographique, ensuite nous passons aux différents contextes géomorphologique et hydrographique.

L'environnement côtier est gouverné par des indicateurs bioclimatiques tels que les vents, les précipitations ainsi que les facteurs hydrodynamiques.

Enfin, nous concluons par le point portant sur l'anthropisation de la côte. Appelée Bougie sous l'occupation française – ce qui signifie chandelle - la wilaya de Béjaïa est une wilaya côtière disposant d'un patrimoine riche et diversifié, représenté par des sites naturelles et des vestiges historiques millénaires.

### **II.1 La situation géographique de la zone d'étude :**

La wilaya de Béjaïa « V'gayeth », est une région côtière du Nord-Est de l'Algérie comprise entre les parallèles 36°43' de latitude Nord et les méridiens 4°55' de longitude Est. Elle est distante de 250 km d'Alger avec une superficie de 3261.26 km<sup>2</sup>, bornée par : la wilaya de Jijel à l'Est, les wilayas de Bouira et Tizi-Ouzou à l'Ouest, les wilayas de Bordj Bou-Arredj et Sétif au Sud et la mer Méditerranée au Nord. Elle est d'une frange littorale qui s'étend sur plus de 110km, soit 10% du littoral Algérien.

La baie de Béjaïa se localise à l'Est de la ville, elle est comprise entre deux massifs d'âge et de nature différents : Le cap Carbon à l'Ouest et le massif d'El Aouana à l'Est, sa limite méridionale est presque totalement bordée par la chaîne montagneuse des Babors.

Notre zone d'étude s'étend sur un linéaire estimé à environ une trentaine de kilomètres.

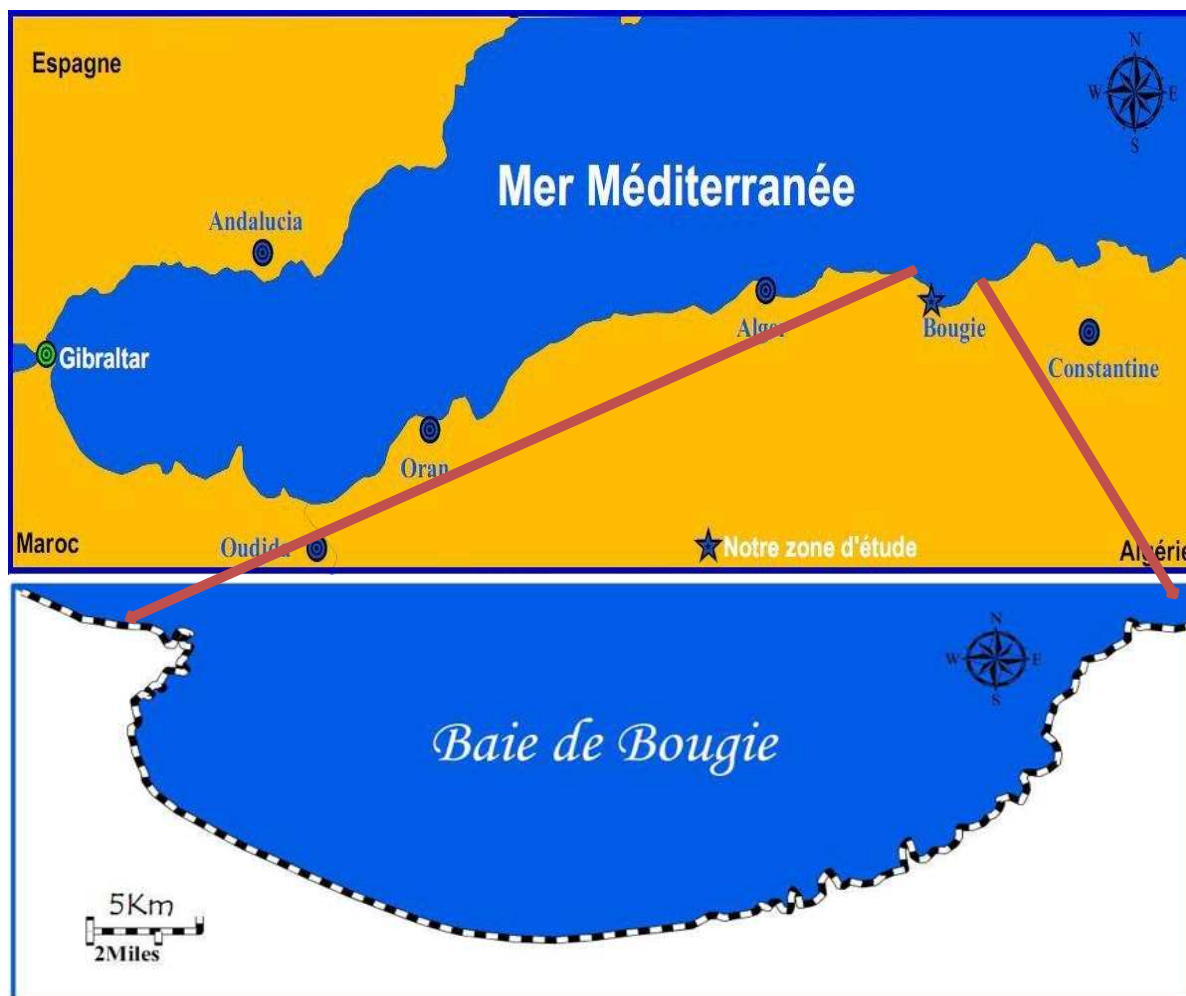


Figure 4: Localisation de la zone d'étude. (Aoudj,2014)

## II.2 La zone côtière de Béjaïa :

La zone côtière est constituée par des plaines (à partir de la rive droite de l'oued Soummam) et elle est bordée dans son extrémité Nord par une frange littorale divisée en deux : la frange littorale Ouest et la frange littorale Est.

La frange littorale Ouest s'étend de l'Ouest immédiat du Cap Carbon jusqu'aux frontières d'Azzefoun. C'est une côte rocheuse qui se caractérise par son aspect accidenté et escarpé.

La frange littorale Est s'étend à partir de la rive droite de l'oued Soummam à l'Ouest au Kef de Ziama à l'Est. Cette zone se caractérise par une plage sableuse qui est surplombée par une zone montagneuse dont les altitudes moyennes excèdent les 200 mètres. Le contact se fait par des versants courts, abrupts et entrecoupés par des vallées plus ou moins larges, dont les altitudes varient entre 2 et 4 mètres.

### **II.3 Le contexte géomorphologique :**

La géomorphologie est une discipline qui a pour objet l'étude, la description et l'explication des formes du relief terrestre, et les processus qui interviennent, spécialement ceux qui entraînent l'érosion, le transport et le dépôt des sédiments.

Quant à la géomorphologie côtière, elle vise à étudier la morphologie de la zone côtière et les processus qui entrent en jeu tels que les vagues, les courants et la marée et façonnent la côte.

Les formes côtières s'expriment par l'existence de grandes et belles plages ouvertes, notamment autour de l'embouchure de l'oued Soummam. Elles se traduisent aussi, par la présence de falaises plus ou moins élevées, soumises par vocation à l'érosion marine, participant ainsi à l'alimentation des plages limitrophes.

Néanmoins, le littoral de Béjaïa souffre d'une forte érosion de ses plages, notamment la plage de Sidi Ali Lebhar. La cause principale de cette perte excessive en sédiment revient à la construction de la piste d'atterrissage de l'aéroport de Béjaïa sur le bord de mer.

#### **II.3.1 Les plages :**

Ces zones basses d'accumulations sont alimentées principalement par les apports d'origine continentale (sédiments allochtones) ou par les produits de l'érosion côtière (sédiments autochtones).

La zone côtière de Béjaïa est constituée de quatre (4) communes côtières, de l'Ouest vers l'Est : Béjaïa, Boukhelifa, Tichy, Aokas comprenant 16 belles plages.

Au niveau de la commune de Béjaïa, nous recensons une seule plage qui est de nature sableuse : Sidi Ali Lebhar, d'une longueur de 1750 m et d'une largeur moyenne estimée en Aout 2004 à 30 m, et actuellement elle n'existe plus.

La plage de Sidi Ali Lebhar est une plage d'accumulation sous l'influence des vagues de Nord-Est, est alimentée uniquement par l'Oued Soummam.

Ce matériel sédimentaire va être distribué le long de la plage par le courant de dérive.

Nous avons également constaté la présence de revêtement qui sert à protéger l'arrière-pays de la remontée de l'eau.

Du côté Est de la plage, il y a présence d'une batterie d'épis, ils sont au nombre de 3 ; un qui est à l'extrémité Est de la plage en forme de L et les 2 autres en forme de T. Ils servent à protéger la plage de l'érosion et la piste d'atterrissage de l'aéroport de Béjaïa.



**Photo n°01** : Embouchure de l'Oued Soummam au niveau de la plage de Sidi Ali.



**Photo n°02** : Protection en enrochements naturels de la plage.



**Photo n°03** : Les épis en forme de T et de L.

#### **II.4 Etude bathymétrique :**

Concernant la bathymétrie de la zone d'étude nous avons digitalisés deux cartes bathymétriques, celle des forces navales SHFN (figure N°5), et celle de **LECLAIRE1972** (figureN°6).

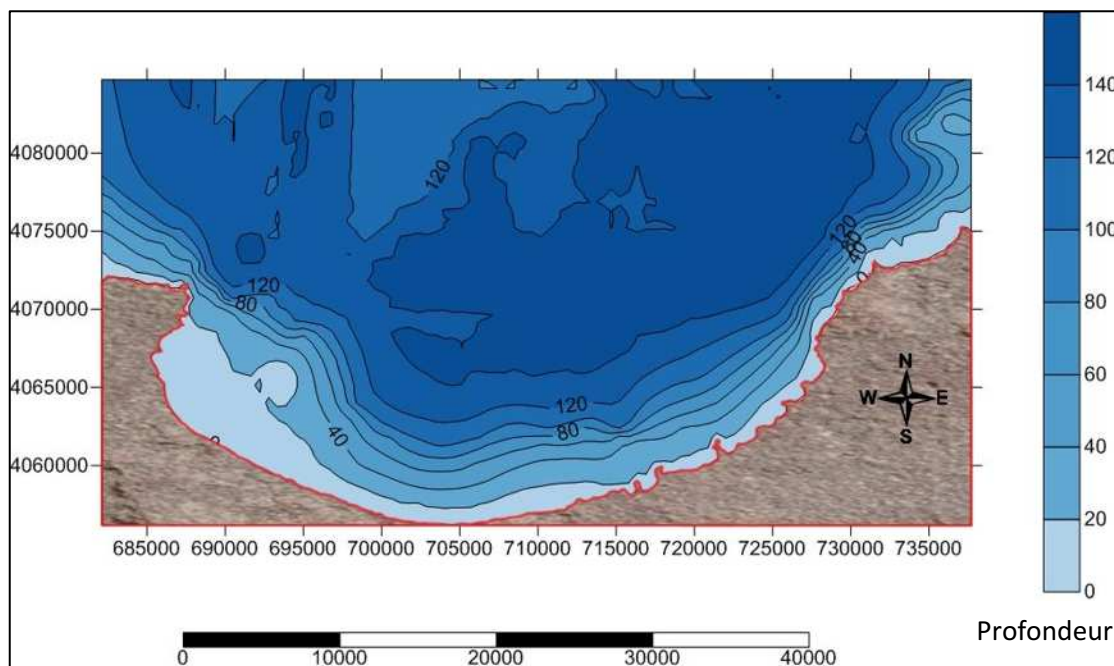


Figure 5: carte bathymétrique de Bejaïa (SHFN) .

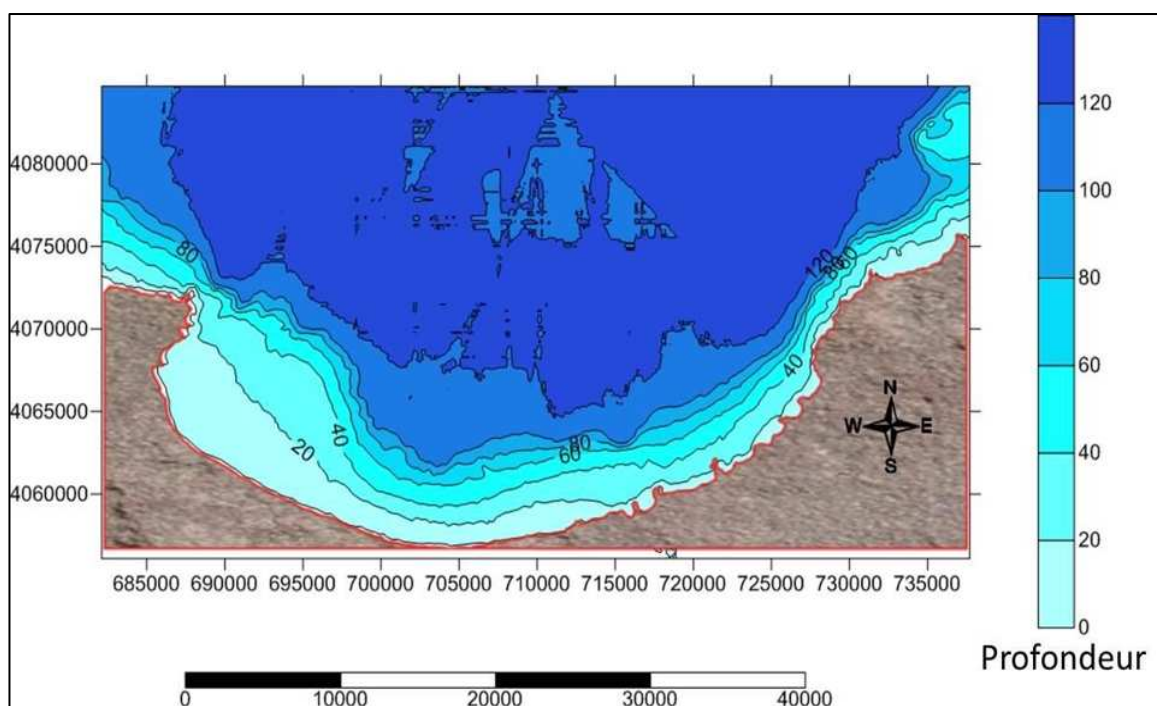


Figure 6: carte bathymétrique de Bejaïa (LECLAIRE).

Au premier abord, la carte bathymétrique obtenue montre des isobathes plus ou moins régulières et parallèles à la côte. Les courbes bathymétriques, dans la partie sous-marine de la commune littorale de Bejaïa sont très rapprochées, ce qui traduit une pente abrupte. Par contre, du côté Est les courbes sont un plus espacées d'où une pente douce.

Le model 3D nous permet de visualiser et de récapituler les observations et les commentaires fait sur la morphologie sous-marine en nous basant sur la carte en 2D.

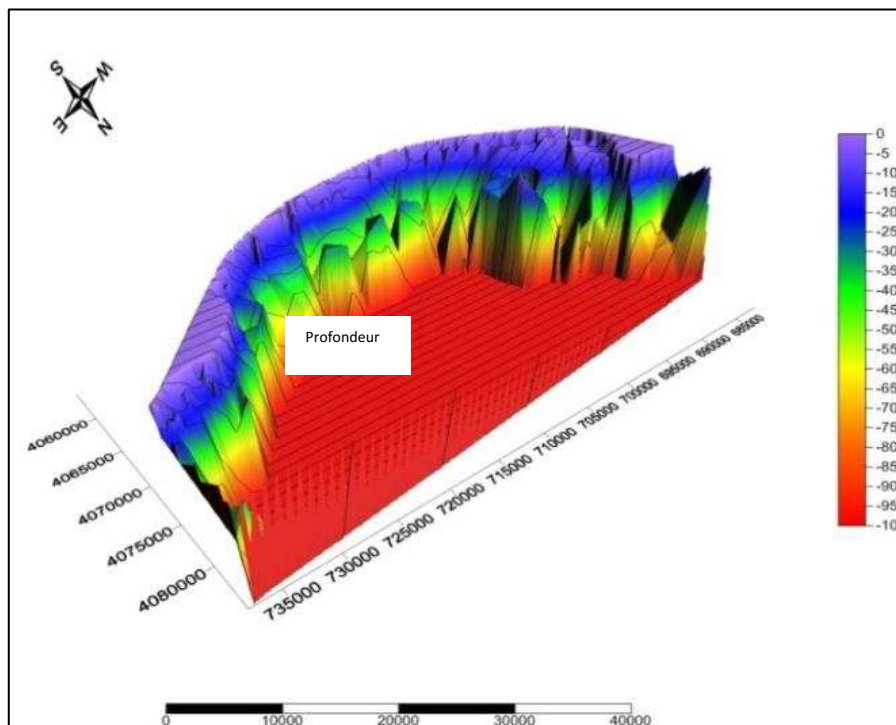


Figure 7: carte bathymétrique 3D (SHFN)

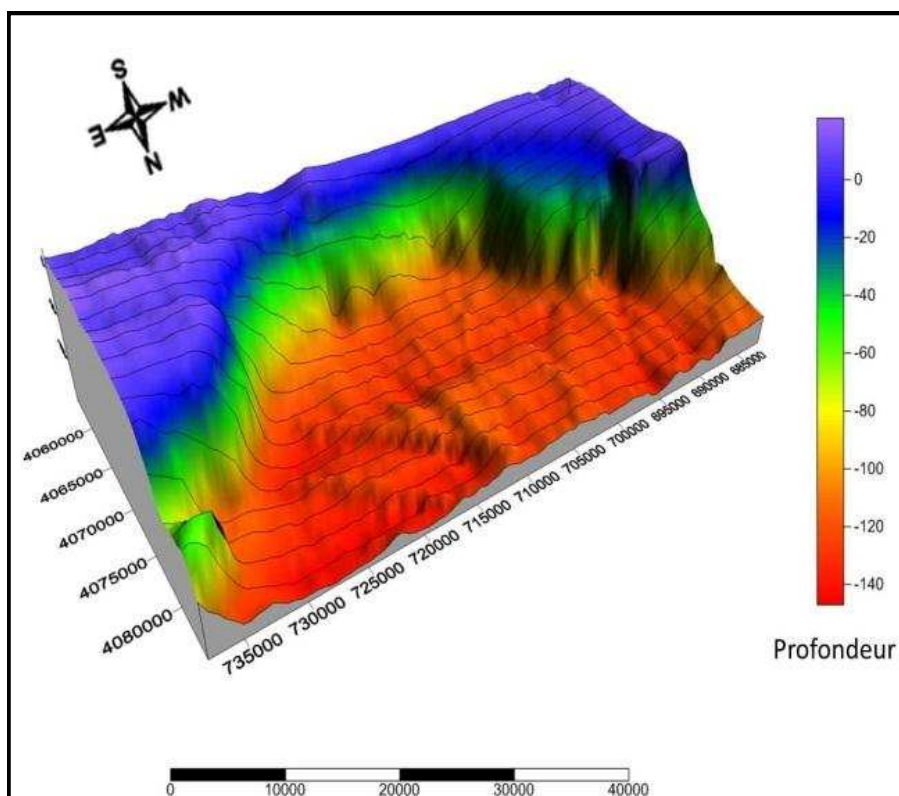


Figure 8: carte bathymétrique 3D (LECLAIRE)

## II.5 Le contexte hydrographique :

La région de Béjaïa est caractérisée par la présence de plusieurs cours d'eau qui drainent les bassins versants adjacents, et se déversent directement en mer, parmi lesquels l'oued Soummam, qui est le plus important de la région, avec un bassin versant de plus de 9125 km<sup>2</sup>



Figure 9: Carte du réseau hydrographique de la wilaya de Béjaïa, (KECIR, 2013).

Ce bassin versant est discontinu du point de vue écoulement et ruissèlement, ceci est dû essentiellement à 3 facteurs :

- L'irrégularité de la pluviométrie ;
- Variation des perméabilités et des pentes ;
- Diversification du couvert végétal.

Les apports que reçoit l'oued Soummam proviennent principalement des affluents de la rive gauche, avec un total moyen de 68 millions m<sup>3</sup>/an, et les affluents de la rive droite déversent un total moyen de 25 millions m<sup>3</sup>/an. Les affluents de la rive gauche étant situés sur des versants plus arrosés en pluies et en neige, leur permettant canaliser un écoulement de surface plus important que celui des versants drainés par les affluents de la rive droite.

## II.5.1 Les houles :

### II.5.1.1 La houle au large :

Les données de la houle au large sont celles de « SOMMERY OF SYNOPTIC METEOROLOGICAL OBSERVATION » (S.S.M.O, zone Annaba) .Ces Données s'étalent sur une période de 8 ans (1963-1970).

**Tableau 2: Fréquences mensuelles des houles au large selon les directions.**

Mois	Nord	Nord -Est	Est	Ouest	Nord-Ouest
Janvier	11,50	7.20	16.4	30.80	14
Février	8.40	6	12.4	39.60	14.50
Mars	8.50	5.50	12.90	35.50	20.40
Avril	6.40	8.80	15.2	39.40	18.60
Mai	8.60	15.90	17.30	31.70	13.10
Juin	10.10	15.30	19.5	30.10	14.60
Juillet	12.30	19.80	22.5	20.10	17.10
Aout	12.40	19.90	24.9	18.50	16.90
Septembre	12	14.20	29.20	17.70	15.80
Octobre	8.20	11	19	30.40	11.10
Novembre	4.20	3.6	7.9	40.1	19.60
Décembre	6.70	4.5	6	38.1	19.20

Source : SSMO periode (1963-1970)

- Les houles de l'Ouest, de l'Est et du Nord-Ouest sont les plus fréquemment observées avec des fréquences de 40,1% ; 29,20% et 20,4% respectivement ;
- Sur une phase annuelle, les houles d'Ouest sont prédominantes avec une fréquence de 40,1%
- Les houles des secteurs Nord et Nord-Est sont les moins observées avec des fréquences de 4,20% et 3,60% respectivement.

**Tableau 3: L'état de la mer. Source : S.S.M.O, Période : (1963 – 1970).**

Degré	Amplitudes en mer	Etat de la mer
Calme	< 0,25	Ridée ou belle
0	0,25-0,75	Ridée ou belle
1	0,75-1,75	Modérée
2	1,75-2,75	Agitée
3	2,75-3,75	Forte
4	>3,75	Très forte ou supérieure

**Tableau 4: Houle annuelle dans la région de Bejaia Source : (SSMO ; 1970).**

<b>Direction houle au large(m)</b>			
<b>Période</b>	<b>Nord</b>	<b>Nord Est</b>	<b>Nord-Ouest</b>
<b>6 s</b>	Hs=1,00m	Hs=1,09m	Hs=1,10m
<b>8 s</b>	Hs=2,67m	Hs=2,56m	Hs=2,64m
<b>10s</b>	Hs=4,92m	Hs=5,05m	Hs=4,53m

## **II.5.2 Les courants :**

### **II.5.2.1 Les courants généraux :**

Le régime climatique du bassin méditerranéen, chaud et sec, provoque une évaporation très élevée et constitue le moteur de la circulation thermo-haline. La configuration du détroit de Gibraltar, d'une profondeur de 320 m, ne permet que l'entrée d'eaux superficielles à l'intérieur du bassin méditerranéen. Ces eaux qui pénètrent de l'atlantique forment le courant algérien, qui s'écoule d'ouest en est le long des côtes.

Dans sa progression, le courant algérien est affecté par des tourbillons cycloniques et anticycloniques de 50 à 200 km de diamètre et qui atteignent 500 à 2000 mètres de profondeur (Millot et al, 1986 ; Millot, 1987 ; Taupier-Letage, 1988) créant ainsi dans la plupart des baies un contre-courant littoral vers l'Ouest.

Au niveau de la baie de Béjaïa, les courants de l'atlantique n'affectent pas la frange côtière, seuls les courants locaux sont à prendre en compte dans l'hydrodynamisme côtier.

### **II.5.2.2 Les courants côtiers :**

Les phénomènes hydrodynamiques qui régissent les transferts sédimentaires sur la plage sous-marine et dans la zone de ressac sont nombreux et parfois très complexes.

La dynamique de sables le long des rivages est fonction de l'action de la dérive littorale, elle-même liée aux paramètres physiques de la houle.

Au contact de la remontée du fond, les houles donnent lieu à des rouleaux qui, en provoquant la mise en suspension des particules, favorisent leur déplacement.

Le sens et l'intensité de ce courant sont fonction de l'amplitude et de l'incidence de la houle par rapport à la côte, mais également de la topographie de la plage sous-marine et de la granulométrie des sédiments.

### **II.5.2.3 Le courant de retour :**

Le courant de retour correspond à une zone de flot de retour du courant existant à partir du lieu de déferlement de la houle.

Ces courants possèdent une vitesse qui dépend de l'énergie de la houle et de la pente de la plage et ils sont responsables de la dispersion d'une partie des sédiments côtiers vers le large.

### **II.5.2.4 Le courant de dérive littorale :**

Lorsque la houle arrive à la côte avec une incidence oblique, celle-ci donne naissance à un courant de dérive littorale, la vitesse de ce courant est maximale pour un angle d'incidence de 50 à 60°.

La dérive littorale prend naissance au niveau de la zone de déferlement où l'énergie est maximale, cette énergie permet la remise en suspension et le transit des particules sédimentaires le long de la côte.

Dans le cas général des houles de petites et moyennes amplitudes, les courants ne sont notables que dans la zone de déferlement et n'affectent donc que le triage des sables et graviers de la frange littorale (fond à -10 m). Ils assurent le transport latéral par dérive littorale et la dispersion. Par contre, pour les houles de fortes amplitudes, elles pourraient agir en fonction de l'amplitude jusqu'à des fonds atteignant 40 à 60 m de profondeur.

### **II.5.2.5 La marée :**

D'une façon générale, la marée sur la côte algérienne est faible (de l'ordre de 20 cm environ).

Le rythme fondamental est imposé par la marée astronomique de faible amplitude comme sur toute la côte algérienne. En plus de la marée astronomique, le niveau d'eau peut changer en fonction d'autres phénomènes tels que la pression atmosphérique et le vent ; mais le niveau ne dépasse guère les 50 cm.

## II.6 Anthropisation de la côte :

**Tableau 5: Anthropisation de la cote de Béjaïa.**

Communes	Surface de la commune	Surface du domaine littoral (km <sup>2</sup> )	Pourcentage du domaine littoral/surface de la commune (%)	Linéaire côtier en km	Surface de la zone de servitude km <sup>2</sup>
Béjaïa	120.22	90.64	75,39	32.45	9.90
Boukhelifa	116.38	72.58	62,36	6.85	2.69
Tichy	56.66	22.37	39,48	6.80	2.13
Aokas	27.87	15.53	55,72	7.11	1.83

De nos jours, les zones côtières Algériennes « fréquentent » le phénomène de bétonisation soit en construisant au bord de la mer ou bien par suite à la mise en place de certaines infrastructures qui sont les ouvrages de protections.

L'espace littoral construit croît d'année en année, où plusieurs activités à vocation touristique et industrielle ont été implantées. L'attrait de la ville et de la mer est si fort que le linéaire côtier construit représente 29,4%, soit 35,270 km. De ce fait, la densité de la population littorale est importante. (Aoudj C., 2014).

## Chapitre III

# Matériels et méthodes

### Chapitre III : Matériels et méthodes

Dans le présent chapitre ; nous nous sommes basés sur les données générales récoltés sur notre zone d'étude afin d'effectuer nos études ; pour les méthodes utilisées nous nous sommes référés à ce que nous avons acquis pendant notre cursus.

#### III.1 Logiciels élaborés :

##### III.1.1 MapInfo MapInfo Professional V11.0 :

MapInfo est un Système d'Information Géographique (SIG) créé en 1980 au États-Unis. Le logiciel permet de réaliser des cartes en format numérique.

Il réalise à l'aide d'un système de couches des informations géo-localisées : points, image... Il incorpore également un nombre de formats de données, de fonctions cartographiques et de gestion de données. C'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.

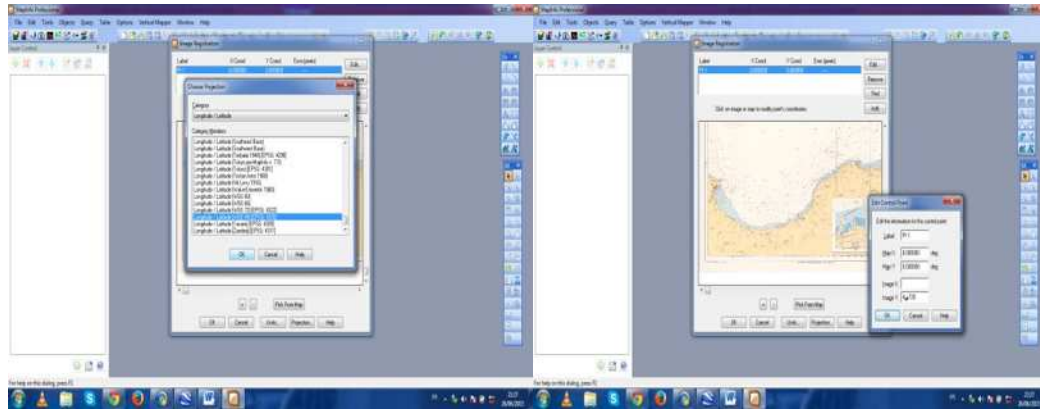
Afin d'avoir une bathymétrie pour la zone d'étude de Bejaia, on a suivi les étapes suivantes :

1. Le géoréférencement de la carte (WGS84, UTM31 North Sahara),
2. La digitalisation,
3. L'extraction des coordonnées géographiques des points (X, Y, Z) à l'aide Vertical Mapper 3.0 (Vertical Mapper™),

#### Remarque :

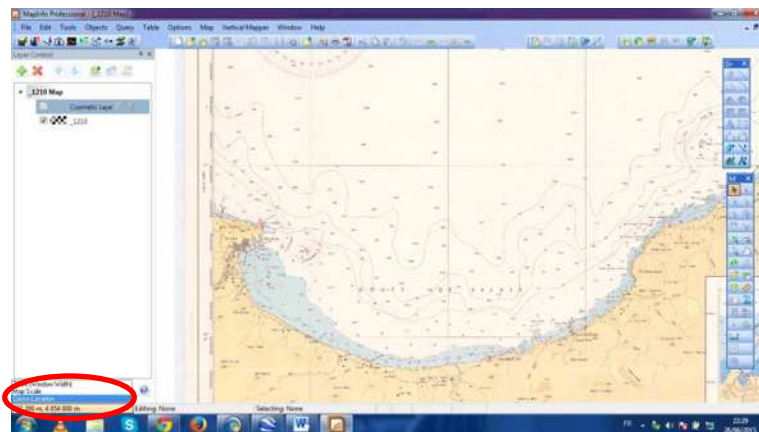
MapInfo a la particularité de prendre la bathymétrie en valeurs positives et la topographie en valeurs négatives.

1. Le géoréférencement de la carte :
  - Calage de la carte marine de la Wilaya de Bejaia dans la projection Universal Transverse Mercator (WGS 84), UTM Zone 31, Northern Hemisphere.



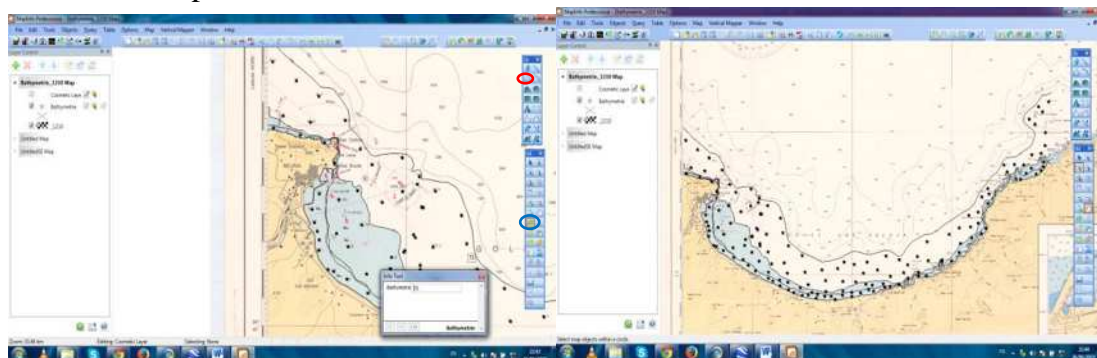
**Figure 10: Table représentant le calage de la carte marine de Bejaia**

On vérifié le calage, en allant vers Cursor Location



**Figure 11: Table représente carte géoréférencé**

2. Digitalisation des points et des lignes de profondeur :  
 On allan vers file > new table > Add to curent mapper > Create > Add field,  
 type Integer, projection WGS 84 > create.  
 On clique sur le bouton entouré en rouge et on commence à digitalisé, une fois  
 terminer, on clique sur le bouton entouré en bleu pour entrer la profondeur en  
 valeur positive.



**Figure 12: La digitalisation des lignes et des points.**

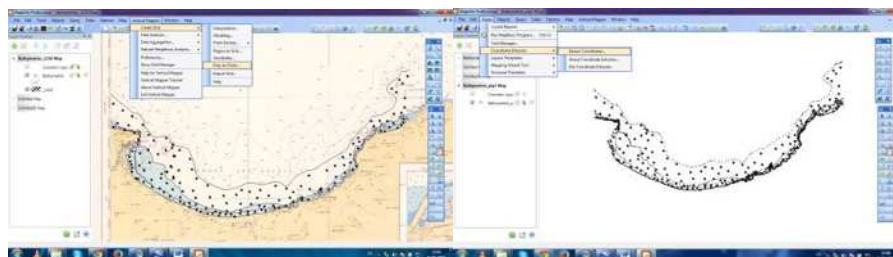
3. Extraction des points à partir des lignes digitalisées. (X, Y, Z) à l'aide Vertical Mapper 3.0 (Vertical Mapper™).

Vertical Mapper est un module 3D qui permet de générer et d'afficher des contours en modélisant les valeurs attachées à une carte de points. Entièrement intégré dans MapInfo Professional, il permet d'effectuer des modélisations en relief de terrain par surface continue et tridimensionnelle. Il permet de modéliser par coloration continue des phénomènes de température et d'élévation, ou via une thématique, la criminalité ou les revenus par exemple. Avec MapInfo Vertical Mapper :

- Crée des cartes topographiques 3D de manière à mieux comprendre l'influence d'un phénomène sur son environnement;
- Compare les cartes de couverture de signal afin d'identifier des zones d'ombres ou d'affiner le choix de la bande de diffusion ou de la fréquence pour les entreprises de télécommunications ;
- Génère des cartes de composition du sous-sol pour l'exploitation des ressources naturelles;
- Examine la position tridimensionnelle d'un bâtiment en ajoutant un modèle numérique de terrain de manière à interpréter les risques d'inondation dans le cas d'une compagnie d'assurance.

Aller vers vertical mapper > great grid > poly to point > on selection Polyligne, Include existing point > OK

Tools > Coordinate extractor > Extract coordinate



**Figure 13: L'extraction des points à partir des lignes et points digitalisés.**

Sélectionner tout le tableau > Copie (ctrl+c) et coller dans un tableau Excel

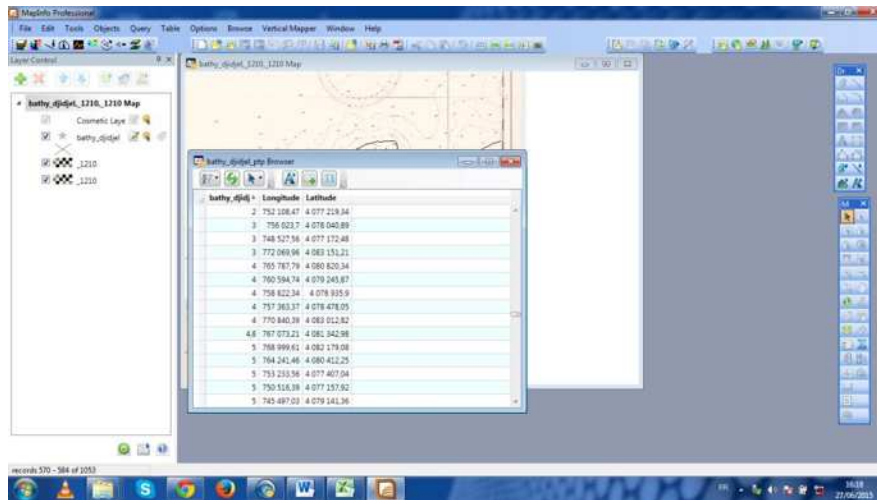


Figure 14: Enregistrement des points extraits

### III.1.2 Matlab :

Interpolation de la bathymétrie Avec MATLAB Code (.m).

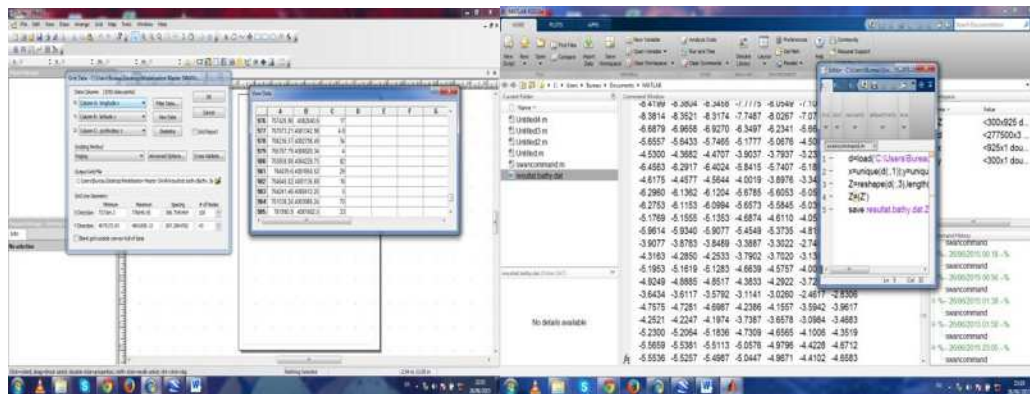


Figure 15: Interpolation de la bathymétrie

Ouvrir le fichier résultant de Matlab avec Excel > Remplacer les points par virgules > remplacer les valeurs négative par -999 ( ctrl+f > remplacer -\* par -999).

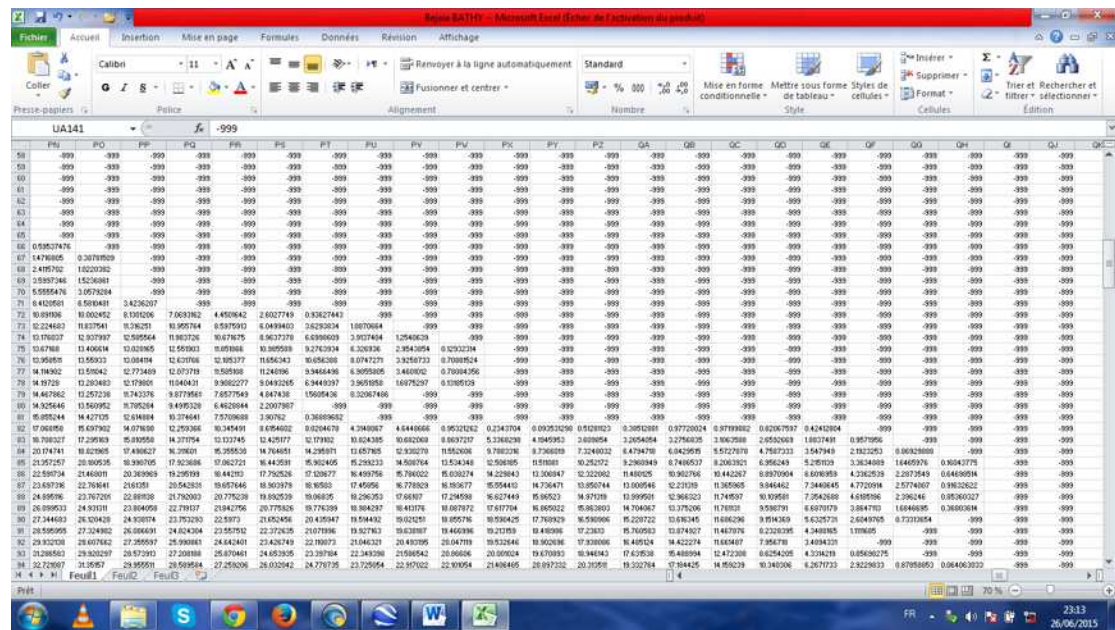


Figure 16: résultats après l'interpolation

III.1.3 Modelisation avec swan :

- Acquisition de la bathymétrie en fichier Excel comprenant les coordonnées métriques ainsi que la profondeur.
  - Créer la grille de la bathymétrie sur surfer
  - Exporter la bathymétrie à partir de la grille vers le format .DAT
  - remplir les fichiers de commande Swann pour chaque direction et pour chaque période annuelle.
  - pour exécuter ; Avec l'invite commande ; on ouvre le dossier cd + [lien du dossier](#) contenant le fichier commande
  - swanrun [fichier de commande](#)
- Ouvrir le fichier crée pour chaque fichier de commande qu'on ouvre en forme .DAT
  - Importer vers l'Excel
  - Sélectionner les colonnes dont nous avons besoin (latitude, longitude, Hs, direction, période, deep)
  - Création de la grille pour Hs et pour la direction sur Surfer
  - Aller sur toolbar options > on sélectionne new contour mapper pour représenter Hs >add  
«2-Grid vector layer » pour représenter la direction
- Pour la mise en forme on va vers property manager ( à gauche de l'écran)

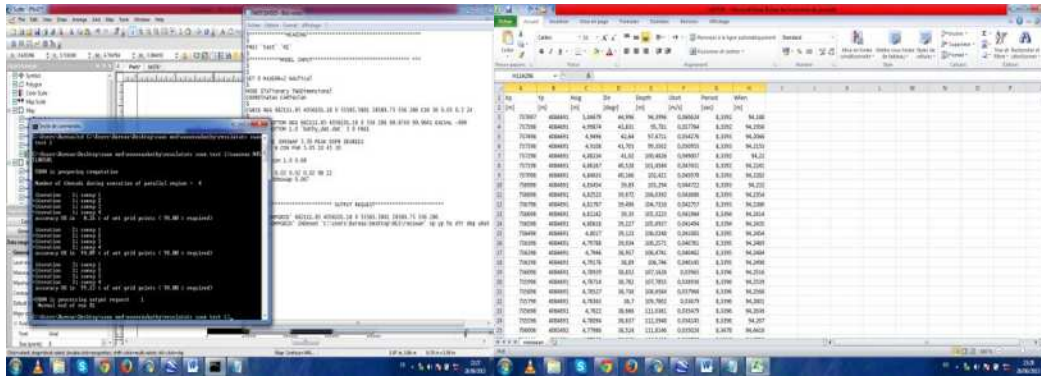


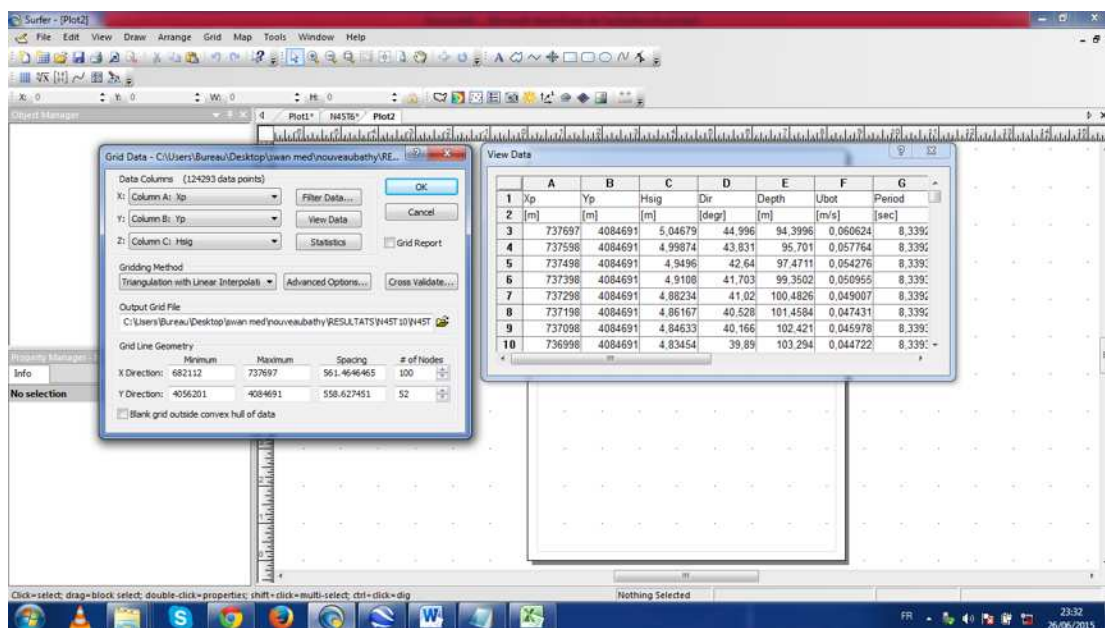
Figure 17: Fichier de commande et output SWAN

### III.1.4 Représentation des résultats avec Surfer

Surfer : conçu par Golden Software, vous permet de réaliser des modèles numériques de terrain (MNT) issus des données récoltées sur le terrain ou résultantes d'un calcul. Le principe de Surfer est le suivant: le logiciel permet de créer des grilles qui vont interpoler les données irrégulières des points  $x, y, z$  afin de les ordonner. C'est à partir de ces grilles qu'on pourra créer plusieurs types de cartes: basemap, contourmap, 3Dsurface, vector et bien d'autres...

Créer une grille en allant dans : Grid => Data et parcourir le fichier Excel puis cliquer sur ok.

NB : le choix des colonnes doit être vérifié, de sorte que le X pour les latitudes, Y pour les longitudes et Z pour la profondeur. On doit aussi vérifier le choix de la méthode d'interpolation.



**Figure 18: représentation des résultats avec Surfer**

Une fois la grille est créé, aller dans « Toolbar Options »



Maintenant pour obtenir les cartes d'isobathes en 2D cliquer sur l'icône en vert et parcourir la grille obtenue en 2 et pour les cartes bathymétriques en 3D cliquer sur l'icône entourée de rouge. Enfin pour localiser les stations de mesure, cliquer sur l'icône en bleu et là on doit parcourir le fichier Excel directement et les stations apparaissent.

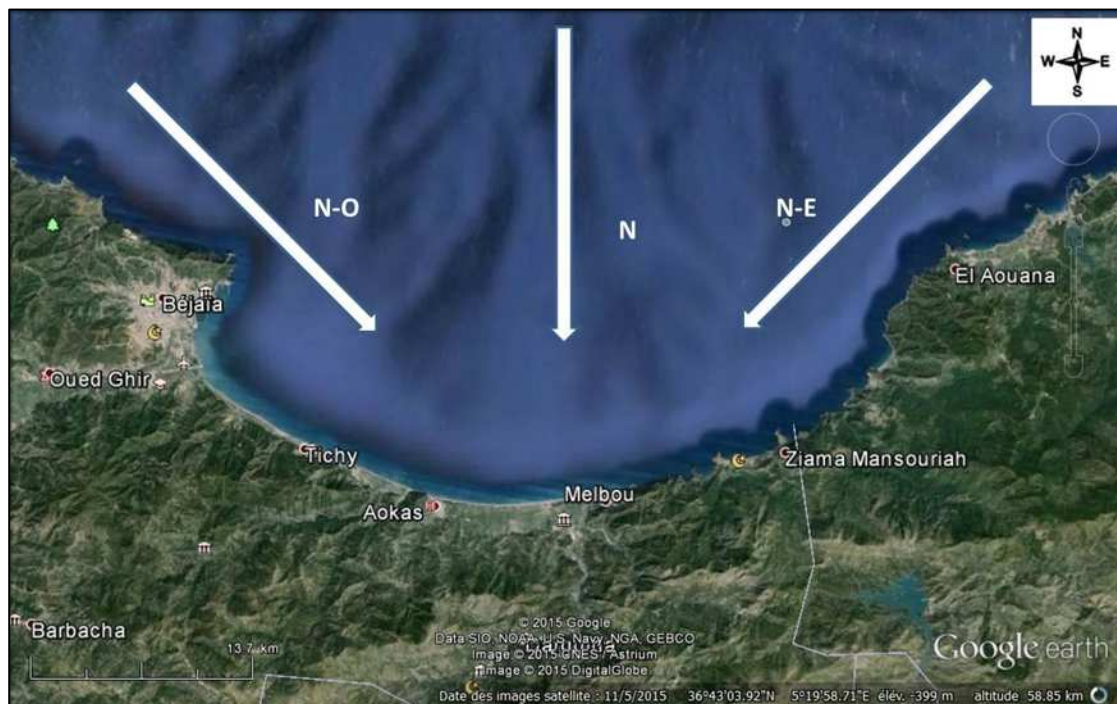
NB : Après la création des cartes ; on va choisir le système de projection qui est : l'UTM ainsi que le système de coordonnées (Datum) : le WGS 84

Pour tracer les profils ; sur la carte bathymétrique obtenus on fait un clic droit > add > profil ; ensuite on fait glisser le curseur de la côte vers le large en s'assurant que le profil soit perpendiculaire à la côte.

### III.2 Choix des directions

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

Ainsi trois (03) directions ont été retenues en tenant compte des tableaux de fréquence par direction des houles au large ainsi que l'incidence de ces houles par rapport à la zone d'étude (figure N°8) :



**Figure 19: Carte des directions choisies**

- Une direction approximativement perpendiculaire à la côte pour mesurer les effets d'une houle frontale ( $360^{\circ}$ N)
- Deux directions de houle à incidences obliques ( $45^{\circ}$ N et  $315^{\circ}$ N)

## Chapitre IV

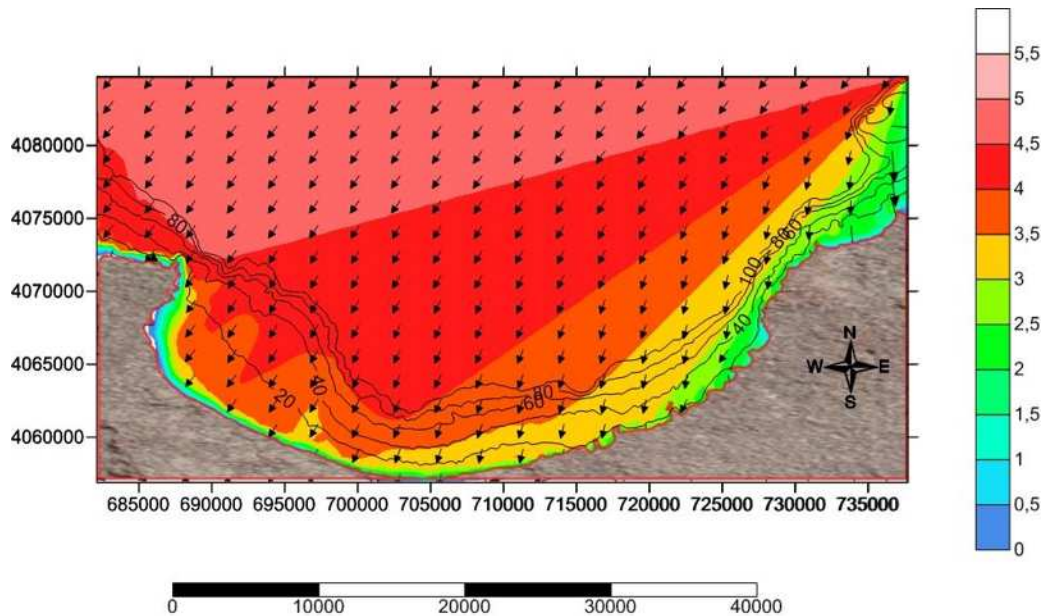
# Résultats et discussions

**Chapitre IV : résultats et discussion**

Les résultats de l'étude de propagation de la houle sont illustrés par la détermination quantitative des conditions de la houle en quelques points (points d'extractions), qui permet l'établissement de la statistique locale de la houle en ses profondeurs qui sera utilisée pour le pré-dimensionnement des ouvrages de protection ainsi que pour le calcul du transit sédimentaire.

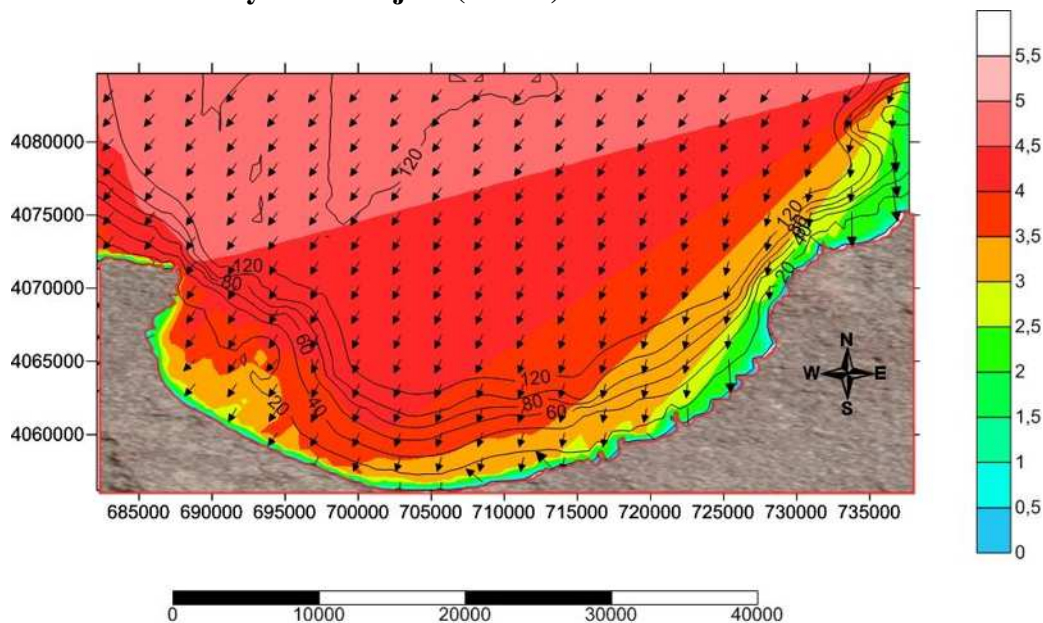
**IV.1.Action des houles de direction (N 45°) :**

**IV.1.1.Bathymétrie (LECLAIRE 1972) :**



**Figure 20: Résultats du SWAN N45T10 (LECLAIRE 1972)**

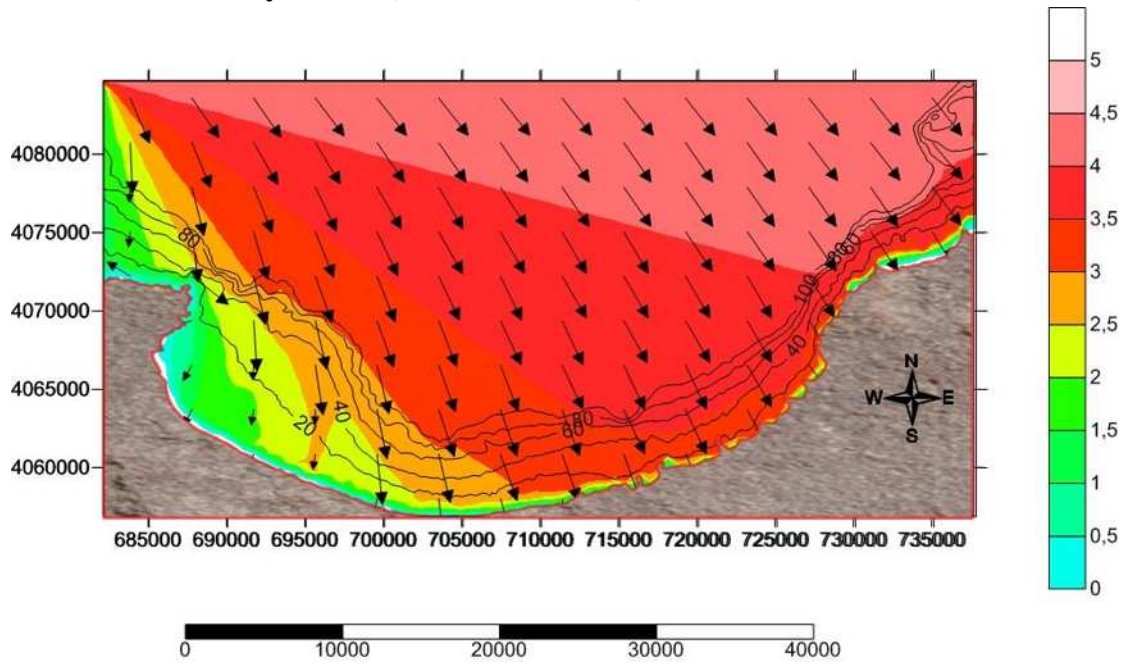
**IV.1.2.Bathymétrie Bejaia (SHFN) :**



**Figure 21: Résultats du SWAN N45T10 (SHFN)**

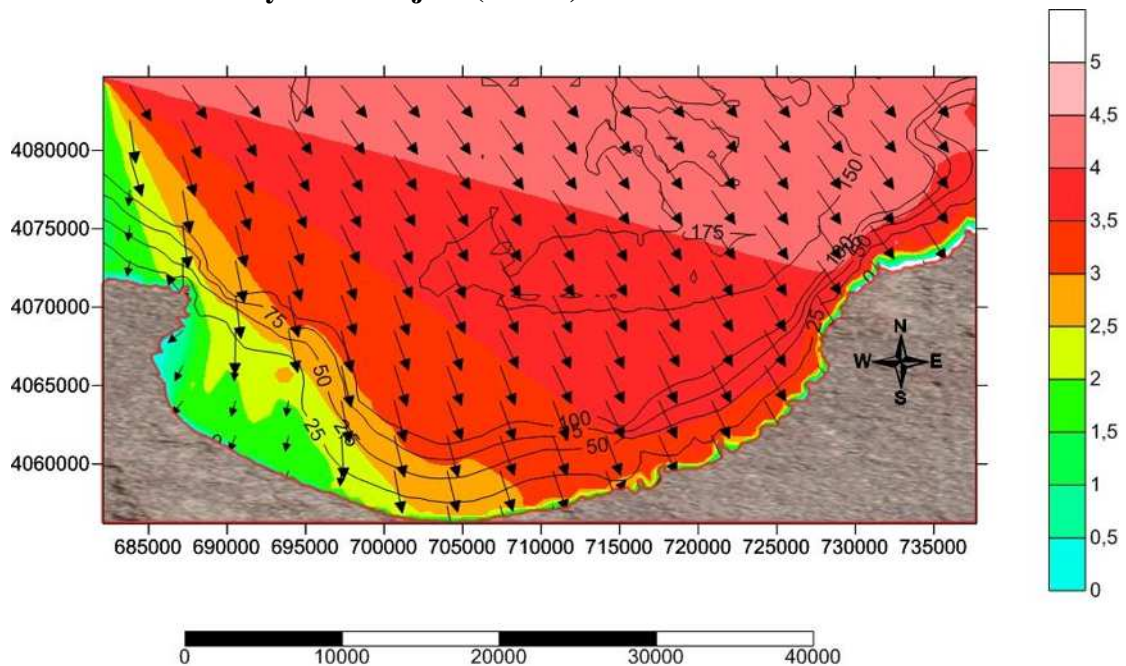
**IV.2. Action des houles de direction (N 315°) :**

**IV.2.1. Bathymétrie (LECLAIRE 1971) :**



**Figure 22: Résultats du SWAN N315T10 (LECLAIRE 1972)**

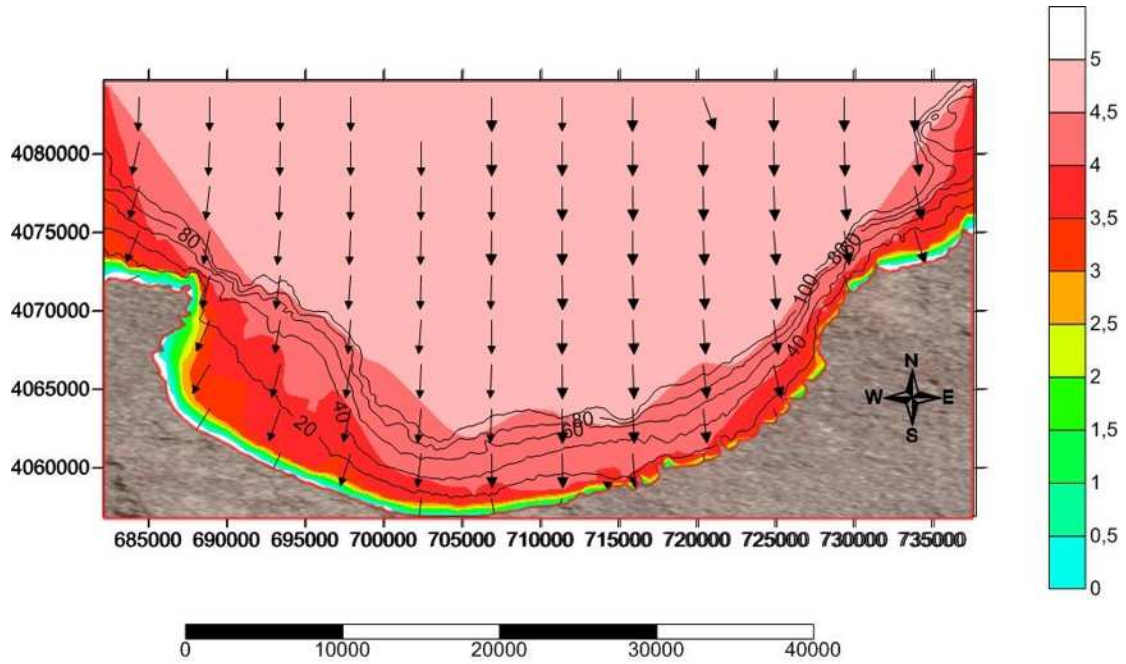
**IV.2.2. Bathymétrie Bejaia (SHFN) :**



**Figure 23: Résultats du SWAN N315T10 (SHFN)**

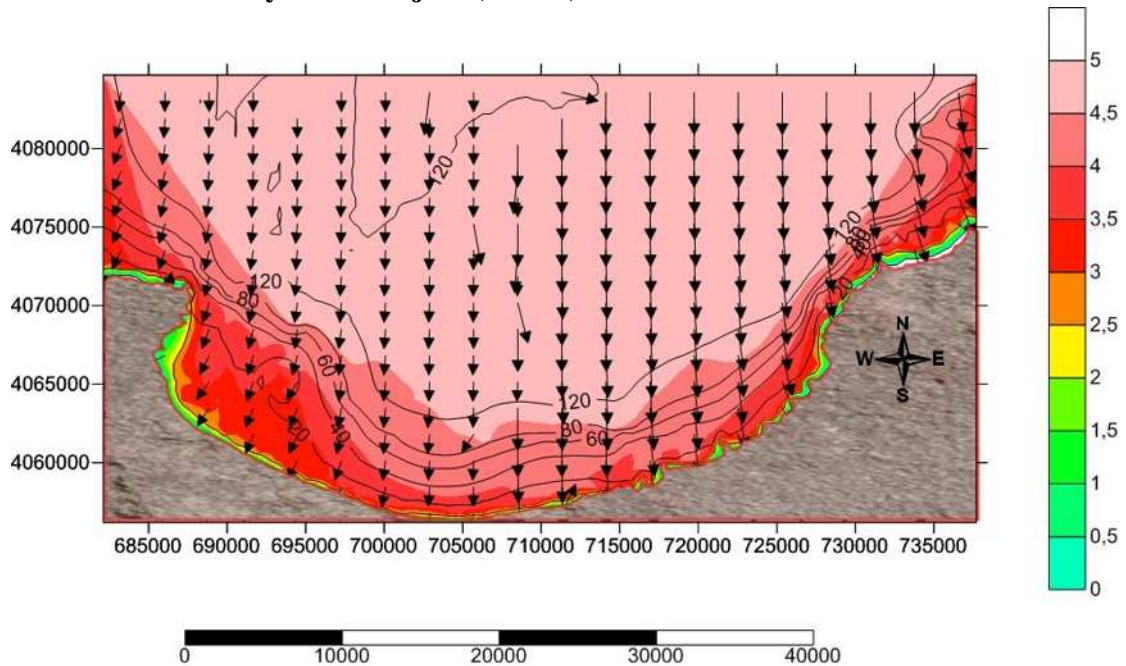
**IV.3. Action des houles de direction (N 360°) :**

**IV.3.1. Bathymétrie (LECLAIRE 1972) :**



**Figure 24: Résultats du SWAN N360T10 (LECLAIRE 1972)**

**IV.3.2. Bathymétrie Bejaia (SHFN) :**



**Figure 25: Résultats du SWAN N360T10 (SHFN)**

**IV.4. Les résultats de coefficient de Shaoling :**

(Ks : coefficient de Shaoling)

**IV.4.1. Bathymétrie Bejaia (SHFN) :****Tableau 6: Coefficient de shaoling N45T10**

N45 T10	
Prf (m)	Ks
20	0,63
40	0,71
60	0,79

**Tableau 7: Coefficient de shaoling N315T10**

N315 T10	
Prf (m)	Ks
20	0,55
40	0,59
60	0,68

**Tableau 8: Coefficient de shaoling N360T10**

N360 T10	
Prf (m)	Ks
20	0,60
40	0,69
60	0,87

**IV.4.2. Bathymétrie LECLAIRE (1972) :****Tableau 9: Coefficient de shaoling N45T10**

N45 T10	
Prf (m)	Ks
20	0,73
40	0,85
60	0,89

**Tableau 10: Coefficient de shaoling N315T10**

N315 T10	
Prf (m)	Ks
20	0,5
40	0,59
60	0,64

**Tableau 11: Coefficient de shaoling N360T10**

N360 T10	
Prf (m)	Ks
20	0,65
40	0,85
60	0,89

#### **IV.5. Interprétations des résultats :**

##### **IV.5.1. Les houles de secteur Nord-Est (N45°) :**

D'après les tableaux n°6 et 9 pour la direction N45, le coefficient de Shaoling pour les 60m de profondeur est peu important ( $K_s=0,89$  et  $K_s=0,79$ ) qui signifie que l'amortissement est peu importante et que l'énergies des vagues ne sont pas bien amoindries par les fonds côtiers par apport au large, pour 40 et 20m de profondeur, l'amortissement des vagues est plus importants dans la bathymétrie de SHFN ( $K_s=0,71$   $K_s=0,63$ ) que pour la bathymétrie de LECLAIRE ( $K_s=0,85$   $K_s=0,73$ ).

##### **IV.5.2. Les houles de secteur Nord (N315°) :**

La direction N315, le calcul de coefficient de Shaoling dans les tableaux n°7,10 montrent que à 60,40 et 20m de profondeur, la hauteur des vagues devienne faible par rapport au large et elles perdent leur énergie en se propageant du large vers la côte avec presque la même intensité d'amortissement.

##### **IV.5.3. Les houles de secteur Nord-Ouest (N360°) :**

Les houles aux amplitudes les plus importantes au large sont celles du secteur Nord pour les deux bathymétries.

Le coefficient de Shaoling calculé (tableau n°11,8) montre que pour la direction N360 à 60 m de profondeur les houles perdent très peu de leur hauteur par apport au large ( $K_s=0.8$  pour N360) et sont donc peu amoindri. A 40m de profondeur la hauteur des vagues devienne plus faible pour la bathymétrie de SHFN ( $K_s=0,69$ ) par rapport à la bathymétrie de LECLAIRE ( $K_s=0,85$ ); on remarque aussi que la hauteur des vagues est très bien amortit pour 20m de profondeur. On remarque aussi qu'elles conservent leur direction du départ.

#### **IV.6. Conclusion :**

L'étude de la réfraction avec le logiciel SWAN a montré que le site d'étude est exposé aux houles du secteur Nord, Nord-Est et Nord-Ouest, ceci est expliqué par la configuration de son trait de côte qui est parallèle au Nord et qui reçoit l'énergie des houles de ces trois secteurs. En plus, le coefficient de Shaoling  $K_s$  de ces trois

directions, à 20 m de profondeur varie entre 0.73 et 0.5 ; ce qui montre que les houles du secteur Nord, Nord-Est et Nord-Ouest agissent de la même manière sur la zone d'étude et peuvent générer des courants littoraux entraînant l'érosion de la plage.

# Conclusion générale

**Conclusion générale :**

La modélisation numérique est devenue l'outil incontournable dans tous les métiers de l'environnement et de la mécanique des fluides. En effet pour tous ce qui touche à l'aménagement hydraulique, l'érosion côtière, les énergies renouvelables . . . etc., le numérique est indispensable.

L'utilisation de modèles numériques a une grande importance dans l'étude de phénomènes physiques.

L'étude de la réfraction avec le logiciel SWAN est primordiale pour obtenir des estimations réalistes des paramètres des vagues dans les zones côtières, des conditions de vent, fond et courants donnés; a montré que les résultats de ce modèle sont les plus fiable avec une erreur plus au moins de 20%

Concernant notre travaille, la simulation des vagues sur deux bathymétries différentes (Bejaia SHFN et LECLAIRE) du Golf de Bejaia montre que la profondeur joue un rôle très important dans la réfraction, l'amortissement des vagues par les fonds et la propagation de l'énergie vers la côte.

Pour mieux améliorer la fiabilité des résultats, nos perspective est de travailler sur SWAN en mode non-stationnaire, de suivre en temps réel (ou presque) les vagues du large vers la côte et de le coupler avec le modèle Wave Watch 3.

Références  
Bibliographiques

**Bibliographie****Thèses et ouvrages :**

- Aoudj, C. ( 2014).** Évolution morpho dynamique du trait de côte du littoral Est de Béjaïa ; Mémoire de Master ; ENSSMAL.53p.
- Ardhuin, F. Chapron, B. Collard, F. (2001).** Observation of swell dissipation across oceans. *Geophys. Res. Lett.*, 36, L06607, doi :10.1029/2008GL037030. 345p.
- Belloulou, B. (2012).** Etat de l’art sur l’utilisation du modèle SWAN (Stimulating WAVes Neashore) dans un environnement microtidal. ENSSMAL.53p
- Benoit, M. (1996).** Modélisation et simulation des vagues de l'échelle océanique à l'échelle d'une structure côtière. France: Institut de Recherche sur les Phénomènes Hors Equilibre.147p .
- Booij, N. H Holthuijsen, L. (1999).** A third-generation wave model for coastal regions. part i. model description and validation. *J. Geophys. Res.*, 104 (C4), 7649–7666.
- Desmazes, F. (2005).** Caractérisation des barres sableuses d’une plage de la côte Aquitaine-Exemple de la plage du Truc Vert. Thèse de doctorat de l’Université de Bordeaux I.
- Garlan, T. Souffez, J. Mauge, T. Maze, J. et Leballeur, L. (2011).** A system of models and data base for short term beach processes –ECORS simulator, *Journal of Coastal Research*, Special Issue 64, ICS2011 (épreuve acceptée).
- Holthuijsen, L. Booij, N. and Herbers, T. (1989).** A prediction model for stationary, shortcrested waves in shallow water with ambient currents. *Coastal Engineering* 13. 287 p.
- Kecir, M. (2013).** Evaluation de l’état de mise en oeuvre de la loi 02-02 du 5 Février 2002 relative à la protection et à la valorisation littorale dans la wilaya de Béjaïa. Mémoire de Master, ENSSMAL, Alger.
- Komen, J. Cavaleri, L. (1994).** Dynamics and modelling of ocean waves. Cambridge university press, Londres.
- Lavrenov (2001).** Wind waves in oceans dynamics and numerical simulation. New york
- Leclaire (1972).** Sédimentation holocène sur le versant méridional du bassin.393p

**Millot, C. (1986).** Some Feature of the Algerian Current. J. Geophys. Res., 90, C4,,pp. 7169-7176.

**Mezouar, K. (2009).** Etude comparative entre les méthodes de protection des deux littoraux Algérien et Roumain. Thèse de Doctorat, Université Technique de construction de Bucarest, Roumanie.404p.

**Ouabel, K. (2012).** Réfraction de la houle sur le littoral de Sidi Ghiles par modélisation SWAN. ENSSMAL.57p.

**Paskoff, R. (1998).** Côtes en danger. France: Harmattan.

**S.S.M.O (1963-1970).** Tome II. Zone Algérienne.

**Sverdrup, H. Munk, H. (1947).** Wind, sea, and swell : theory of relations for forecasting. U: Tech. Rep..

# **Annexes**

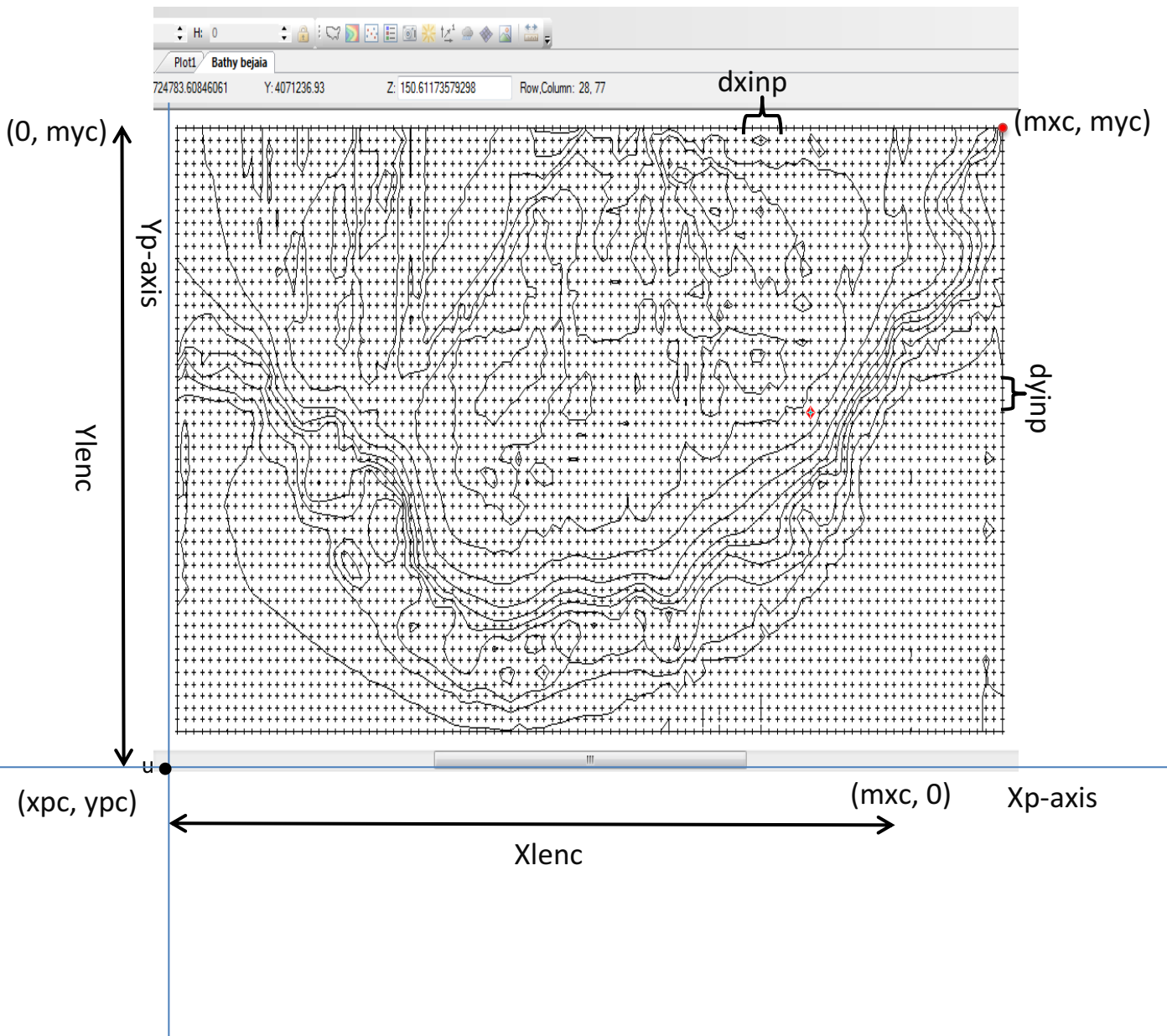
Annexe I : Tableau récapitulatif des fréquences d'observations

périodes	classes	Hs	N	NE	NO		nombre d'observation >Hs			fri -frequence d'observation		
<b>6</b>	<b>0</b>	ind	0	0	0	Hs observée	<b>N 360</b>	<b>N 45</b>	<b>N 315</b>	<b>N 360</b>	<b>N 45</b>	<b>N 315</b>
	<b>0,5</b>	0 à 0,5	179	236	97	0	758	1627	582	0,085	0,183	0,066
	<b>1</b>	0,5 à 1	263	615	182	0,25	579	1391	485	0,065	0,157	0,055
	<b>1,5</b>	1 à 1,5	148	462	147	0,75	316	776	303	0,036	0,087	0,034
	<b>2</b>	1,5 à 2	77	197	81	1,25	168	314	156	0,019	0,035	0,018
<b>8</b>	<b>2,5</b>	2 à 2,5	41	69	41	1,75	91	117	75	0,010	0,013	0,008
	<b>3</b>	2,5 à 3	25	25	19	2,25	50	48	34	0,006	0,005	0,004
	<b>3,5</b>	3 à 3,5	14	8	7	2,75	25	23	15	0,003	0,003	0,002
	<b>4</b>	3,5 à 4	3	5	5	3,25	11	15	8	0,001	0,002	0,001
<b>10</b>	<b>5</b>	4 à 5	5	5	3	3,75	8	10	3	0,001	0,001	0,000
	<b>6</b>	5 à 6	3	5	0	4,25	3	5	0	0,000	0,001	0,000
	<b>7</b>	6 à 7	0	0	0	4,75	0	0	0	0,000	0,000	0,000
	<b>9</b>	7 à 9	0	0	0	5,25	0	0	0	0,000	0,000	0,000
	<b>11</b>	9 à 11	0	0	0	5,75	0	0	0	0,000	0,000	0,000
	<b>13,5</b>	11 à 13,5	0	0	0	6,25	0	0	0	0,000	0,000	0,000
<b>total</b>			758	1627	582							

```

Fichier Edition Format Affichage ?
PROJ 'grille' '001'
$
MODE STAT
MODE STATIONARY TwODimensional
COORDINATES CART
SET level=0.5 NAUTICAL
$
CGRID Regular [xpc] [ypc] [alpc] [xlenc] [ylenc] [mxc] [myc] CIR 36 0.03 0.3 24
$
INPGRID BOTTOM REG [xpinp] [ypinp] [alpinp] [mxinp] [myinp] [dxinp] [dyinp] EXCVAL -
999.0000
READINP BOTTOM 1.0 'Bathy_bejaia .txt' 3 0 FREE
$
BOUN SHAPE JONSWAP 3.30 PEAK DSPR DEGREES
BOUNDspec -> SIDE N|NW|W|SW|S|SE|E|NE | PAR [hs] [per] [dir] [dd]
$WIND 19.2 45
OFF QUAD
$OFF WCAP
GEN2
breaking con 1.0 0.68
num accur 0.03 0.03 0.03 97 12
FRICTION JONSWAP 0.067
SETUP 0.
$
$***** OUTPUT REQUEST*****
$
frame 'R1' 745594 4078747 0 981 867 100 85
table 'R1' head 'N45T6H110' xp yp hs dir dep vel tdir force transp steepness wlen ubot per
$
TEST 0,0
$
COMPUTE
STOP

```



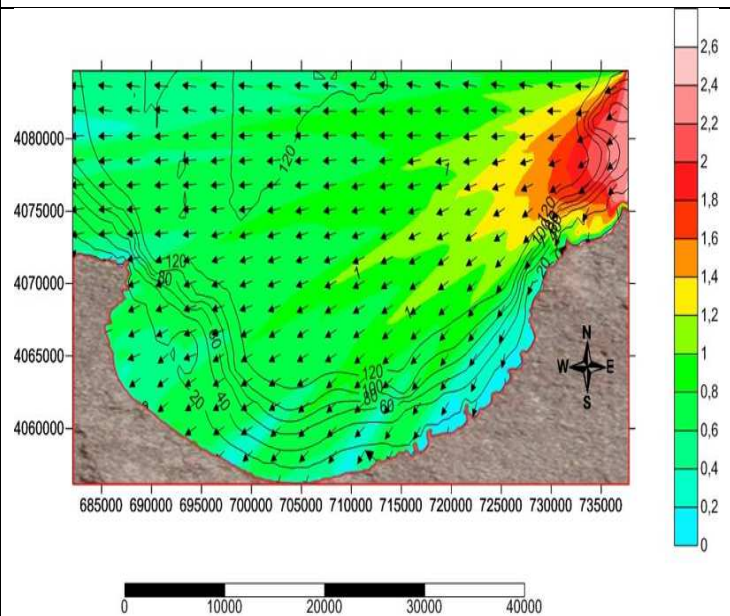
Annexe III : Les cartes de la réfraction(SHFN)

Caractéristique de la houle au large :

Direction =  $45^\circ$

Hs = 1.10 m

T = 6s

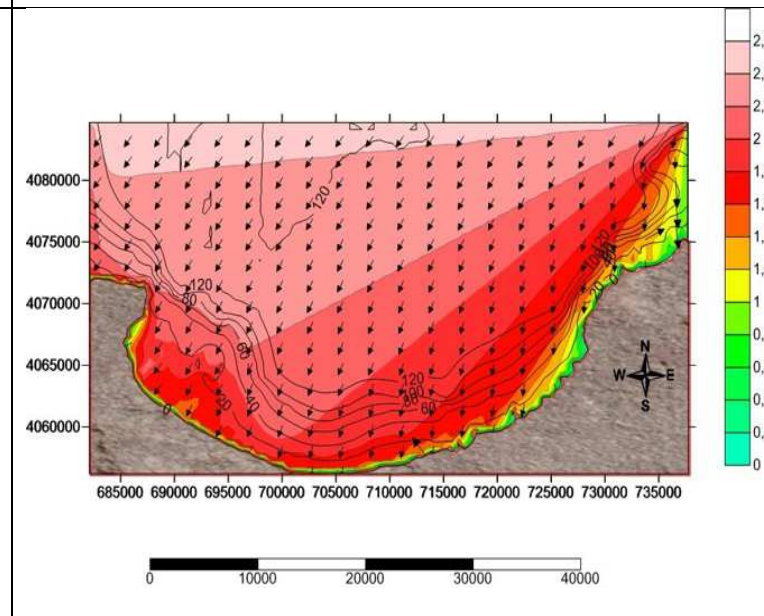


Caractéristique de la houle au large :

Direction =  $45^\circ$

Hs = 2.56 m

T = 8 s

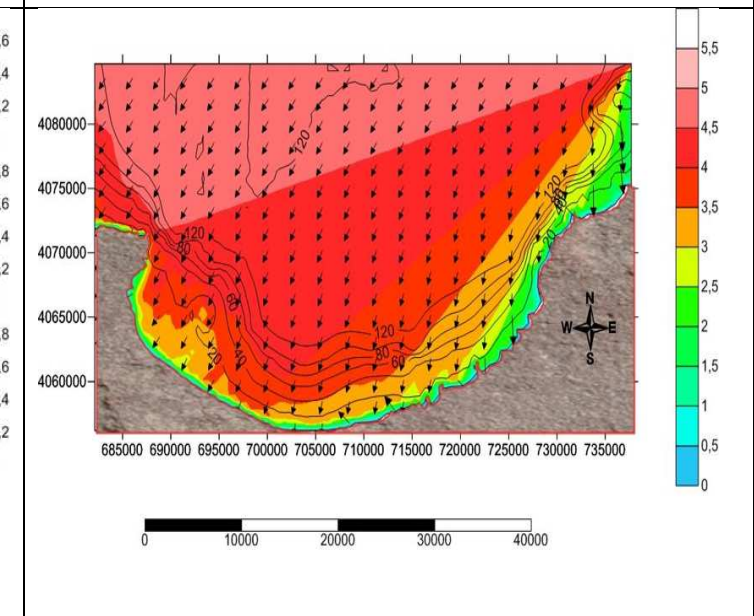


Caractéristique de la houle au large :

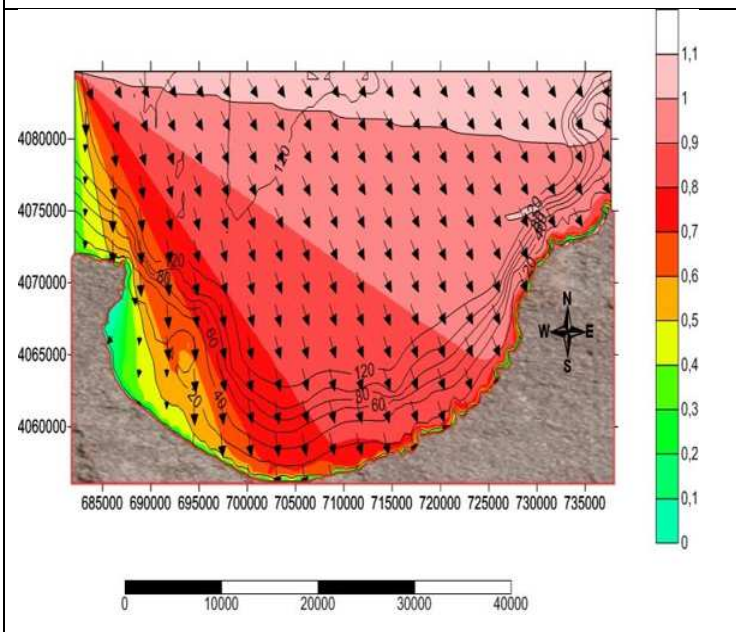
Direction =  $45^\circ$

Hs = 5.05 m

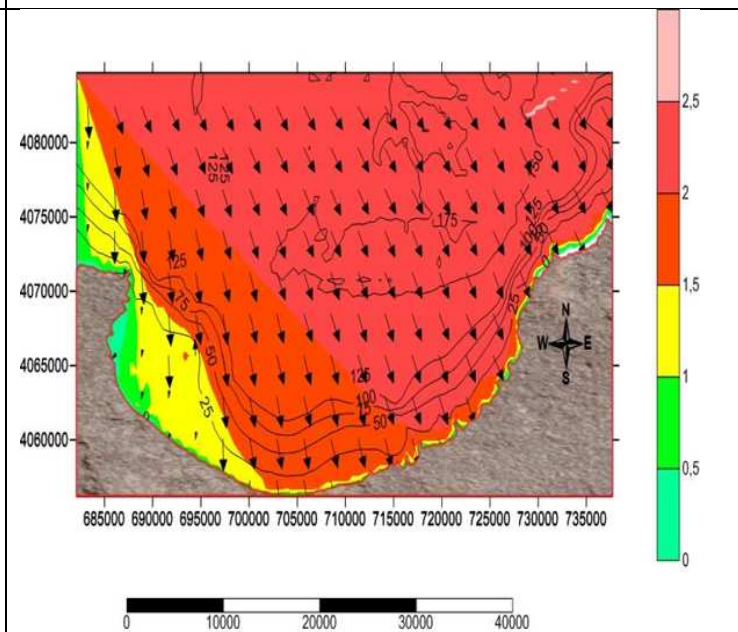
T = 10 s



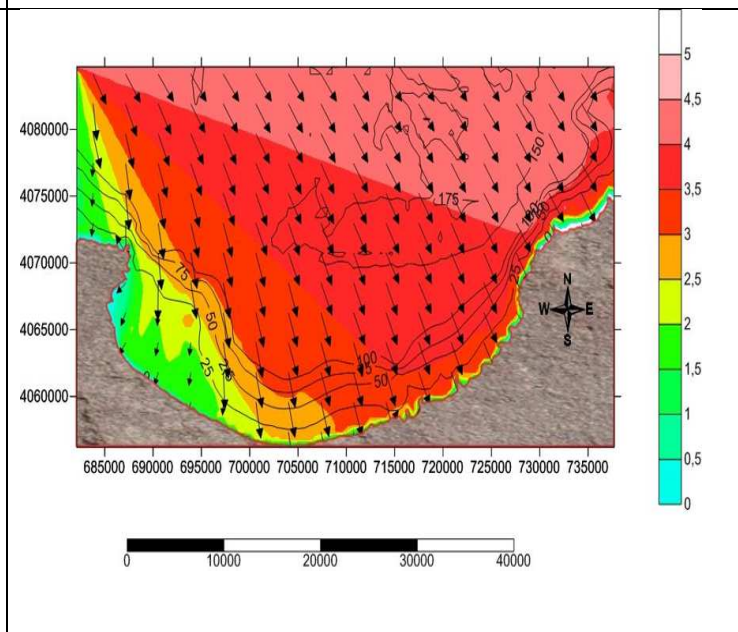
Caractéristique de la houle au large :  
 Direction = 315°  
 Hs = 1.10 m  
 T = 6s



Caractéristique de la houle au large :  
 Direction = 315°  
 Hs = 2.64 m  
 T = 8s



Caractéristique de la houle au large :  
 Direction = 315°  
 Hs = 4.53 m  
 T = 10s

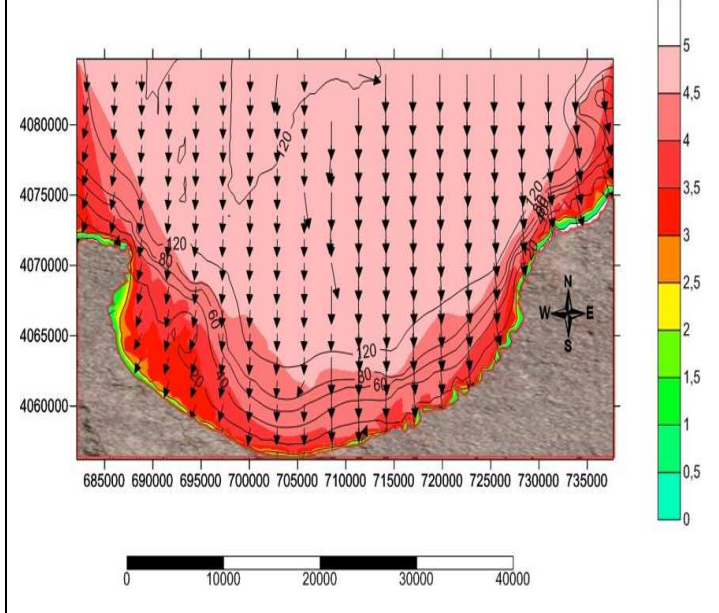
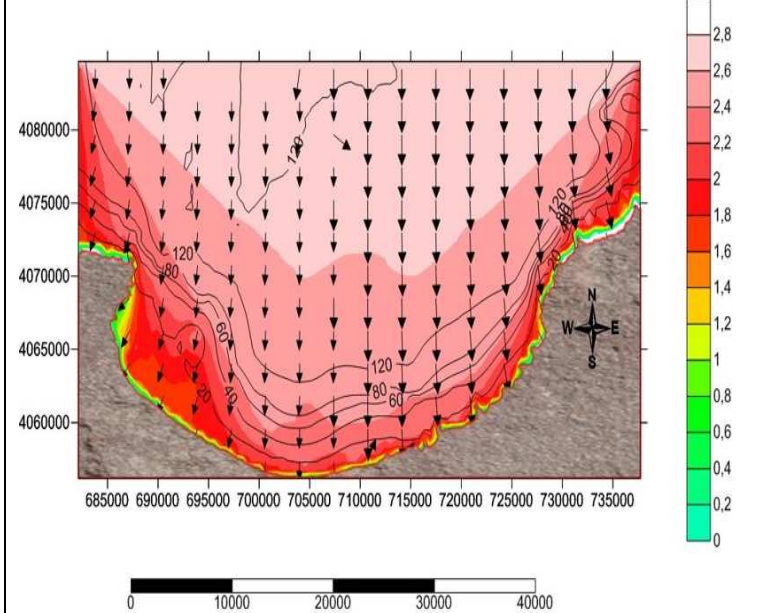
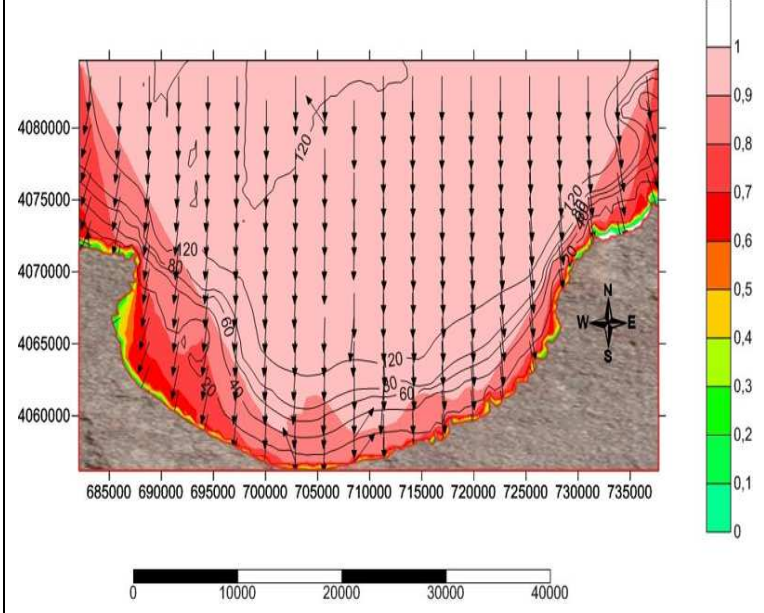


Annexe III : Les cartes de la réfraction(SHFN)

Caractéristique de la houle au large :  
 Direction = 360°  
 Hs = 1 m  
 T = 6 s

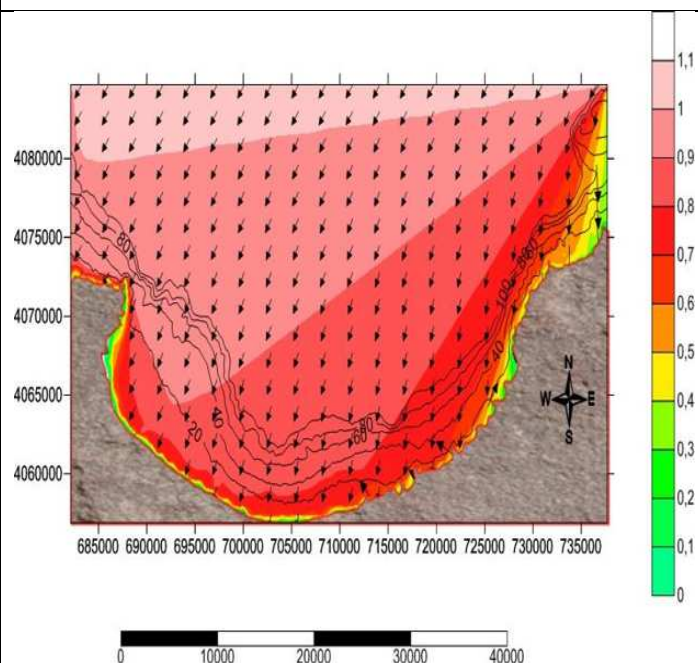
Caractéristique de la houle au large :  
 Direction = 360°  
 Hs = 2.67 m  
 T = 8 s

Caractéristique de la houle au large :  
 Direction = 360°  
 Hs = 4.94 m  
 T = 10 s

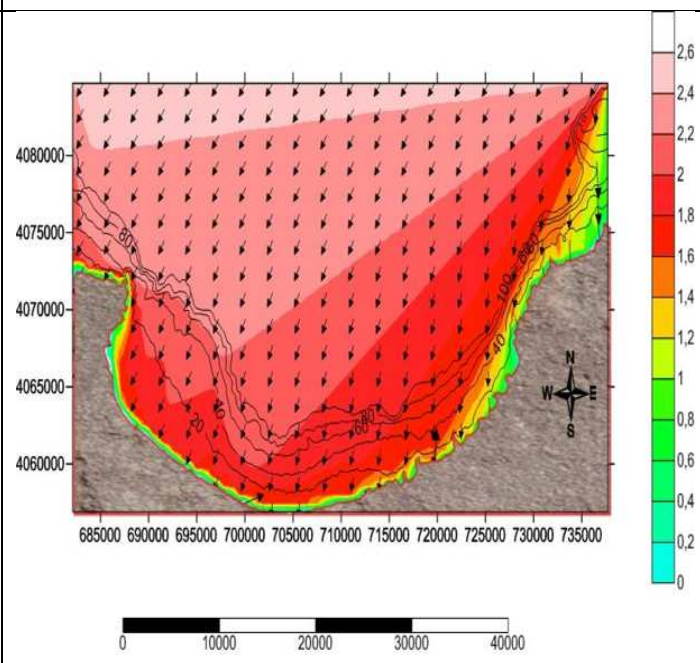


Annexe III : Les cartes de la réfraction(LECLAIRE)

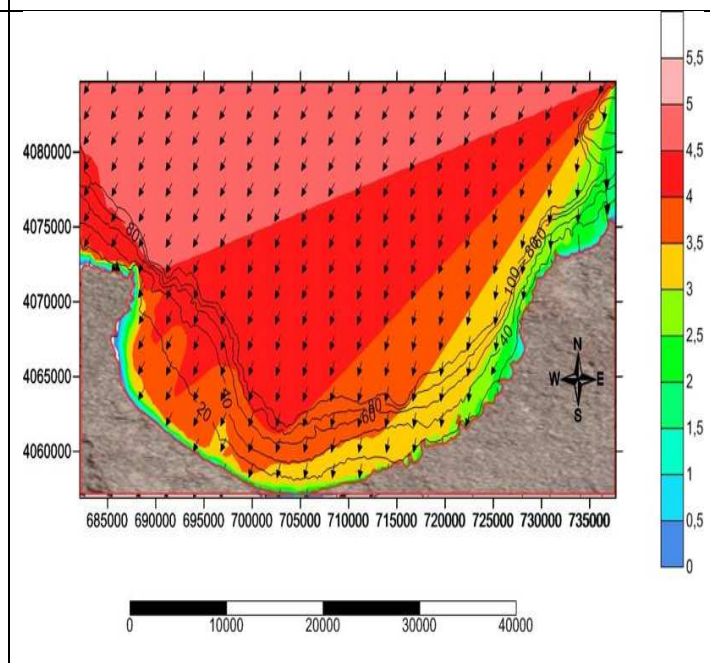
Caractéristique de la houle au large :  
 Direction = 45 °  
 Hs = 1.10 m  
 T = 6s



Caractéristique de la houle au large :  
 Direction = 45 °  
 Hs = 2.56 m  
 T = 8 s

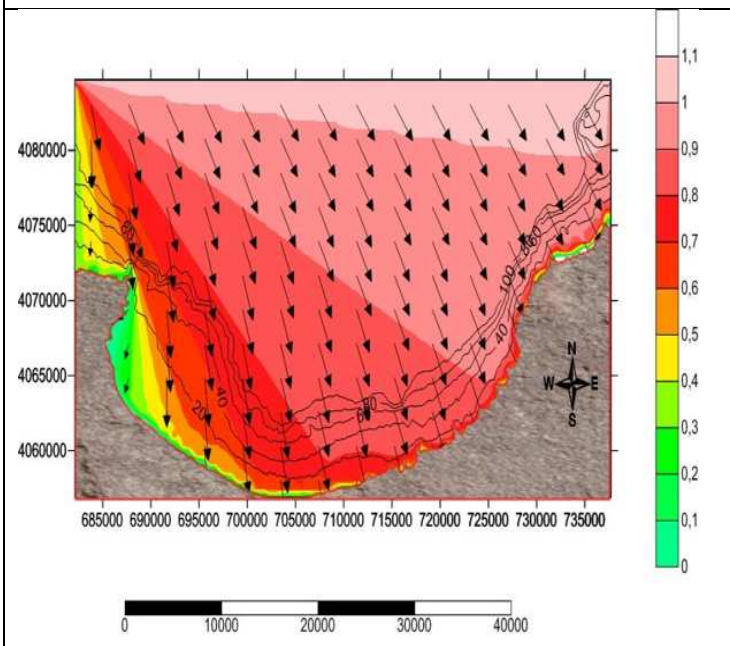


Caractéristique de la houle au large :  
 Direction = 45 °  
 Hs = 5.05 m  
 T = 10 s

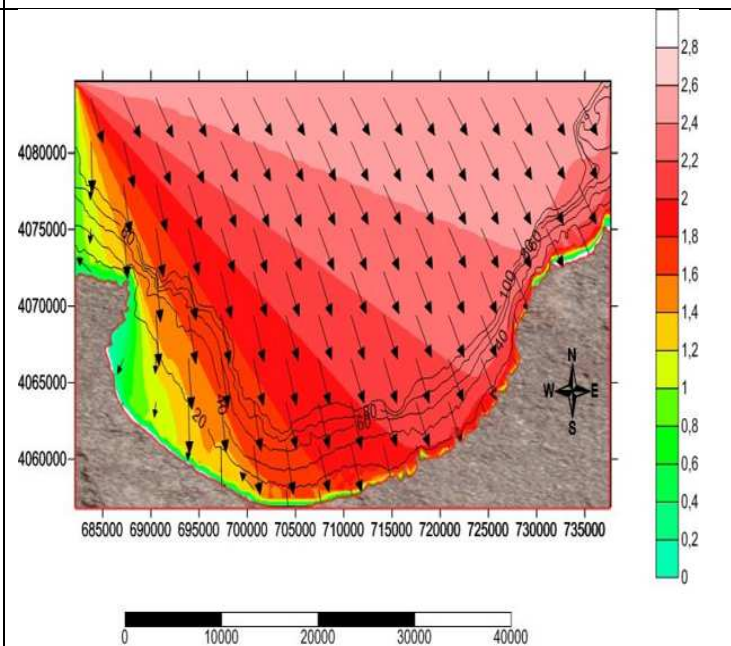


Annexe III : Les cartes de la réfraction(LECLAIRE)

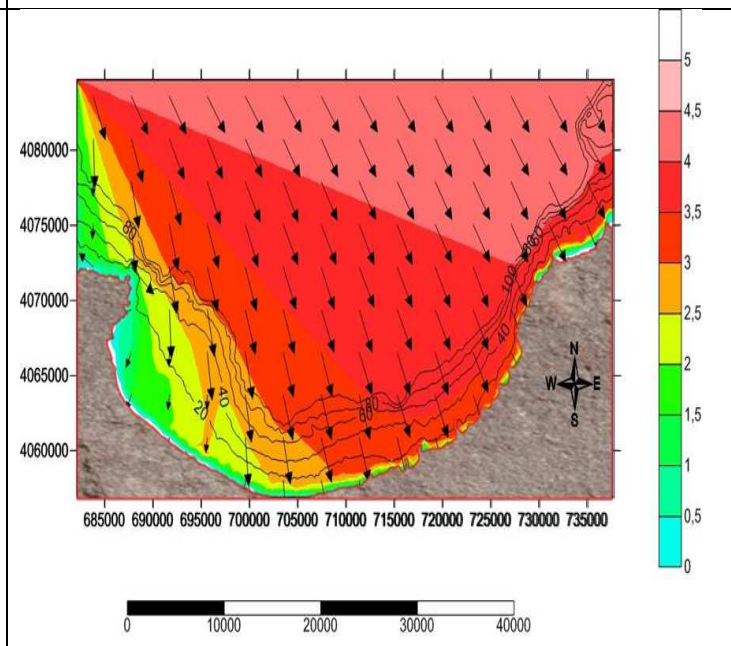
Caractéristique de la houle au large :  
 Direction = 315°  
 Hs = 1.10 m  
 T = 6s



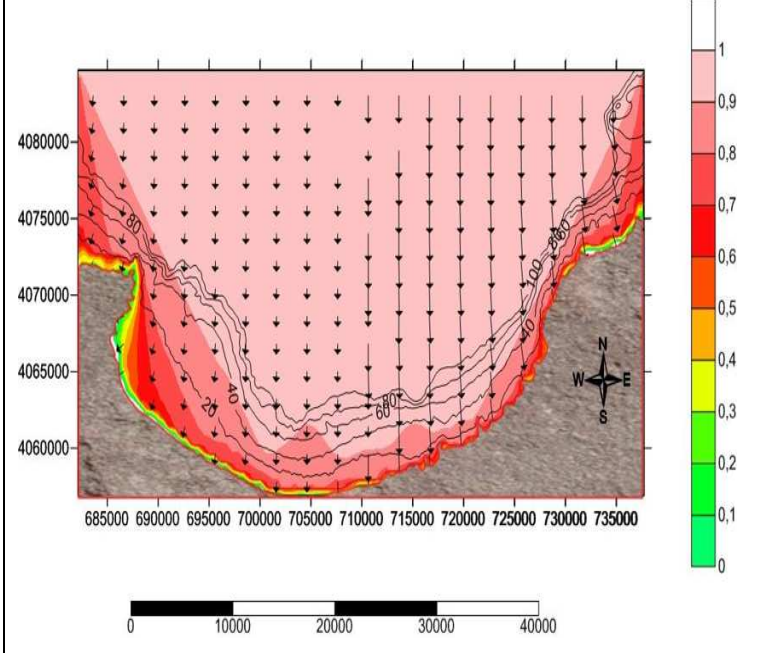
Caractéristique de la houle au large :  
 Direction = 315 °  
 Hs = 2.64 m  
 T = 8s



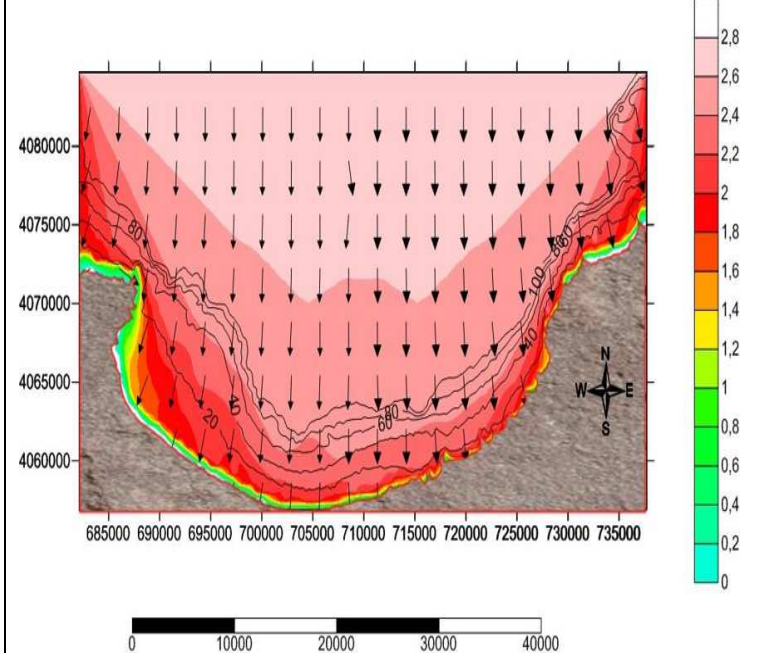
Caractéristique de la houle au large :  
 Direction = 315°  
 Hs = 4.53 m  
 T = 10s



Caractéristique de la houle au large :  
 Direction = 360°  
 Hs = 1 m  
 T = 6 s



Caractéristique de la houle au large :  
 Direction = 360°  
 Hs = 2.67 m  
 T = 8 s



Caractéristique de la houle au large :  
 Direction = 360°  
 Hs = 4.94 m  
 T = 10 s

