

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

ECOLE NATIONALE SUPERIEUR DES SCIENCES DE LA MER ET DE  
L'AMENAGEMENT DU LITTORAL



Mémoire de fin d'études en vue d'obtention du diplôme de Master en science de  
la mer

Option : Aménagement du littoral

Thème :

**Apport de la modélisation SWAN pour la protection de la  
plage de Ain Franine Bir el Djir -Oran-**

Présenté par :

**CHAIB Walid**

Soutenu le 13/09/2015 devant le jury suivant :

**M<sup>me</sup> HOUMA BACHARI F.**

**Présidente**

**M<sup>f</sup> OTMANI. H**

**Examineur**

**M<sup>f</sup> BELKESSA. R**

**Promoteur**

**M<sup>me</sup> MOUHOUBI. I**

**Co-promotrice**

**Promotion 2014/2015**

# REMERCIEMENTS



*Avant tout, je remercie Dieu le tout puissant de m'avoir donné le courage, la force et la patience pour mener à bien ce travail.*

*J'exprime mes plus sincères remerciements à mon promoteur Monsieur Rabah BELKESSA professeur à l'Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral, pour la peine qu'il a prise en vue de l'élaboration de ce mémoire, pour son ouverture d'esprit et pour ses nombreuses qualités scientifiques et humaines qui nous ont été d'un grand support durant toute la période de préparation de ce travail.*

*Je tiens à adresser mes plus sincères remerciements à madame Imene MOUHOUBI pour m'avoir accueilli au sein du Laboratoire des Etudes Maritimes et pour sa disponibilité, son suivi fructueux. Ses conseils constants ont été d'une aide inestimable et ont largement contribué à l'aboutissement de mon travail.*

*Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à Madame HOUMA BACHARI, professeur, directrice des études de graduation et des diplômes, d'avoir honorée et acceptée de venir présider le jury.*

*Je tiens également à adresser mes plus chers remerciements aux membres de jury, pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail en répondant aimablement afin d'examiner et de juger mon mémoire de master.*

*Enfin, je tiens à exprimer toute ma gratitude à tous les enseignants de l'ENSSMAL pour avoir enrichi mes connaissances, tout au long de ma formation.*

# DEDICACES



*Je dédie ce travail de fin d'études à :*

*Ma mère ;*

*mon père ;*

*ma sœur ;*

*Mes amis;*

*Tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire ;*

*A tous les étudiants de ma promotion*

*Et je remercie plus spécialement ceux qui m'ont aidé et m'ont soutenu :*

*Abbad. K - Alioua. N - Atrous. S - Benmehenia. A  
Boukhediche. W - Boulekbatche. W - Boutamine. N  
Dahmani. R - Hadj Aïssa. A - Hallak . F  
Irislimane. N - Melloul. M - Messaoud Khelifi. A  
Selmani. R*

*Je tenais aussi à remercier les otaku de  
l'ENSSMAL :*

*Walid, Saya, Maya et Mira*

*Ainsi que mes anciens amis :*

*Yacine, Yacine, Amine, Walid, Issam, Mehdi,  
Hamza et Lamine.*

## Liste des abréviations

°C	Degrés Celsius
2D	Deux dimensions
3D	Trois dimensions
DIA	Discrete Interaction Approximation
E	Est
GIZC	Gestion Intégrée des Zones Côtières
Hs	Hauteur significative
LEM	Laboratoire d'Etudes Maritimes
m	mètres
N	Nord
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
ONM	Office National de Météorologie
s	seconde
SSMO	Summary of Synoptic Meteorological Observations
SWAN	Simulating WAVes Nearshore
W	Ouest
ZET	Zone d'Extension Touristique

## Liste des Figures

- Figure 01 Modélisation sur un bassin à houle (IFREMER, 2013)
- Figure 02 Parcours des vagues et des houles du large vers le rivage
- Figure 03 Trajet d'une particule d'eau
- Figure 04 Les paramètres de la houle (HEMDANE. Y, 2006)
- Figure 05 Exemple de simulation Wavewatch
- Figure 06 La simulation 3D du couple vague-courant fourni par le logiciel ROMS
- Figure 07 Quelques sites du littoral Oranais
- Figure 08 Situation géographique de la zone d'étude (Google Earth, 2015)
- Figure 09 Rose des vents de la station Essenia (ONM, 2005)
- Figure 10 Carte bathymétrique 2D (plage de Ain Franine, 2009)
- Figure 11 Carte bathymétrique 3D (plage Ain Franine, 2009)
- Figure 12 évolution du trait de côte (plage Ain Franine entre 2001 et 2015)
- Figure 13 Zone du levé bathymétrique et orthométrique dans la plage de Ain Franine
- Figure 14 Direction des houles défavorables sur carte marine (INCT, 2014)
- Figure 15 Introduction des données bathymétriques dans Surfer
- Figure 16 Fichier de bathymétrie à introduire dans SWAN (input)
- Figure 17 Fichier commandes SWAN
- Figure 18 Commandes à remplir dans le fichier de commandes SWAN (1)
- Figure 19 Commandes à remplir dans le fichier de commandes SWAN (2)
- Figure 20 Invite de commandes
- Figure 21 exécution de SWAN
- Figure 22 Fichier de sortie
- Figure 23 Commande 2-Grid Vector Layer dans Surfer
- Figure 24 Organigramme de l'étude de réfraction
- Figure 25 Résultat de la modélisation SWAN pour des houles de direction Nord  $315^\circ$  , d'une période de 6 secondes et d'une hauteur significative de 1,11 m
- Figure 26 Résultat de la modélisation SWAN pour des houles de direction Nord  $315^\circ$  , d'une période de 8 secondes et d'une hauteur significative de 2,49 m
- Figure 27 Résultat de la modélisation SWAN pour des houles de direction Nord  $315^\circ$  , d'une période de 10 secondes et d'une hauteur significative de 4,53 m

- Figure 28 Résultat de la modélisation SWAN pour des houles de direction Nord  $360^{\circ}$  , d'une période de 6 secondes et d'une hauteur significative de 1,07 m
- Figure 29 Résultat de la modélisation SWAN pour des houles de direction Nord  $360^{\circ}$  , d'une période de 8 secondes et d'une hauteur significative de 2,68m
- Figure 30 Résultat de la modélisation SWAN pour des houles de direction Nord  $360^{\circ}$  , d'une période de 10 secondes et d'une hauteur significative de 7,10 m
- Figure 31 Résultat de la modélisation SWAN pour des houles vingtenales de direction Nord Ouest  $315^{\circ}$  , d'une période de 13,75 secondes et d'une hauteur significative de 8,10 m
- Figure 32 Résultat de la modélisation SWAN pour des houles vingtenales de direction Nord  $360^{\circ}$  , d'une période de 12,65 secondes et d'une hauteur significative de 6,70 m
- Figure 33 Zone d'Etude - Plage de Ain Franine -

## Listes des Tableaux

Tableau 01	Signification des termes de l'équation de l'évolution du spectre d'énergie des vagues
Tableau 02	Propriétés du modèle SWAN
Tableau 03	Les différentes commandes du logiciel SWAN
Tableau 4	Les output du logiciel SWAN
Tableau 5	Vitesses moyennes mensuelles du vent (1990-2005)
Tableau 6	Système géodésique utilisé
Tableau 7	Houles du secteur Nord et leurs caractéristiques (SSMO, 2014)
Tableau 8	Houles du secteur Nord Ouest et leurs caractéristiques (SSMO, 2014)

## Listes des équations

- (1) Le coefficient de réfraction
- (2) l'équation d'évolution du spectre d'énergie des vagues
- (3) Le terme S de l'équation d'évolution du spectre d'énergie des vagues
- (4) Equation de l'interaction houle-houle non linéaire
- (5) Equation du modèle SWAN
- (6) Formule d'Hudson

# Sommaire

# SOMMAIRE

<b>Introduction</b> .....	12
<b>Chapitre I : Généralités</b> .....	16
1 - Définitions .....	16
2 - Classification des modèles .....	16
2.1 - Les modèles physiques .....	16
2.2 - Les modèles mathématiques .....	17
2.3 - Concepts sur les houles .....	17
2.4 - Evolution des modèles spectraux d'états de la mer .....	19
2.5 - Les différentes approches de modélisation de la houle .....	22
2.5.1 - L'approche WAM .....	22
2.5.2 - L'approche Wavewatch .....	22
2.5.3 - L'approche Telemac 3D .....	23
2.5.4 - L'approche Roms tools .....	23
2.5.5 - L'approche Hiswa .....	24
<b>Chapitre II : Modélisation de la houle par SWAN</b> .....	26
1 - Introduction .....	26
2 - Commandes du logiciel .....	29
3 - Les résultats du SWAN .....	30
<b>Chapitre III : Application à la zone d'étude</b> .....	32
1 - Présentation et localisation de la zone .....	32
1.1 - Situation géographique .....	33
1.2 - Cadre climatique .....	34
1.3 - Cadre géologique .....	35
1.4 - La bathymétrie .....	36
1.5 - Evolution du trait de côte .....	38
2 - Collecte et introduction des données .....	39
3 - Traitement de l'information .....	40
3.1 - Choix du secteur angulaire .....	40
3.2 - Etapes de la modélisation .....	40
4 - Résultats et interprétations .....	46
Résultat 1 : .....	47
Résultat 2 : .....	48
Résultat 3 : .....	49
Résultat 4 : .....	50
Résultat 5 : .....	51
Résultat 6 : .....	52
Résultat 7 : .....	53
Résultat 8 : .....	54
<b>Interprétation</b> .....	55
<b>Conclusion</b> .....	58
<b>Références bibliographiques</b> .....	60
<b>Annexes</b> .....	63

# **Introduction**

## Introduction

Les littoraux correspondent à un milieu physique particulier, ils sont influencés par la terre, la mer et l'atmosphère (**Pirazzoli. P.A ,1993**)

Un aménagement adéquat et respectueux de la nature qui s'intègre harmonieusement au paysage littoral nécessite une gestion holistique permanente de la côte. Le phénomène d'érosion et le recul du trait côte nous incite à adopter une approche scientifique et intégrée en termes de planification, de conception, de réalisation et du suivi des concepts adoptés et des ouvrages de protection réalisés.

La modélisation est une étape clef et un préalable indispensable dans la stratégie de gestion, elle requiert des informations fiables localisées continuellement actualisées et intelligemment structurées dans un système d'information géographique valant outil d'aide à la prise de décision et on doit être en mesure de connaître à l'issue de cette phase de modélisation, la pertinence (ou non) de l'aménagement projeté.

Il en existe de nombreux modèles pour analyser et prédire le transport sédimentaires, la propagation de la houle (qui sera traité dans ce mémoire) ainsi que l'érosion côtière. Les méthodes de modélisation peuvent prendre la forme physique ou numérique (**Belloulou. B, 2012**).

La façade maritime de la commune de Bir el Djir (Wilaya d'Oran), séduit par la beauté de ses sites. En effet, la mer lui confère l'attractivité touristique et un rôle stratégique en tant que levier pour le développement de la partie sud la commune et surtout l'extension de l'agglomération d'Oran.

De part les actions entreprises par la wilaya d'Oran dans le domaine de développement et plus particulièrement au niveau de la commune de Bir el Djir, les élus locaux prennent, désormais, conscience de la nécessité de bien délimiter le domaine public maritime, de mettre en place et de suivre annuellement l'évolution du trait de côte et surtout la mise en place d'aménagement adapté visant la protection des espaces naturels et la lutte contre l'érosion.

Le projet d'aménagement de la zone d'extension touristique (ZET) d'Ain Franine qui s'étend sur 87 hectares est en voie d'être finalisé pour abriter les futurs villages touristiques haut de gamme de la wilaya d'Oran.

Le tourisme constitue le nouveau moteur du développement durable et du soutien à la croissance, en raison du potentiel de création de richesses, d'emploi et de génération de revenus durables. La wilaya d'Oran est pour la troisième année consécutive, classée première au niveau national en ce qui concerne le nombre d'estivants. Cette wilaya enregistre un manque d'infrastructures et de pôles d'attraction touristique. Les travaux à entreprendre doivent prendre en charge le volet environnemental et l'équilibre éco systémique (*cf. Arrêté du 9 octobre 2014 portant prescription d'établissement de plans d'aménagement touristique des zones d'expansion et sites touristiques d'Aïn Franine*).

Il est primordial de mettre à la disposition du maître de l'ouvrage une information précise et fiable sous forme d'outils d'aide à la prise de décision avant le lancement de grands projets d'aménagement et de protection du littoral. En effet, la façade maritime de la commune de Bir el Djir est constituée de falaises, de zones rocheuses et de plages sableuses avec des rafales de vents saisonniers connues.

On observe déjà l'érosion sur la côte sableuse de la commune de Bir el djir due essentiellement à un facteur naturel défavorable, aggravé par le manque de protection naturelle et le prélèvement anarchique du sable, la mer grignote quelques mètres du rivage côté terre. C'est le recul du trait de côte.

Mon projet de master vise deux objectifs principaux. Le premier détaillera l'état de l'art et les concepts théoriques liés à la modélisation en général et le second est une contribution à l'étude des facteurs hydrodynamiques et l'élaboration des paramètres à prendre en considération lors de la phase de dimensionnement des ouvrages, éventuels prévus (hauteur significative de la houle), de protection du littoral de la commune de Bir el Djir dépendant de la Wilaya d'Oran.

Pour atteindre ces objectifs, le travail est structuré en trois parties. Dans le premier chapitre, les aspects théoriques relatifs à la modélisation des phénomènes spécifiques à la houle et au transport sédimentaire sont décrits tout en relatant les processus qui peuvent être simulés. Le logiciel SWAN est amplement présenté dans le second chapitre. Les capacités et les outils de modélisation du logiciel seront passés en revue.

Enfin, dans le troisième chapitre, nous présenterons la zone d'étude ainsi que les étapes d'exploitation, de traitement et d'analyse des résultats obtenus tout en précisant l'utilité de la modélisation de la houle pour les études de protection du rivage. et en exposant les recommandations pour une protection respectueuse de l'environnement.

# **Chapitre I :**

# **Généralités**

# Chapitre I : Généralités

## 1 – Définitions

L'origine étymologique de la modélisation provient du latin « *modulus* », ce qui signifie modèle référence. Tout au long de l'histoire, le terme prend des significations selon le domaine d'application (**Dictionnaire Larousse étymologique, 1971**).

Le modèle est d'abord une maquette qui représente d'une façon simplifiée, miniaturisée les propriétés d'un objet ou d'une réalité physique. C'est ce qu'on appelle communément un modèle réduit. À l'opposé, la conception platonicienne, le modèle est considéré comme une forme idéale sur laquelle les existences sont réglées. Il est donc pris comme un support conceptuel, un guide de pensées (**Encyclopédie Universalis, 2015**).

La modélisation, est perçue par la majorité des scientifiques, comme une représentation schématique d'un phénomène physique ou d'une réalité abstraite dans le but d'en faire des études pointues. Elle consiste à définir un monde abstrait qui coïncide avec les signes apparents du monde réel sous une forme compréhensible.

Le caractère expérimental et palpable du modèle réduit physique lui confère des possibilités uniques d'études et d'analyse pour les projets de protection et d'aménagement, en facilitant la compréhension et la vulgarisation pédagogique des phénomènes. Néanmoins, avec l'apport, de plus en plus performant en termes de logiciel et d'algorithme, l'informatisation est en mesure de simuler des phénomènes littoraux de plus en plus complexes tout en gagnant dans les délais d'étude comparativement au modèle réduit.

## 2 - Classification des modèles

Il en existe deux approches complémentaires, dont la classification est dictée par type de méthode d'intervention, à savoir : la modélisation mathématique et la modélisation physique.

### 2.1 - Les modèles physiques

Dans ce cas le modèle recherché est une maquette reproduite à une échelle spécifique. La principale difficulté revient à transposer le résultat dans la réalité par rapport au facteur d'échelle et à la pertinence et l'interaction des données entre elles. Il est souvent impossible d'éviter des distorsions dans les phénomènes.

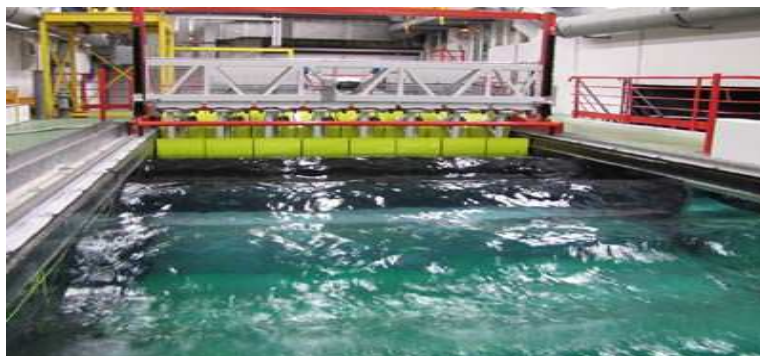


Figure 01 : Modélisation sur un bassin à houle (Ifremer, 2013)

## 2.2 - Les modèles mathématiques

A l'inverse, le modèle mathématique est représenté par des algorithmes sous forme d'équations mathématiques. Le phénomène physique de la réalité à étudier peut être représenté par différentes approches :

- **Les modèles empiriques**

Ce sont des modèles qui ne s'appuient uniquement que sur l'expérience.

- **Les modèles statistiques**

Ce sont des modèles qui décrivent une distribution des échantillons.

- **Les modèles conceptuels**

Ce sont des modèles basés sur le modèle entité-relation.

## 2.3 - Concepts sur la houle

La houle est considérée comme un ensemble d'ondulations parallèles identiques qui prend de l'ampleur avec l'augmentation de la vitesse du vent et qui se traduit par un transport d'énergie sans transport de matière.

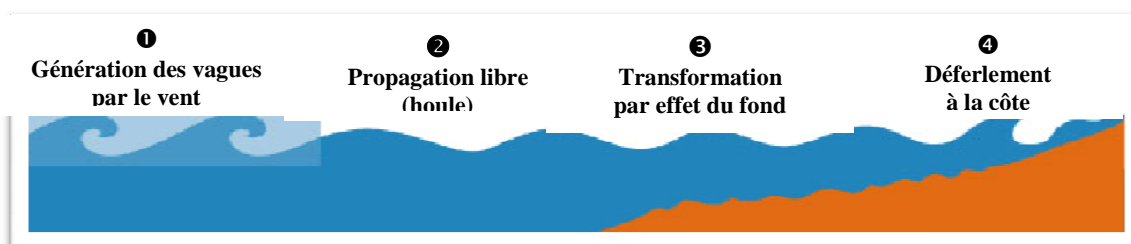
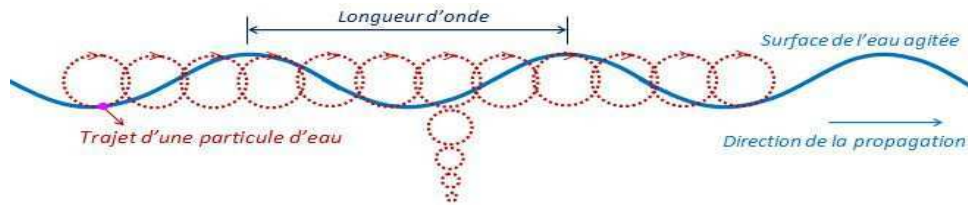


Figure 02 : Parcours des vagues et des houles du large vers le rivage (SHOM, 2012)

Dans la plupart des études maritimes la houle est le facteur dominant et le plus difficile à appréhender. C'est la raison pour la quelle, la modélisation doit être aussi proche de la réalité du terrain.



**Figure 03** : Trajet d'une particule d'eau (NOBLET. J.F, 2012)

### 2.3.1 Réfraction de la houle

La réfraction de la houle est un phénomène qui se produit lorsque, la houle attaque obliquement le fond marin, les crêtes sont affectées par les faibles profondeurs, elles avancent moins vite et ne deviennent plus parallèles aux isobathes.

Les houles auront alors tendance à s'étaler spatialement et diminuer de hauteurs dans les baies par contre elles se concentrent dans les caps

#### Principe

Connaissant la climatologie au large, et avec les données statistiques y afférentes il est possible d'établir une statistique de la houle au large. La houle est ensuite propagée vers la côte en utilisant des fonctions de transfert calculées suivant la bathymétrie.

Le coefficient de réfraction est défini de la manière suivante :

$$Kr = \frac{Hs_{Local}}{Hs_{Large}} \dots (1)$$

Avec :

**Kr** : Coefficient de Réfraction

**Hs** : Hauteur significative

### 2.3.2 Réflexion de la houle

A la rencontre d'un obstacle, la houle est réfléchi avec une énergie d'autant plus grande dans le sens opposé à sa direction incidente, communément appelé clapotis. La réflexion est surtout liée à l'angle formé par l'obstacle réfléchissant, elle est généralement importante pour des angles voisins de la verticale.

### 2.3.3 Diffraction de la houle

La diffraction de la houle est l'ensemble des phénomènes dans lesquels l'énergie de la houle ne se propage plus le long des orthogonales aux crêtes.

Les paramètres qui caractérisent la dynamique des houles sont (figure 5) :

- l'amplitude H crête à creux,
- la longueur d'onde L
- la période T,
- la profondeur d

La profondeur (d) agit sur les processus physiques affectant les vagues.

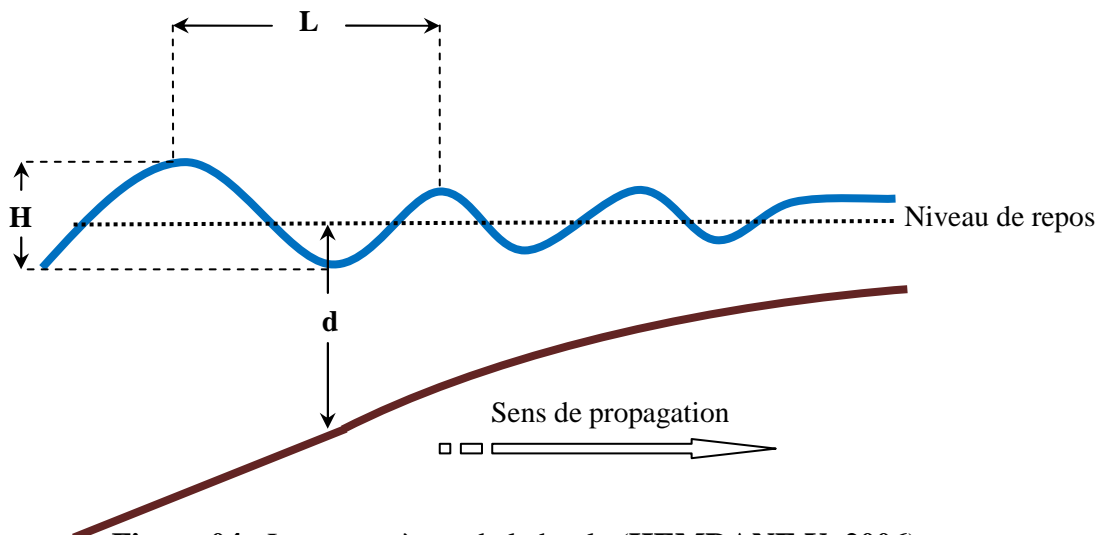


Figure 04 : Les paramètres de la houle (HEMDANE.Y, 2006)

### 2.4 - Evolution des modèles spectraux d'états de la mer

Les modèles utilisés pour les états de la mer résolvent l'équation d'évolution du spectre d'énergie des vagues :

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \Delta \vec{x} \cdot [(Cg + \bar{U})N] + \frac{\partial c_{\sigma} N}{\partial \sigma} + \frac{\partial c_{\theta} N}{\partial \theta} = \frac{S}{\sigma} \dots \dots \dots (2)$$

Avec:

$$S = S_{in} + S_{nl} + S_{bf} + S_{dib} \dots \dots \dots (3)$$

- $S_{in}$  : Action du vent
- $S_{nl}$  : Interaction houle-houle non linéaire
- $S_{wc}$  : Dissipation liée au moutonnement
- $S_{bf}$  : Dissipation liée au frottement au fond
- $S_{dib}$  : Dissipation liée au déferlement bathymétrique

**Tableau 01** : Signification des termes de l'équation de l'évolution du spectre d'énergie des vagues

Terme de l'équation	signification
$N$	Densité d'action = $E/\sigma$
$t$	Composante temporelle
$\vec{x}$	Composante spatiale
$\vec{c}_g$	Groupe vitesse (incluant le wave Number Parameter et une composante de hauteur d'eau)
$\sigma$	Fréquence relative (phase)
$\theta$	Direction de propagation
$\vec{U}$	Composante du courant
$c_\sigma \quad c_\theta$	Vitesse de propagation dans le spectre
$S$	Terme Source (3 parties : interaction vent/vague, interaction vague-vague, dissipation ou « whitecapping »)

Les modèles utilisés pour la modélisation de la houle sont passés par trois générations.

### 2.4.1 Modèles de première génération

Ce sont des modèles spectraux de l'état de la mer élaborés dans les années 1950-1960 (GELCI et al, 1957) s'appuyant sur les théories de Miles (1957) et Philips (1957) pour la génération des vagues par le vent et sur le concept de saturation universelle de Pierson & Moskowitz (1964).

### 2.4.2 Modèles de deuxième génération

De nouveaux modèles ont vu le jour depuis les années 1970, suite à des mesures plus précises, avec notamment le projet JONSWAP (HASSELMANN et al, 1973) qui ont permis une meilleure connaissance de la physique des vagues et ont montré l'importance des transferts non linéaires dans la modélisation des états de la mer. Ces modèles prennent en compte les premières paramétrisations des interactions non linéaires vague-vague (e.g Barnett, 1968; Ewing, 1971; Hasselmann et al, 1976) et comprennent un couplage entre les différents composantes spectrales.

Ces paramétrisations souffrent de certaines limitations car elles ne permettent pas de reproduire les observations dans des situations complexes.

### 2.4.3 Modèles de troisième génération

Dans les modèles de troisième génération tel que décrit par Hasselmann le calcul se fait à l'aide des interactions non linéaire DIA. Ce qui favorise une évolution, sous l'effet combinée des différents processus, des composantes spectro-angulaire du spectre de variance. Donc le terme  $S_{nl}$  de la formule n'est pas intégré en tant que paramètre mais calculé d'une manière approchée.

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

Le terme de transfert non linéaire  $S_{nl}$  n'est plus paramétré, mais calculé à partir de l'expression de manière plus ou moins rapproché

$$S_{nl}[N_k] = \int_{k_1} \int_{K_2} \int_{K_3} G(K, K_1, K_2, K_3) \{N_2 N_3 (N + N_1 - N N_1 (N_2 + N_3))\} * \delta(K + K_1 - K_2 - K_3) \delta(\omega + \omega_1 - \omega_2 - \omega_3) dK_1 dK_2 dK_3 \dots \dots \dots (4)$$

Avec :

- $S_{nl}$  : Interaction houle-houle non linéaire
- $N$  : densité spectro-angulaire d'action
- $K$  : nombre d'onde de la houle
- $\omega$  : pulsation intrinsèque relative aux houles ( $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$ )

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 & PERRIE 1991), ou la méthode GQM (Gaussian Quadrature Method) (**LAVRENOV, 2001**).

Les temps de calcul de ces méthodes sont encore trop importants pour les 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.

Depuis les travaux de Sverdrup & Munk (1947) et les premiers modèles de prévision des vagues dans les années 1950 et 1960 (**GELCI et al, 1957**), de nombreuses études théoriques et observations ont permis le développement de modèles de description et de prévision des états de mer de plus en plus sophistiqués.

Les modèles spectraux permettent de représenter l'évolution spatio-temporelle du spectre directionnel d'énergie (ou d'action) des vagues sous l'effet de forçages météorologiques non stationnaires, éventuellement dans des conditions hydrodynamiques (niveau moyen de mer courants ambiants) non stationnaires.

Le spectre directionnel d'énergie fournit une information détaillée sur la répartition de l'énergie des vagues, à la fois en fréquences et en directions.

On peut aussi en déduire des paramètres intégrés caractéristiques de l'état de mer, comme la hauteur significative spectrale, les périodes moyennes ou de pic, la direction moyenne de propagation, l'étalement angulaire moyen etc.

## **2.5 - Les différentes approches de modélisation de la houle**

### **2.5.1 - L'approche WAM**

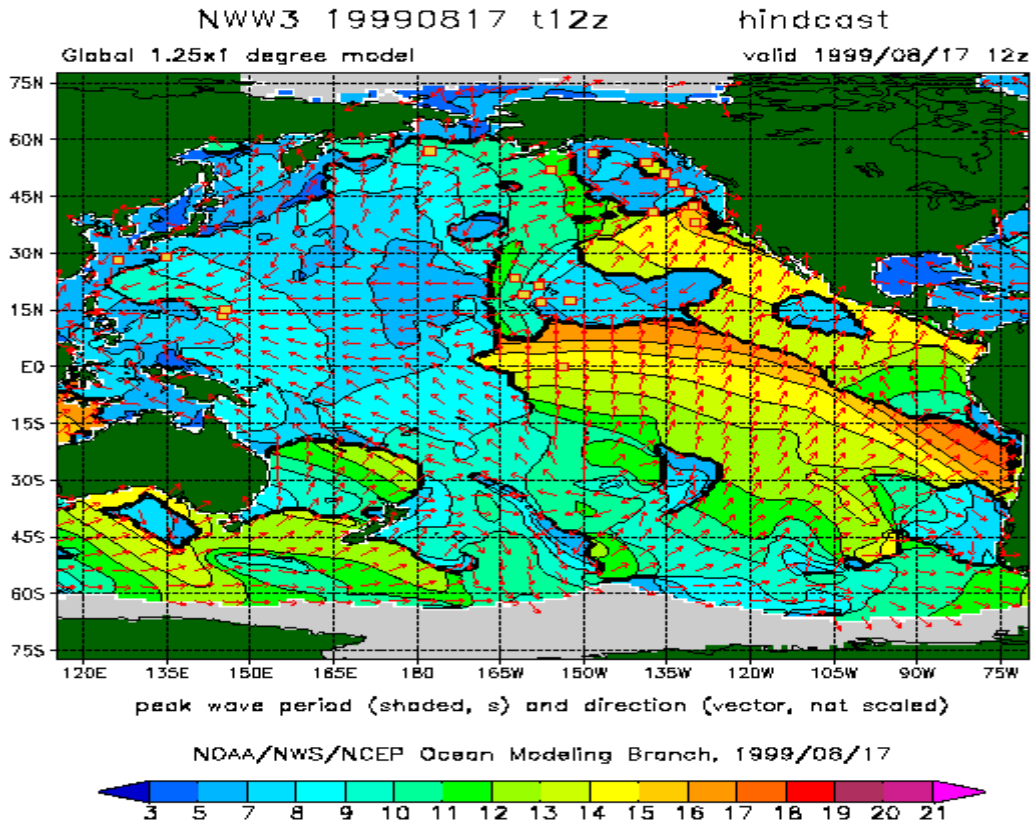
C'est le premier modèle de troisième génération utilisé pour des applications dans le domaine océanique et les mers continentales.

Le modèle WAM décrit l'évolution d'un spectre de vagues océaniques en deux dimensions. Contrairement au premier et second modèle de production, le troisième modèle de génération WAM n'introduit aucune hypothèse ad hoc.

### **2.5.2 - L'approche Wavewatch**

C'est le modèle sur lequel sont basés les systèmes de prévision d'onde opérationnelle à la NOAA. Les équations régissant le modèle simulent les variations temporelles et spatiales de la profondeur moyenne de l'eau et du courant moyen, la croissance de l'onde et la décadence résultante de la force implicite du vent de surface, la dissipation (par exemple whitecapping), et l'effet de la friction de fond sur la colonne d'eau.

Les vagues déferlantes ne sont pas incluses, donc l'applicabilité de ce modèle est en dehors de la zone de surf.



**Figure 05** : Exemple de simulation Wavewatch (NOAA,1999).

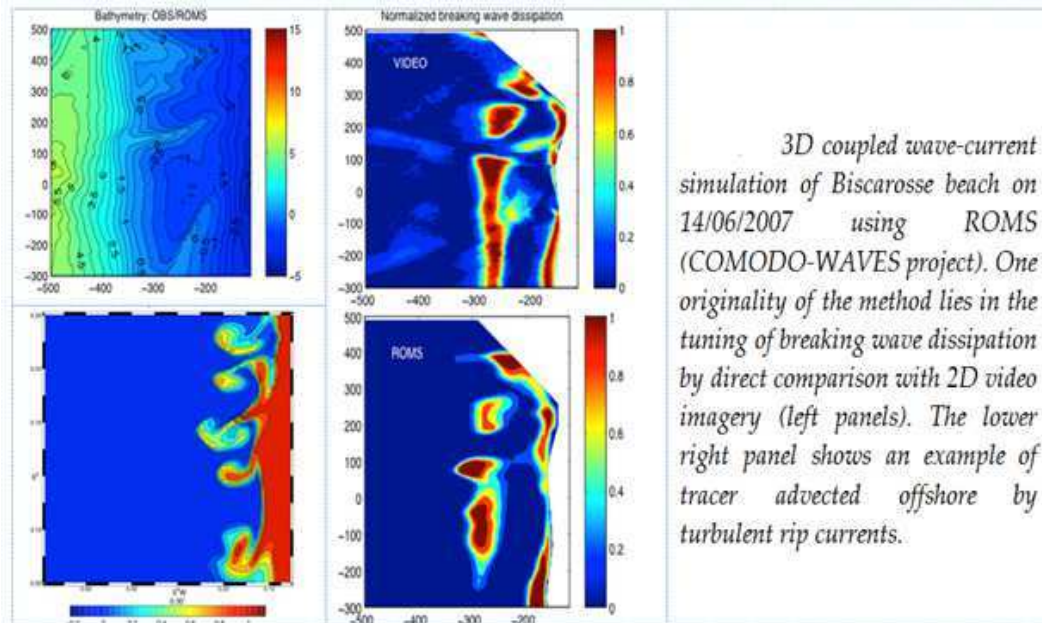
### 2.5.3 - L'approche Telemac 3D

Ce module hydrodynamique 3D, TELEMAC-3D, utilise le même maillage horizontalement non structurées comme TELEMAC-2D, mais résout les équations de Navier-Stokes, que ce soit en mode hydrostatique ou non hydrostatique permettant ainsi des ondes plus courtes que celles dans un contexte d'eaux peu profondes (où les longueurs d'onde sont nécessaires pour être au moins vingt fois la profondeur de l'eau). La formulation d'onde pour la mise à jour de la surface libre est utilisée pour l'efficacité.

Le maillage 3D est développé comme une série de surfaces maillées entre le lit et la surface de la surface libre.

### 2.5.4 - L'approche Roms tools

The Régional Ocean Modeling System (ROMS) est une nouvelle génération de la modélisation de la circulation océanique (SHCHEPETKIN et MC WILLIAMS, 2005) qui a été spécialement conçu pour des simulations exacts de systèmes océaniques régionales.



**Figure 06 :** La simulation 3D du couple vague-courant fourni par le logiciel ROMS (INSU, 2013).

Roms Tools a été appliquée pour la simulation régionale d'un grand nombre de régions des océans du monde (exemple, Blanke et al, 2002; Di Lorenzo et al, 2003; et Haidvogel et al, 2000; MacCready et al, 2002; Marchesiello et al, 2003; Penven et al, 2001).

L'originalité de la méthode utilisée réside dans le réglage de la dissipation des vagues déferlantes par comparaison directe avec l'imagerie vidéo 2D (panneaux de gauche). Le panneau en bas à droite montre un exemple de traceur advecté au large des côtes par des courants turbulents d'arrachement.

### 2.4.5 - L'approche Hiswa

C'est un modèle de deuxième génération largement utilisé mais il a quelques inconvénients :

- La propagation des ondes est limitée à un secteur directionnel de moins de 120° (donc forte réfraction ne peut être installée) ;
- la grille de calcul doit être orientée dans la direction de la vague moyenne, ce qui est peu pratique sur le plan opérationnel ;
- Il est paramétrique de la fréquence de telle sorte que les champs d'ondes multimodal ne peut pas être simulé ;

La modification et l'ajout de processus physiques est assez difficile à cause des formulations hautement paramétrables qui sont utilisés. Ces limitations sont surmontable par le modèle SWAN.

**Chapitre II :**  
**Modélisation de la**  
**houle par SWAN**

## Chapitre II : Modélisation de la houle par SWAN

### 1 – Introduction

Pour choisir le type d'ouvrage à réaliser, l'endroit pour son installation et le dimensionnement optimal, il est indispensable de connaître l'influence et l'énergie de la houle sur le littoral de la commune de Bir el Djir. On va donc utiliser le logiciel SWAN pour effectuer cette simulation.

C'est un modèle numérique permettant le calcul des paramètres des vagues, dans les régions côtières, à partir de données bathymétriques et du vent. Le modèle est en mesure de résoudre l'équation de transport de l'énergie.

Les simulations vont nous permettre d'établir une représentation cartographique de la façade maritime de la commune de manière à identifier les endroits vulnérables ainsi que les différentes possibilités de protection.

Pour les illustrations cartographiques, une plate forme a été utilisée il s'agit du logiciel Surfer.

La réalisation de cette étude nécessite des informations concernant le vent et la bathymétrie de manière à déclencher les processus tel que :

- réfraction et Shaoling, sous l'effet des variations spatiales du fond et du courant ;
- réflexion et déferlement dus à des courants contraires ;
- génération par le vent ;
- dissipation par moutonnement ;
- dissipation par déferlement bathymétrique ;
- dissipation par frottement sur le fond ;
- interactions entre composantes spectrales (quadruplets et triades) ;
- transmission d'énergie, blocage ou réflexion au travers d'obstacles.

La surélévation du niveau moyen induite par les vagues (set-up) peut être calculée dans SWAN. Par ailleurs, les effets de la diffraction peuvent être modélisés dans certaines conditions ; cela permet l'utilisation du modèle dans des régions où les variations de la hauteur significative sont importantes sur l'échelle spatiale de quelques longueurs d'onde.

D'après (Holthuijsen 1993, Booij 1999 et Ris 1999) le modèle SWAN (Simulating Waves Neashore) est un modèle de propagation de houle de 3<sup>ème</sup> génération basé sur l'équation de densité d'action spectrale qui retrace l'évolution du spectre d'énergie de la houle pour certaines situations observées de vents, de courants et de bathymétrie.

Le modèle SWAN, comme tout les modèles de propagation de la houle résout l'équation d'évolution du spectre d'énergie des vagues, il applique l'équation suivante

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial(c_x N)}{\partial x} + \frac{\partial(c_y N)}{\partial y} + \frac{\partial(c_\sigma N)}{\partial \sigma} + \frac{\partial(c_\theta N)}{\partial \theta} = \frac{S}{\sigma} \dots \dots \dots (5)$$

Avec :

N : densité du spectre

$c_x$  : vitesse de propagation suivant l'axe x

$c_y$  : vitesse de propagation suivant l'axe y

$\sigma$  : Fréquence relative

$\theta$  : Direction de la houle

S : Terme de la dissipation et des interactions non linéaires

L'application couvre le spectre de houle complet en terme de fréquences et de direction (0 à 360)°, ce qui signifie que des champs de vagues se propagent dans différentes directions simultanément et leurs interactions peuvent être modélisées.

Son intérêt par rapport aux modèles globaux tels que Wavewatch 3 est sa précision sur des maillages allant jusqu'à 20x20m, mais surtout sur des régions de très faible profondeur jusqu'à la zone de déferlement.

SWAN résout les équations liées aux paramètres physiques suivants :

- la réfraction sur fond de profondeur variable et/ou un courant variable dans l'espace
- le shoaling induit par ces profondeurs et courants variables
- la génération de houle due au vent
- la dissipation par whitecapping

- la dissipation par déferlement
- la dissipation par frottement sur fond (3 formulations sont possibles, Jonswap, Collins, Madsen et al.)
- l'interaction vague - vague non linéaires (quadruples et triades)
- le blocage des vagues par le courant

**Tableau 02** : Propriétés du modèle 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, cartésiens, sphérique, rectangulaire et curviligne
Densité maillage/longueur d'onde des vagues	Indépendant
Dépendance de la qualité des résultats/densité des maillage	Faible
Réfraction	oui
Diffraction	Oui (depuis 2004)
Réflexion	Oui (ouvrages)
Gonflement	Oui
Déferlement	Battjes et Janssen (1978)
Interaction houle - courant	Oui
Interaction vagues - vagues	Oui
Génération de la houle (vent)	Modèles de Phillips, Miles/champs de vent homogènes ou hétérogènes
Dissipation énergie par moutonnement	Oui
Calcul de la surcote (set-up)	Oui (profil et zone)
Prise en compte d'obstacles	Modèle de sellig

## 2- Commandes du logiciel

SWAN est un calculateur qui peut être exécuté directement à partir de l'invite de commandes et pour son exécution, il faut remplir soigneusement le fichier de commande (extension .swn) ce fichier prend en considération plusieurs variables qui sont :

**Tableau 03** : Les différentes commandes du logiciel SWAN

<b>INPGRID</b>	définit dimension de fond, le niveau d'eau, le courant et les réseaux de friction.
<b>BOUND</b>	définit la forme des spectres à la limite de la grille géographique et c'est à ce niveau qu'on introduit les directions, les périodes et les hauteurs significatives.
<b>WIND</b>	active l'option constante du vent (vitesse et direction).
<b>CGRID</b>	définit dimension de grille de calcul qui comprend les valeurs de l'emplacement d'origine (cordonnées minimales en X et Y), l'espacement entre deux points successifs en X et Y ainsi que le nombre de mailles de la grille (lignes et colonnes).

Néanmoins, le modèle pourrait être plus performant en intégrant de nouvelles données input c'est le cas pour la viscosité qui dépend de la température de l'eau, en effet les vagues gagnent en hauteur dans les eaux chaudes.

### 3- Les résultats de SWAN

**Tableau 04** : Les output du logiciel SWAN

<b>01</b>	<b>HSGIGN</b>	Hauteur des vagues (m)
<b>02</b>	<b>HSWELL</b>	Hauteur des vagues due aux seules basses fréquences (mouvements de très grandes amplitudes)
<b>03</b>	<b>TM01</b>	période moyenne "absolue" des vagues (s)
<b>04</b>	<b>RTM</b>	période moyenne "absolue" des vagues (s)
<b>05</b>	<b>TDIR</b>	direction du transport d'énergie
<b>06</b>	<b>RTM01</b>	période moyenne "relative" des vagues (s)
<b>07</b>	<b>RTM02</b>	période moyenne quadratique "relative"
<b>08</b>	<b>DIR</b>	direction des vagues
<b>09</b>	<b>DISSIP</b>	Dissipation d'énergie totale par unité de temps
<b>10</b>	<b>WLEN</b>	Longueur d'onde de la houle(m)
<b>11</b>	<b>TRANSP</b>	Transport d'énergie (composantes selon x et y)
<b>12</b>	<b>VEL</b>	Vitesse du courant (composantes selon x et y)
<b>13</b>	<b>WIND</b>	Vitesse du vent (composantes selon x et y)

En l'absence de courants,

- ✓ RTM01 = TM01,
- ✓ RTM02 = TM02,
- ✓ DIR = TDIR.

# **Chapitre III :**

# **Application à la zone**

# **d'étude**

## **Chapitre III : Application à la zone d'étude**

### **1 – Présentation et localisation de la zone d'étude**

La commune de Bir el Djir se situe dans la wilaya d'Oran au Nord Ouest de l'Algérie dans la rive sud de la Méditerranée , elle se situe à l'Est de la commune d'Oran, à l'Ouest de la commune de Hasi Ben Okba, au Nord Ouest de la commune de Hassi Bounif et au Nord de la commune de Sidi Chami.

La commune a été créée en 1848, sa partie Nord longe la côte de la méditerranée. Elle est restée essentiellement agricole jusqu'à la fin des années 80, est devenu un centre majeur de l'agglomération oranaise. Elle abrite plusieurs sièges d'entreprise à l'architecture moderniste comme les bâtiments de la Sonatrach, le nouveau CHU (1er novembre 1954), l'université des sciences et technologies, l'institut des sciences médicales, la cours de justice, le transfert de l'université d'Es-Senia vers Belgaid et le Centre National des Technologies Spatial.

La réalisation des ouvrages de protection et d'aménagement du littoral représente toujours un enjeu technique pour les bureaux d'études (maîtres d'œuvres) et un souci financier pour les élus locaux (maîtres d'ouvrages). C'est la raison pour laquelle, le recours à la modélisation s'avère de nos jours inévitable pour permettre d'une part la validation des concepts proposés et d'autre part, l'optimisation des coûts.

La modélisation permet d'éviter le surdimensionnement des ouvrages qui engendre des surcoûts et des montages financiers irréalisable ou à fortiori des sous dimensionnements qui engendreront des problèmes de fiabilités avec des conséquences sur la sécurité en général.

La zone côtière de la commune de Bir el Djir (figure 7) s'étend sur 5700 mètres. dont (une bonne partie est sous forme de falaises) 1100 mètres de plages ( sableuses et rocheuses) le reste c'est des falaises , de la porte d'entrée de Canastel dépendant de la commune d'Oran au port de Kristel dépendant de la commune de Gdysel.



**Figure 07 :** Quelques sites du littoral Oranais (plage Ain Franine Bir el Djir)  
Source : Google Earth 2015

### 1.1 - Situation Géographique

Notre zone d'étude se situe entre :

- ✓  $0^{\circ} 31' 28''$  et  $0^{\circ} 32' 00''$  de longitude Ouest
- ✓  $35^{\circ} 46' 00''$  et  $35^{\circ} 46' 30''$  de latitude Nord



**Figure 08:** Situation géographique de la zone d'étude (Google Earth, 2015)

## 1.2 - Cadre climatique

Le climat au niveau de la commune de Bir El Djir est chaud et tempéré. L'été, les pluies sont moins importantes qu'elles ne le sont en hiver. La température moyenne annuelle est de 18 °C. Les précipitations sont en moyenne de 387 mm.

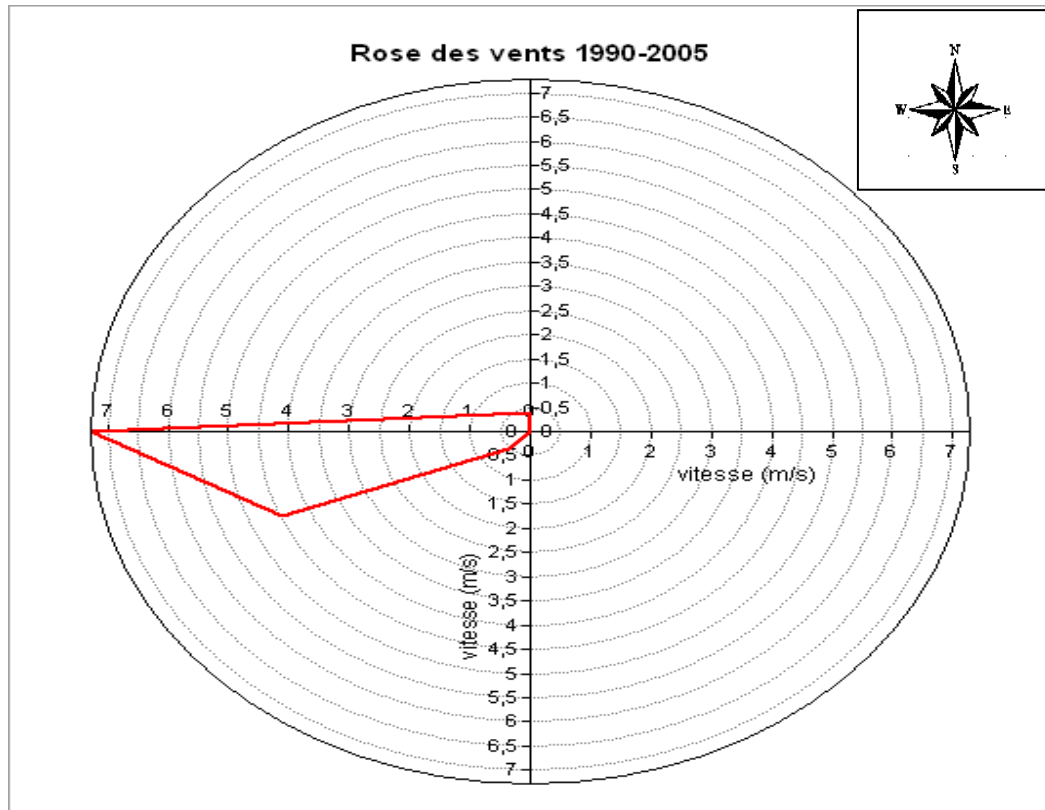
Les températures mensuelles enregistrées durant la période 1999 à 2005 au niveau de la station d'Essenia (quinze kilomètres de la zone d'étude), montre clairement que le mois de janvier est le plus froid avec une température moyenne égale à 10°, tandis que le mois d'août est le plus chaud avec une température moyenne de 26°.

La température moyenne annuelle est relativement faible étant donné le climat semi aride qui caractérise la région d'étude.

**Tableau 05** : Vitesses moyennes mensuelles du vent station Essenia (1990-2005)  
Données ONM

Essenia	jan	fév	mars	avril	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc
Vitesse Moyenne (m/s)	7,28	4,55	4,95	4,96	4,74	4,74	4,47	4,31	4,18	4	4,33	4,4
Direction	w	w	w	w	w	w	wsw	w	w	wsw	wsw	wsw

On remarque sur les données de l'O.N.M que la direction prédominante est l'Ouest en 8 mois de l'année, cependant la direction change parfois en été et en automne vers l'Ouest Sud Ouest tel est le cas pour sirocco (vents chauds et secs) qui frappe la zone quelques jours par an.



**Figure 09** : Rose des vents de la station Essenia (ONM ,1990-2005)

### 1.3 - Cadre géologique

La morphologie de la zone d'étude est encadrée au nord par les massifs du littoral la montagne des lions et le mont murdjadjo, les structures géologiques de la zone datent d'une période Post Miocène, et au Sud par la grande sebkha d'Oran et les salines d'Arzew.

On retrouve dans cette zone une grande variété de sédiments aussi bien calcaires que siliceux.

Les sédiments calcaires sont représentés par les sables et les graviers que l'on retrouve du Cap Falco au Cap d'Aiguille et qui sont plus ou moins argileux, les vases calcaires contenant des éléments tel que les algues, coquilles ainsi que des foraminifères et les ostracodes de plus, les sédiments calcaires pélitiques recouvrant la plate forme continentale et le rebord continental formant un tapis et pour finir, les sédiments calcéro-argileux qui couvrent une superficie de la région et dont leur composition de leur phase calcaire ne diffère pas fondamentalement des sables et des graviers calcaires (Leclaire, 1972).

Pour ce qui est des sédiments siliceux, ils sont représentés par les sables et sablons présents entre le Cap Lindlès et le Cap de l'Aiguille, les vases silico-calceuses contenant des coquilles de Gastéropodes, de Lamellibranches et des débris de Bryozoaires frais. On y trouve aussi des vases silico argileuses et des boues silico argileuses qui forment une unité sédimentologique nommée la vasière du Chélif (Leclaire. L, 1972) .

Les travaux de forages effectués témoignent de l'existence de sources thermales à Bir el Djir. En effet, l'eau observée à Ain Franine qui est en contact avec des formations salifères lui confère des potentialités thérapeutiques évidentes.

La source thermale de Ain Franine et la source minérale de Bir el Djir nous donnent des options qui vont au delà de l'aménagement côtier d'où, la nécessité d'entreprendre dorés et déjà un projet intégré qui prend en charge les différents aspects liés au tourisme avec une étude d'impact sur l'environnement.

#### 1.4 - La bathymétrie

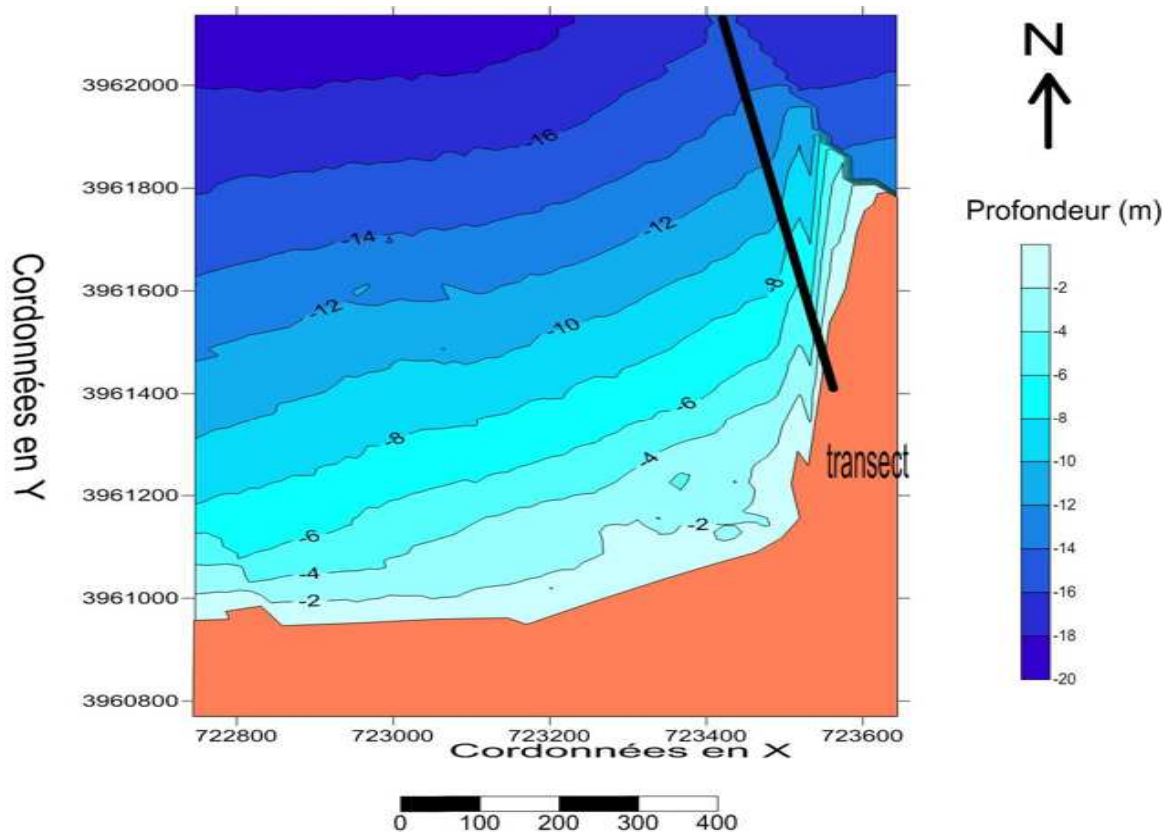
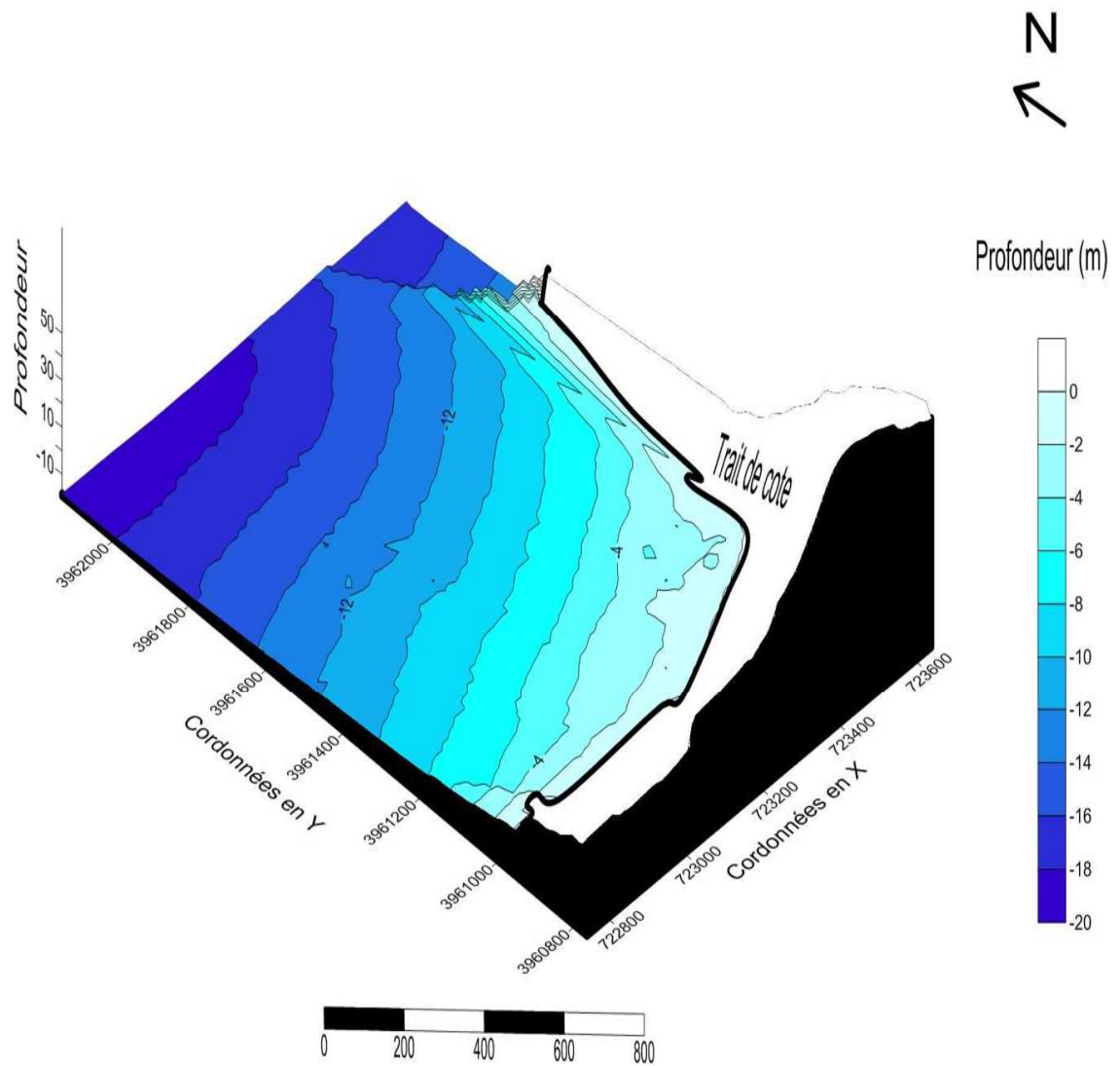


Figure 10 : Carte bathymétrique 2D (plage de Ain Franine 2009)

D'après la bathymétrie de la zone on peut distinguer deux zones distinctes (divisées par un transect dessiné sur Surfer):

- ✓ **Zone Ouest** : cette zone est caractérisée par une pente douce d'environ 1,6 %
- ✓ **Zone Est** : zone caractérisée par une pente raide d'environ 12 %

Le littoral de Bir el Djir comme c'est le cas pour la plupart du littoral Oranais, est caractérisé par la présence de falaises.



**Figure 11 : Carte bathymétrique 3D (plage Ain Franine 2009)**

### 1.5 - Evolution du trait de cote

Pour connaître l'évolution du littoral de Bir el Djir une évolution du trait de côte a été effectuée par le logiciel ArcGIS à partir des images satellitaires des années 2001, 2004, 2008, 2011 et 2015 tout en dessinant un transect T correspondant au plus grand recul du trait de côte enregistré.

Pour ce faire, il suffit de géoréférencer les images satellitaires sur ArcGis en utilisant quatre points comme repères, puis de dessiner les traits de côte correspondants à chacune des images, pour finir on désactive les couches d'images satellitaires en laissant uniquement celles de l'année 2015 et on utilise la règle du logiciel ArcGis pour nous donner la distance entre les différents traits de côte.

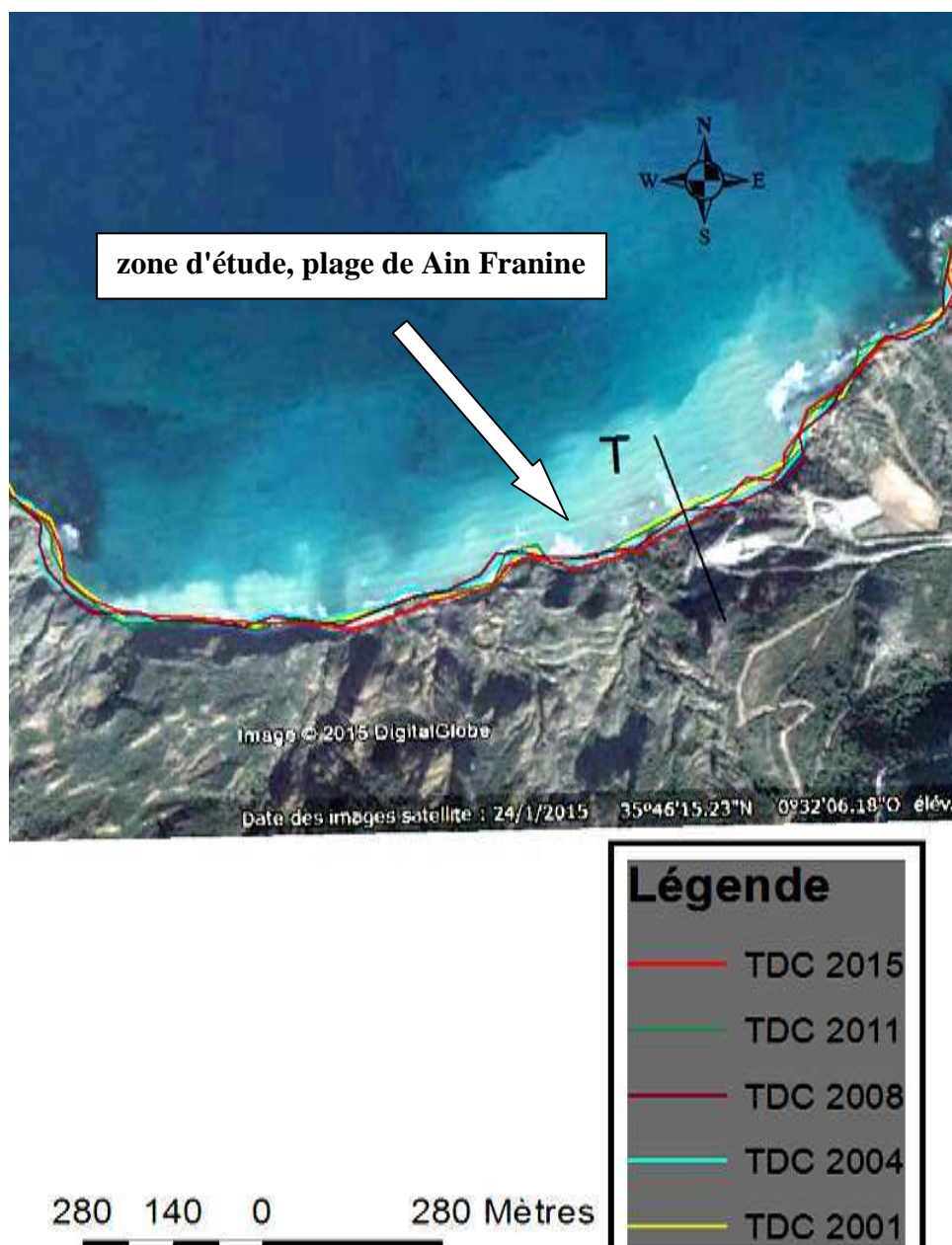


Figure 12 : évolution du trait de côte (plage Ain Franine ente 2001 et 2015)

Le littoral de Bir el Djir connaît globalement un recul du trait de côte néanmoins il comporte aussi bien des accumulations en certaines zones, il connaît une érosion allant jusqu'à 14 mètres au niveau du transect T (soit un recul maximum moyen de 0,9 m par an).

Il faut aussi souligner que les variations du trait de côte peuvent être importantes en raison de la succession des saisons avec des accrétions estivales et des reculs durant les périodes hivernales, de plus la zone est alimentée par les apports terrigènes qui proviennent du continent par les cours d'eau.

## 2 – Collecte et introduction des données

La collecte des données bathymétrique se fait par plusieurs méthodes. Le plus important, est d'avoir des données suffisamment denses capables de modéliser le fond marin sans occulter les changements brusques des profondeurs qui peuvent fausser, localement, les différentes simulations.

Pour notre travail on a utilisé une dalle bathymétrique composée de 10 818 points en coordonnées cartésiennes avec les caractéristiques suivantes :

**Tableau 06** : Système géodésique utilisé

Système Géodésique	WGS 84 ( <b>W</b> ord <b>G</b> eodetic <b>S</b> ystem 1984)
Projection	UTM ( <b>U</b> niversal <b>T</b> ransvers <b>M</b> ercator)
Zone	30

Le fichier bathymétrique en notre possession a été réalisé par le Laboratoire d'Etudes Maritime (LEM).



**Figure 13** : Zone du levé bathymétrique et orthométrique dans la plage de Ain Franine

### 3 – Traitement de l'information

#### 3.1 Choix du secteur angulaire

On remarque clairement sur les cartes que les parties Nord et Nord Ouest de la zone d'études sont dégagées, la zone est couverte naturellement dans les autres directions. L'étude de la réfraction de la houle portera sur les houles à incidence frontale du Nord ainsi que les houles à incidence oblique du Nord Ouest.

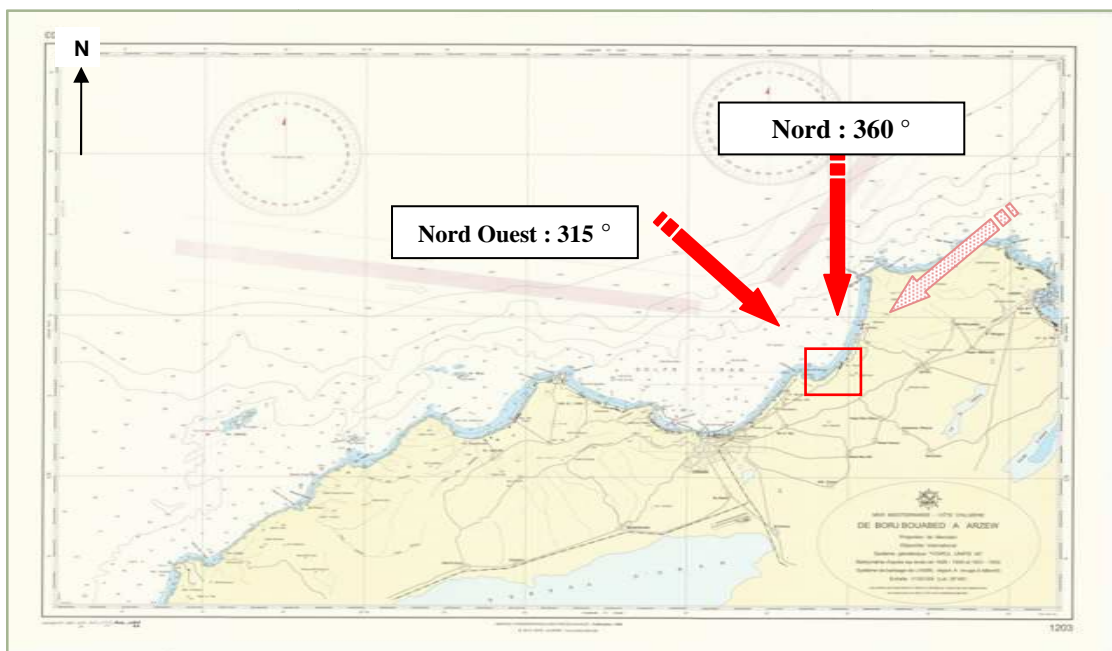


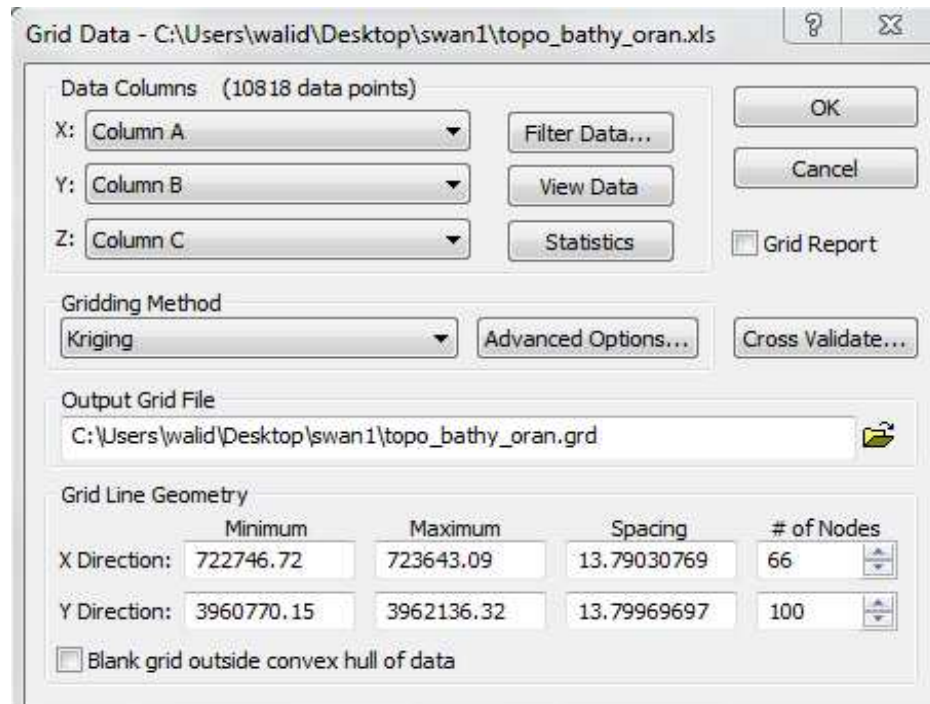
Figure 14: Direction des houles défavorables sur carte marine (INCT, 2014)

#### 3.2 - Etapes de la modélisation

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

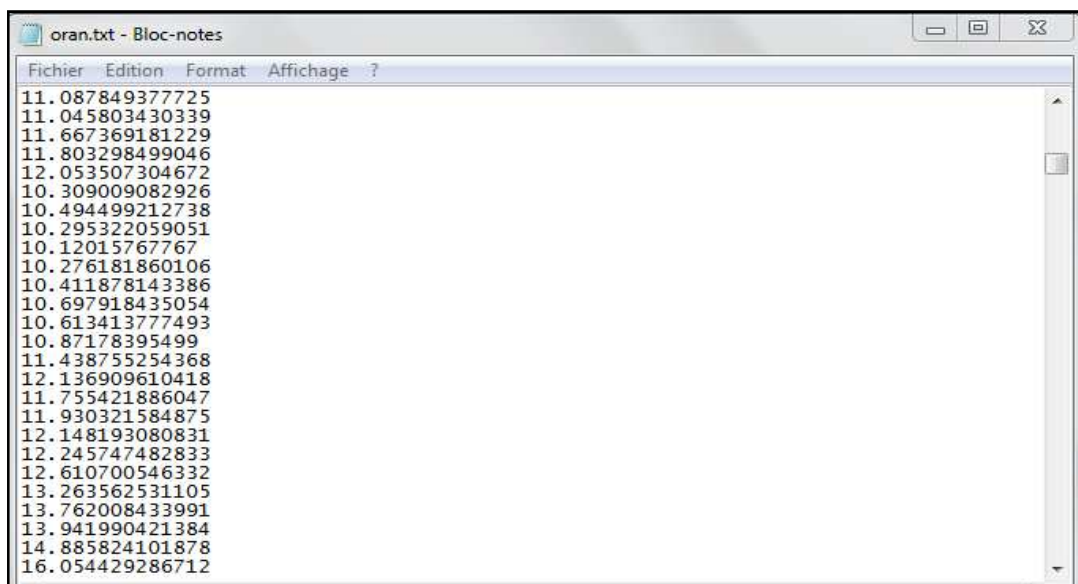
##### 3.2.1- Préparation de la grille

La grille de calcul est préparée à partir du fichier de bathymétrie obtenue précédemment, ce dernier est introduit dans le logiciel Surfer pour organiser la grille



**Figure 15** : Introduction des données bathymétriques dans Surfer

Cette dernière, une fois obtenue sera enregistrée sur Bloc Note puis sur Excel, le fichier obtenu est le fichier input de la bathymétrie qu'on introduira dans le fichier de commande SWAN.



**Figure 16** : Fichier de bathymétrie à introduire dans SWAN (input)

### 3.2.2 - Exécution

L'exécution se fait par l'invite de commande en tapant swanrun et le nom du fichier de commande qui exécute le fichier de commande swan tout en faisant attention à bien remplir le fichier de commande swan (extension.swn).

```

test1.swn - Bloc-notes
Fichier Edition Format Affichage ?
PROJ 'grille' '001'
$
MODE STAT
$
COORDINATES CART
SET leve1=0.5 NAUTICAL
$
CGRID REG 722746.72 3960770.15 0 896.37 1366.17 65 99 CIR 36 0.03 0.3 24
$
INPGRID BOTTOM REG 722746.72 3960770.15 0 65 99 13.79 13.799 EXCVAL -999
READING BOTTOM 1.0 'topobathyoranresultat.txt' 3 0 FREE
$
$BOUN SHAPE JONSWAP 3.30 PEAK DSPR DEGREES
BOUN SIDE N CON PAR 7.12 10 360 27
$BOUN SIDE E CON PAR 7.12 10 360 27
$BOUN SIDE W CON PAR 7.12 10 360 27

$OFF QUAD
$OFF WCAP
$QUAD
$WCAP
GEN3 KOM 2.36E-05 3.02E-03 AGROW 0.0015
BREA
FRICTION JONSWAP
SETUP

$
$***** OUTPUT REQUEST*****
$
frame 'R1' 722746.72 3960770.15 0 896.37 1366.17 65 99
table 'R1' head 'Orann360T10H712' xp yp hs dir dep vel tdir force transp steepness wlen ubot per
$
TEST 0,0
COMPUTE
STOP
    
```

Figure 17 : Fichier commandes SWAN

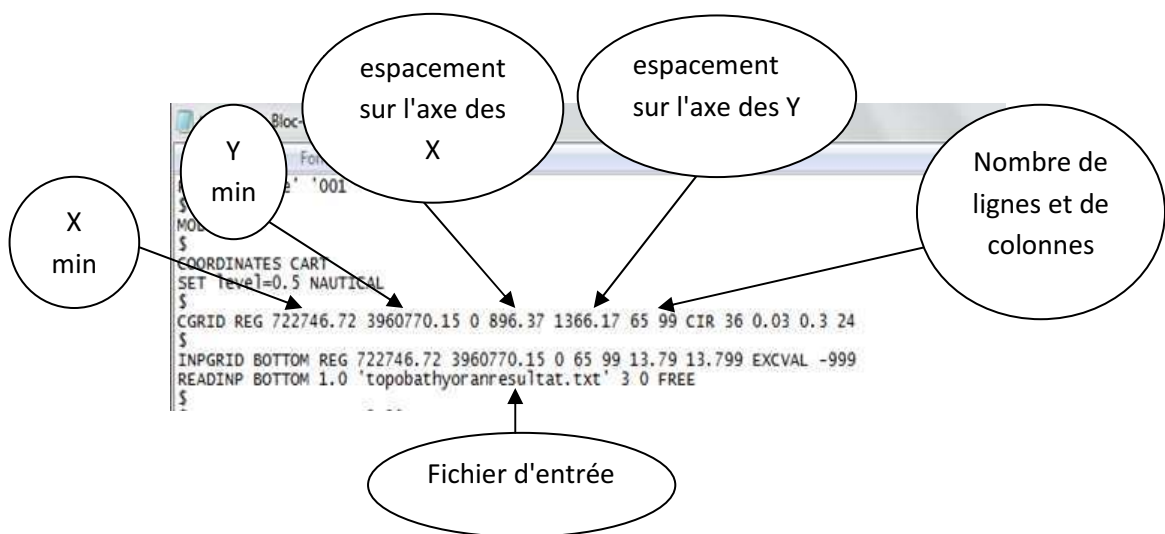


Figure 18 : Commandes à remplir dans le fichier de commandes SWAN (1)

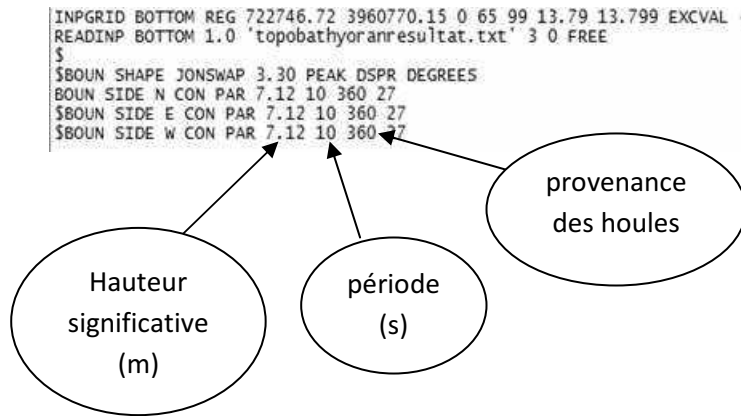


Figure 19 : Commandes à remplir dans le fichier de commandes SWAN (2)

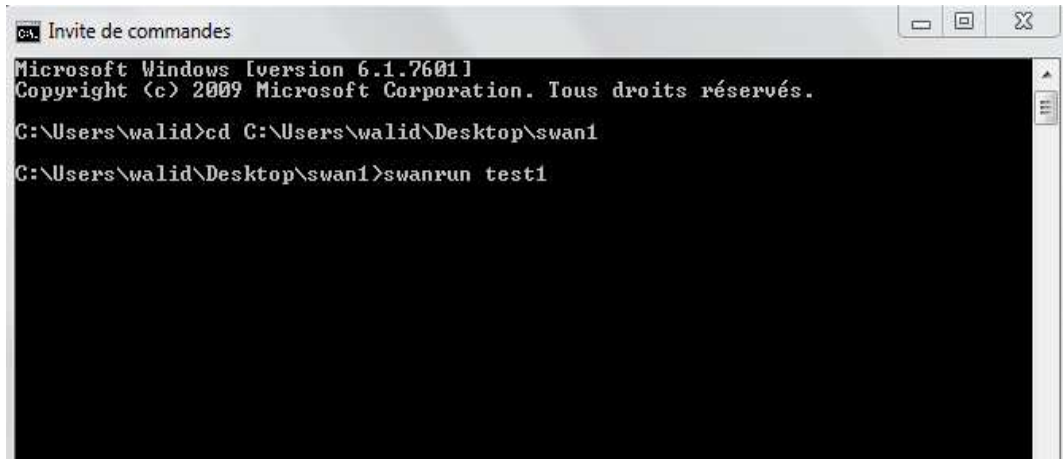


Figure 20 : Invite de commandes

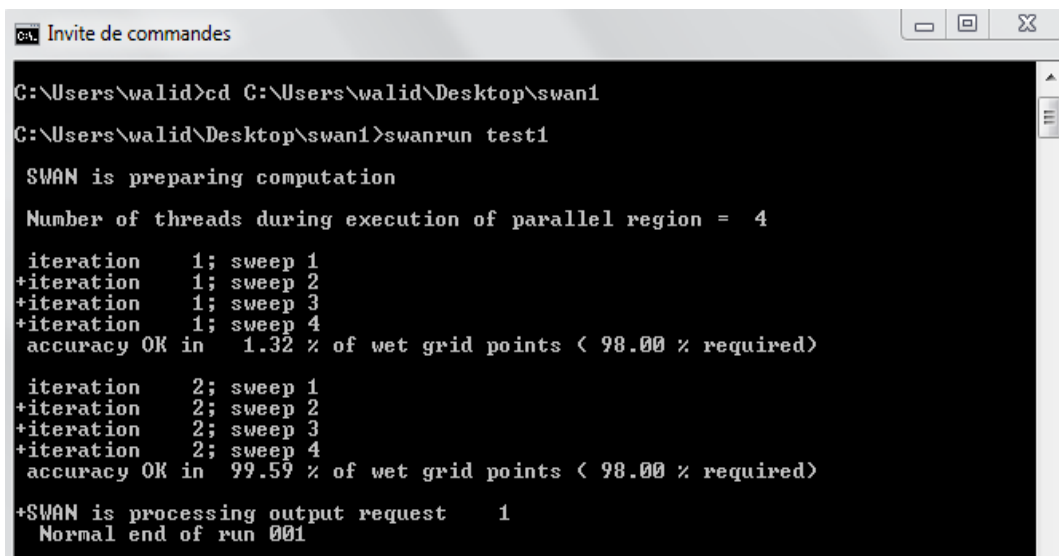


Figure 21 : exécution de SWAN

### 3.2.3 - Le fichier de sortie

Les résultats obtenus à partir du calcul effectué par SWAN sont représentés sous forme de tableau (fichier de sortie) qui peut être lu sur Excel.

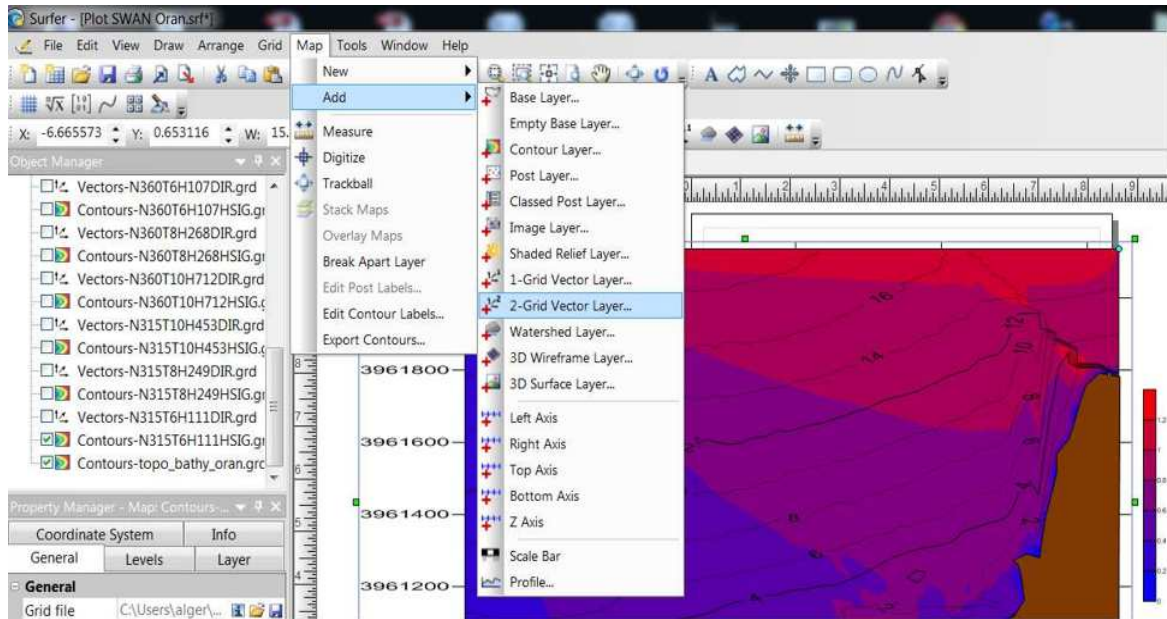
	A	B	C	D	E
1	Xp	Yp	Hauteur Significative (m)	Direction	Profondeur (m)
2	722761	3961019	0,35323	9,34	2,5088
3	722774	3961019	0,37023	12,648	2,2471
4	722788	3961019	0,37711	14,33	2,2363
5	722802	3961019	0,31843	19,251	2,1006
6	722816	3961019	0,32169	12,868	2,1389
7	722830	3961019	0,32271	3,511	3,8081
8	722843	3961019	0,36085	0,019	3,6201
9	722857	3961019	0,37719	358,809	3,5555
10	722871	3961019	0,40108	358,158	3,4927
11	722885	3961019	0,4087	357,333	3,3981
12	722898	3961019	0,41862	356,329	3,2713
13	722912	3961019	0,43279	355,528	3,1251
14	722926	3961019	0,44038	355,034	3,0619
15	722940	3961019	0,43677	354,375	2,9383
16	722954	3961019	0,45766	354,639	2,9317
17	722967	3961019	0,43983	353,151	2,6557
18	722981	3961019	0,46853	354,434	2,6669
19	722995	3961019	0,4412	352,683	2,451
20	723009	3961019	0,453	352,365	2,405
21	723023	3961019	0,46358	351,496	2,337
22	723036	3961019	0,48589	351,217	2,279
23	723050	3961019	0,50575	351,205	2,3436
24	723064	3961019	0,51264	350,101	2,2986

Figure 22 : Fichier de sortie

### 3.2.4 - Affichage des résultats sur une interface graphique

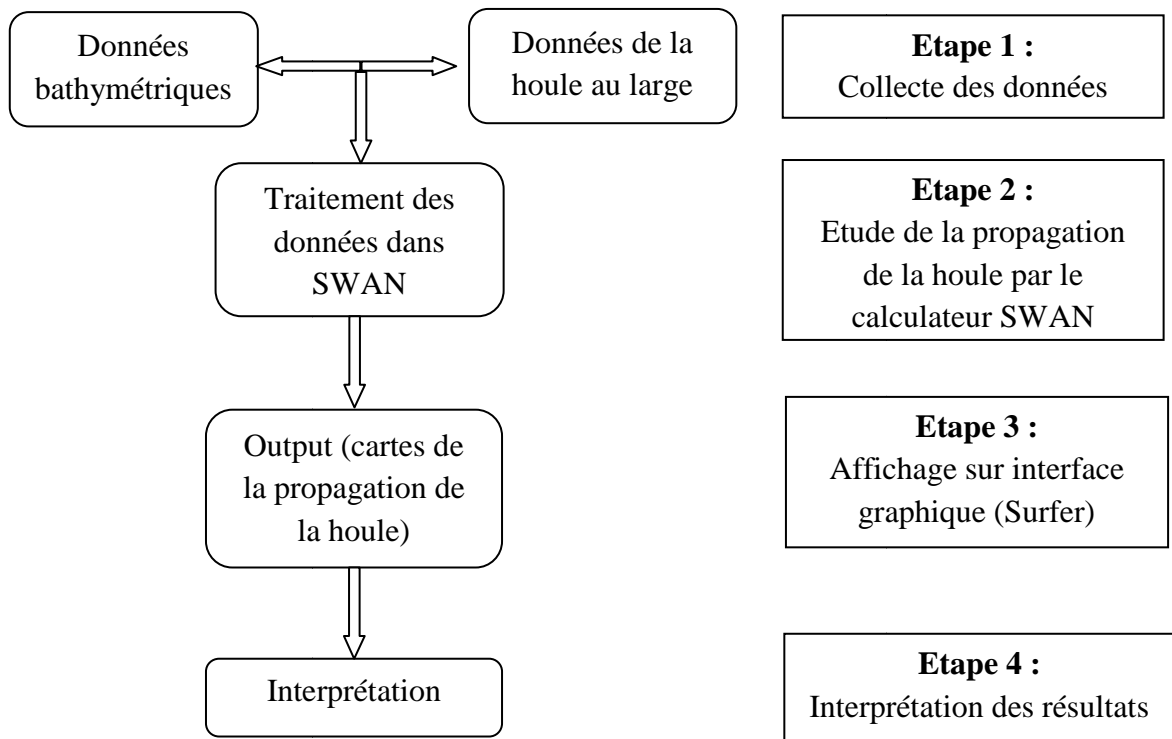
L'affichage des résultats obtenus à partir de SWAN a été fait sur le logiciel Surfer, en faisant une conversion des fichiers Excel en fichier GRID (extension.grd) spécifique à Surfer.

Ces derniers sont introduits dans une carte à contour en faisant une superposition avec la bathymétrie tout en affichant les valeurs des hauteurs significatives sous forme de flèches (par la commande "Add" puis "2 Grid Vector Layer").



**Figure 23 :** Commande 2-Grid Vector Layer dans Surfer

L'organigramme ci-dessous résume l'étude de la réfraction :



**Figure 24 :** Organigramme de l'étude de réfraction (OTHMANI H, 2010)

## 4 – Résultats et interprétations

Pour modéliser la réfraction, on a besoin des données de la bathymétrie ainsi que des données de la houle au large.

Les calculs de la réfraction de la houle entre le large et la côte ont été effectués par le modèle mathématique SWAN pour différentes conditions de houle au large (hauteur, période et direction).

Le logiciel modélise la propagation de la houle en prenant en compte les phénomènes de réfraction et de déferlement.

Les données du levé bathymétrique et orthométrique sont fournis par le LEM, ce sont des données récoltés lors du projet du LEM à Bir el Djir -2009- , les données de la bathymétrie ont été réalisés par des échosondeurs quand au levé orthométrique il a été réalisé par un levé topographique.

Les données de la houle au large ont été récoltées par le SSMO (voir tableau annexe II) Pour notre zone d'étude nous travaillerons sur les houles du secteur Nord et les houles de secteur Nord Ouest vu que la plage de Ain Franine est abritée dans les autres directions en raison de la disposition de la cote, avec des périodes de 6 , 8 et 10 secondes pour les houles annuels tandis que pour les houles vingtenales on sera intéressé par les houles du Nord avec une période de 12,65 secondes et une hauteur significative de 6,70 m ainsi que les houles du secteur Nord Ouest avec une période de 13,75 secondes et une hauteur significative de 8,10 m

**Tableau 07** : Houles du secteur Nord et leurs caractéristiques

Période de retour (ans)	Période (s)	Hauteur significative (m)
1	6	1,07
1	8	2,49
1	10	7,10
20	12.65	6,70

(SSMO, 2014)

**Tableau 08** : Houles du secteur Nord Ouest et leurs caractéristiques

Période de retour (ans)	Période (s)	Hauteur significative (m)
1	6	1,11
1	8	2,68
1	10	4,53
20	13,75	8,10

(SSMO, 2014)

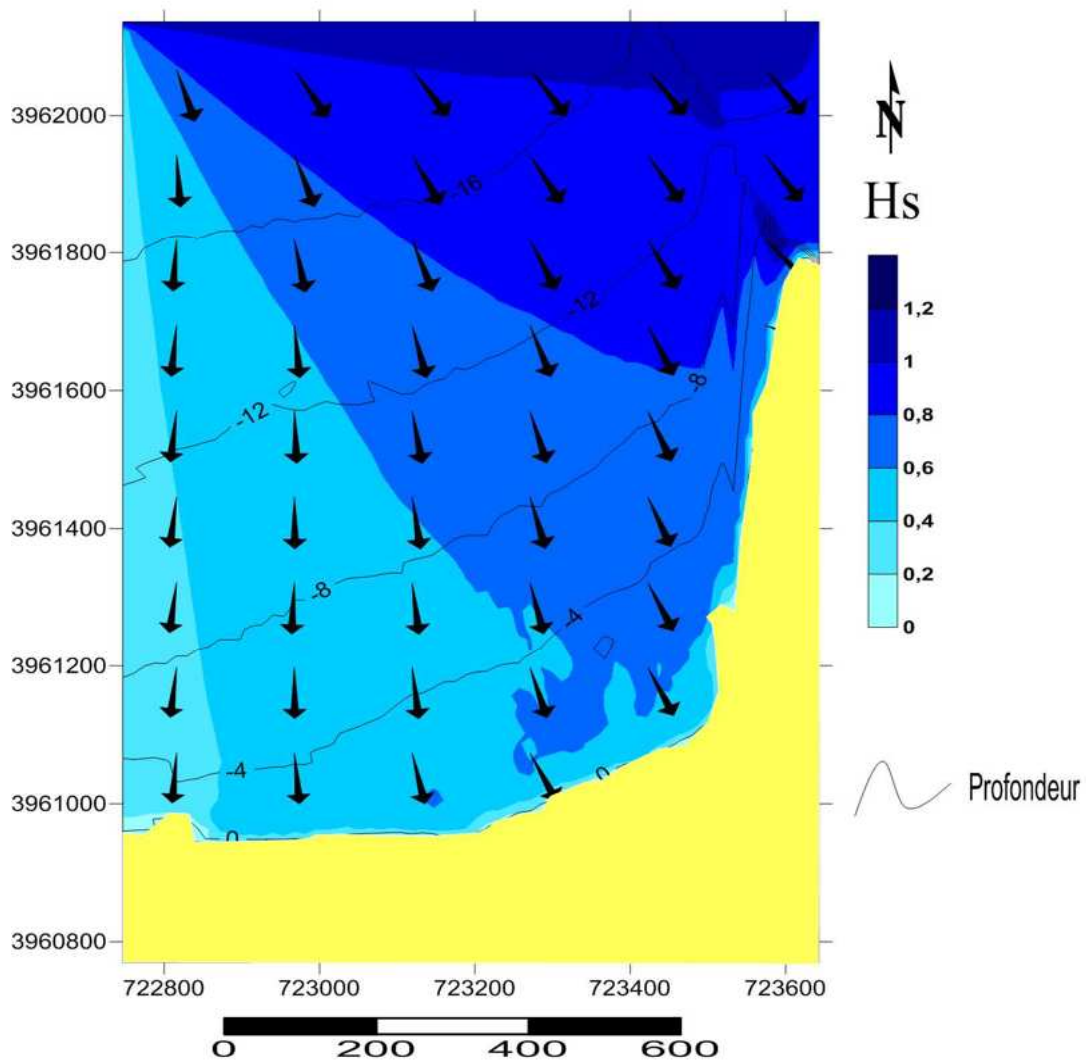
**Résultat 1 :**

Direction : 315°

Période : 6 secondes

Hauteur significative : 1,11 m

Période de retour : 1 an

**Figure 25 :**

Résultat de la modélisation SWAN pour des houles de direction Nord 315°, d'une période de 6 secondes et d'une hauteur significative de 1,11 m dans la région de Bir el Djir, plage de Ain Franine (CHAIB. W, 2015)

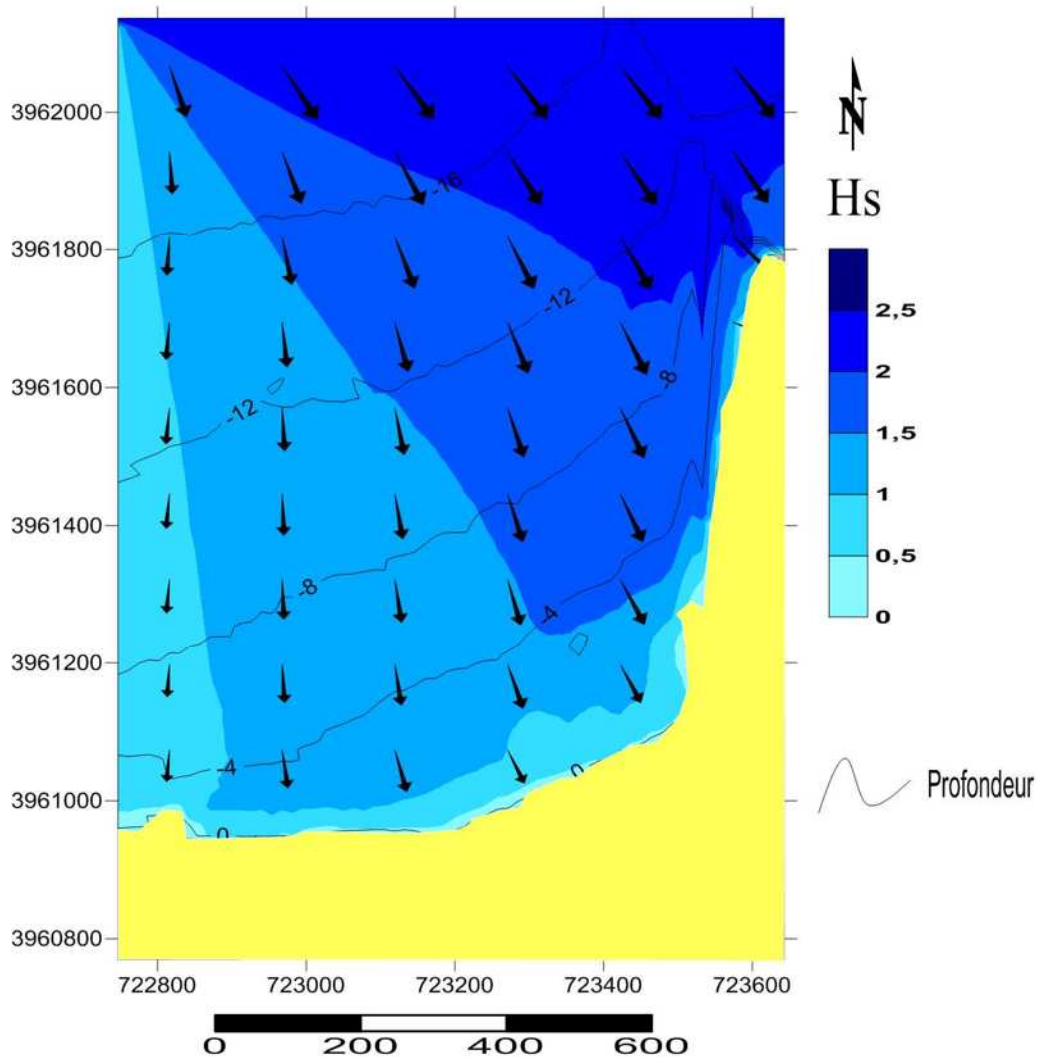
**Résultat 2 :**

Direction : 315°

Période : 8 secondes

Hauteur significative : 2,48 m

Période de retour : 1 an

**Figure 26 :**

Résultat de la modélisation SWAN pour des houles de direction Nord 315° , d'une période de 8 secondes et d'une hauteur significative de 2,49 m dans la région de Bir el Djir, plage de Ain Franine (CHAIB. W, 2015)

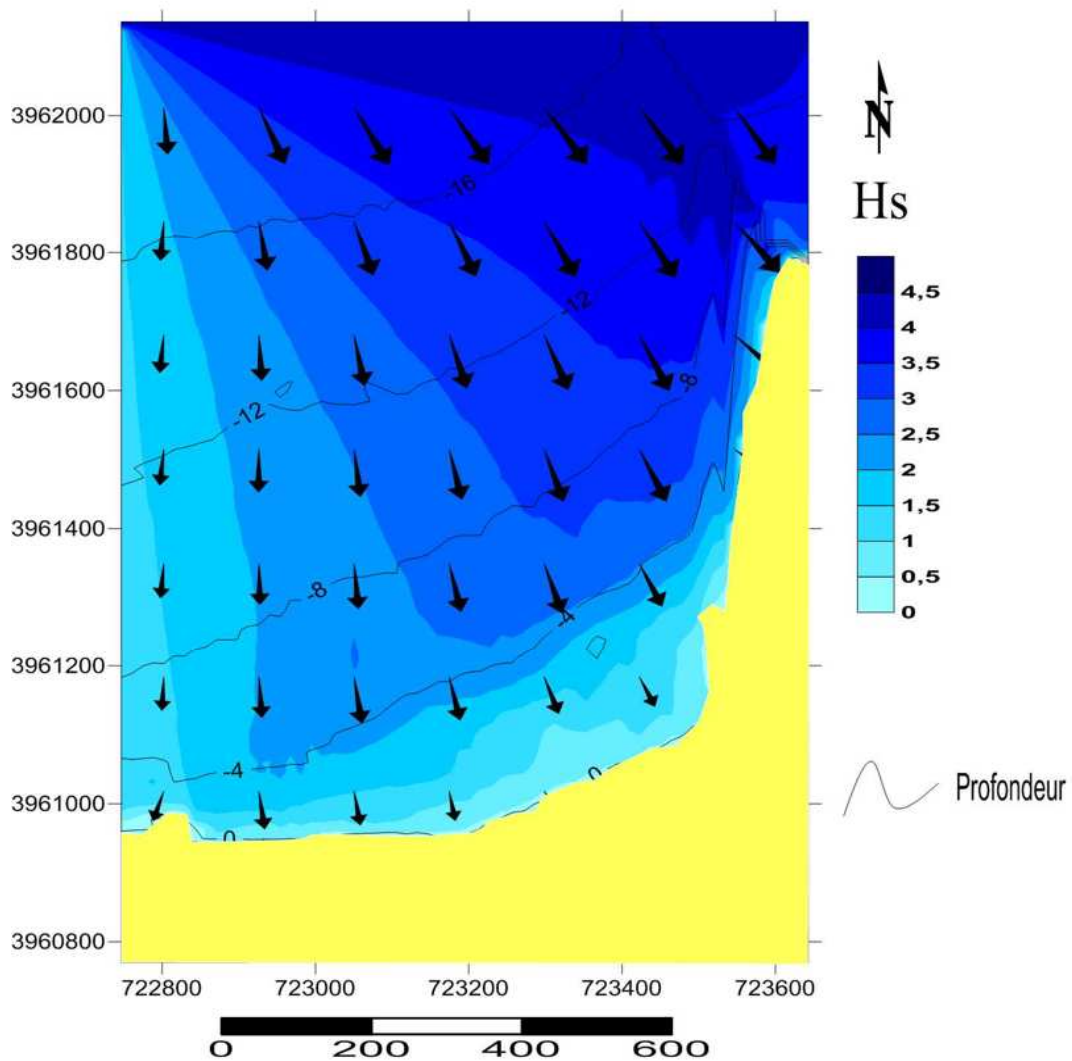
**Résultat 3 :**

Direction : 315°

Période : 10 secondes

Hauteur significative : 4,53 m

Période de retour : 1 an

**Figure 27 :**

Résultat de la modélisation SWAN pour des houles de direction Nord 315°, d'une période de 10 secondes et d'une hauteur significative de 4,53 m dans la région de Bir el Djir, plage de Ain Franine (CHAIB W, 2015)

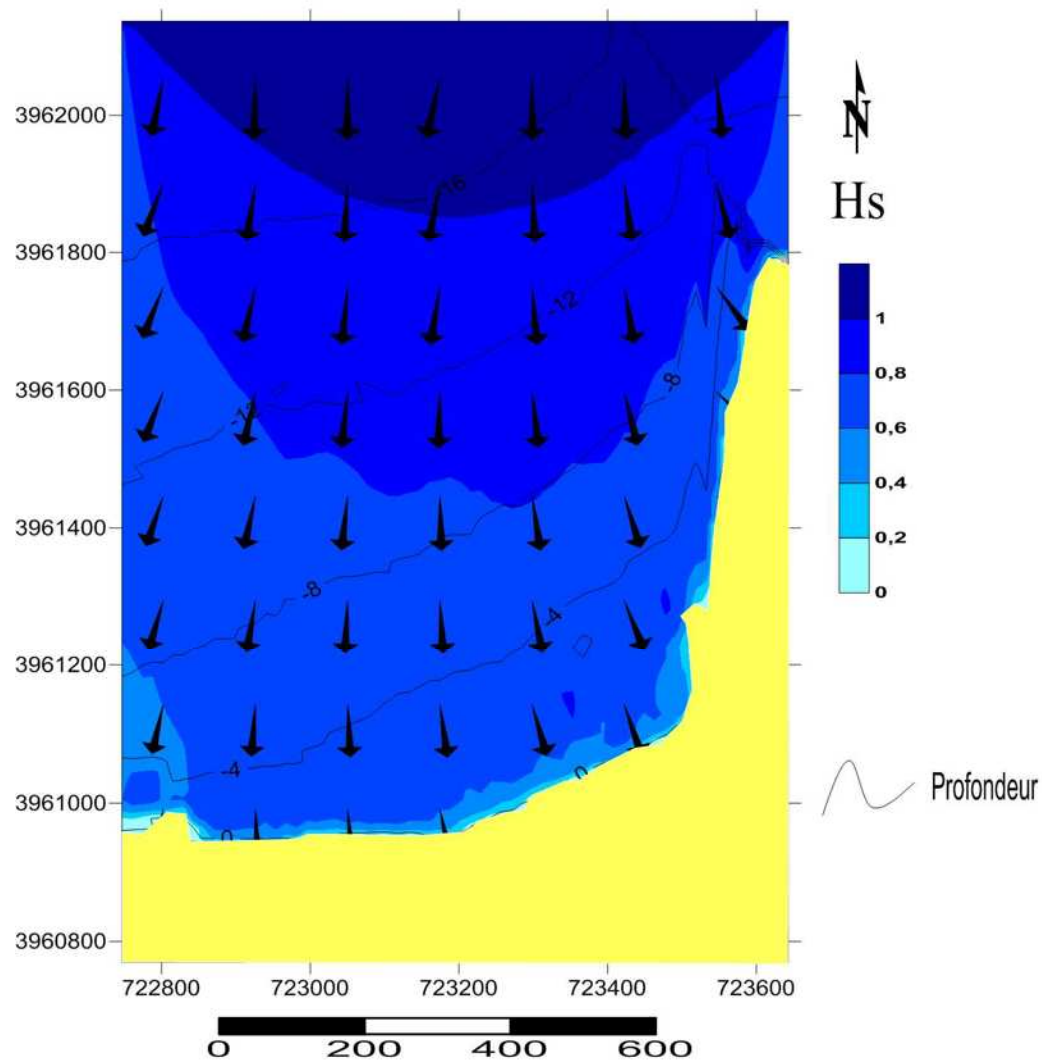
**Résultat 4 :**

Direction : 360°

Période : 6 secondes

Hauteur significative : 1,07 m

Période de retour : 1 an

**Figure 28 :**

Résultat de la modélisation SWAN pour des houles de direction Nord 360° , d'une période de 6 secondes et d'une hauteur significative de 1,07 m dans la région de Bir el Djir, plage de Ain Franine (CHAIB. W, 2015)

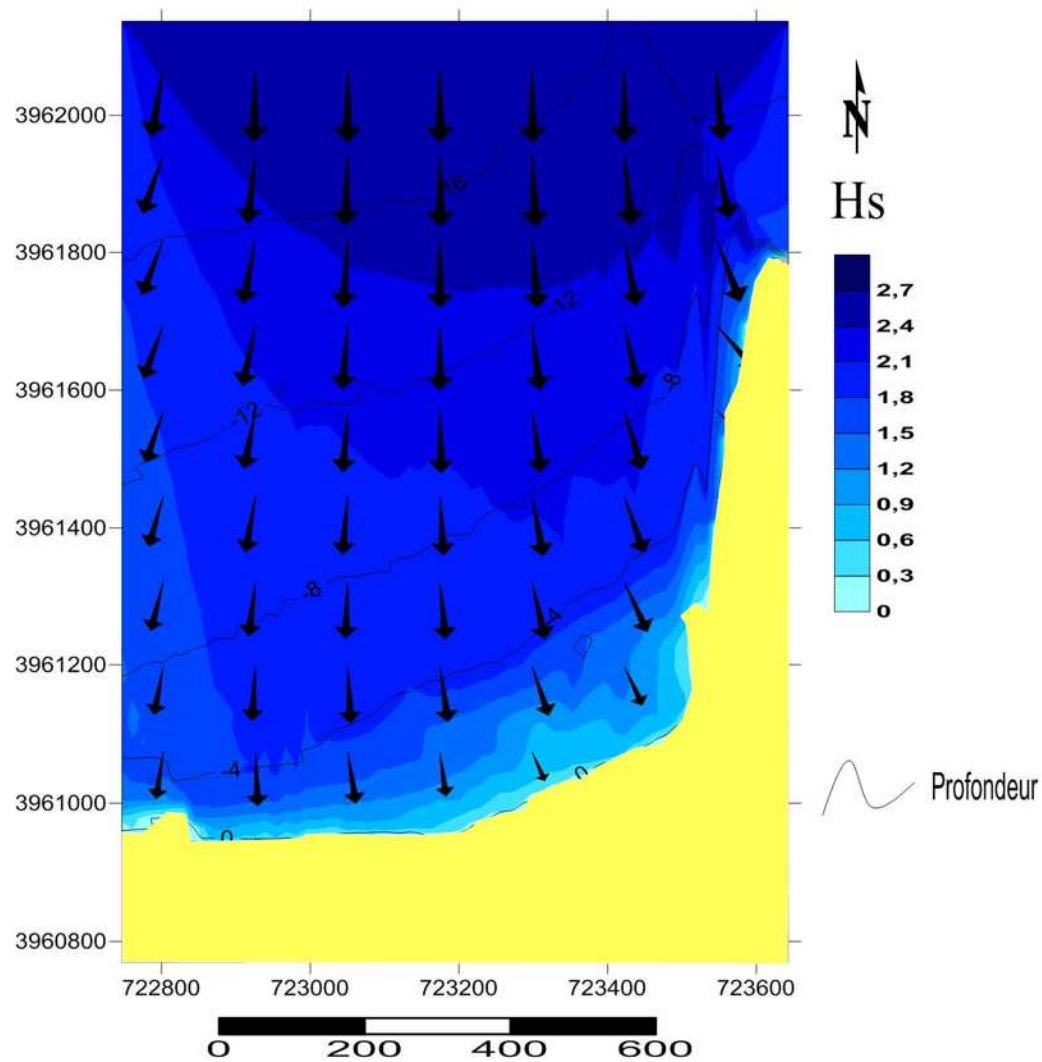
**Résultat 5 :**

Direction : 360°

Période : 8 secondes

Hauteur significative : 2,68 m

Période de retour : 1 an

**Figure 29 :**

Résultat de la modélisation SWAN pour des houles de direction Nord 360° , d'une période de 8 secondes et d'une hauteur significative de 2,68m dans la région de Bir el Djir, plage de Ain Franine (CHAIB. W, 2015)

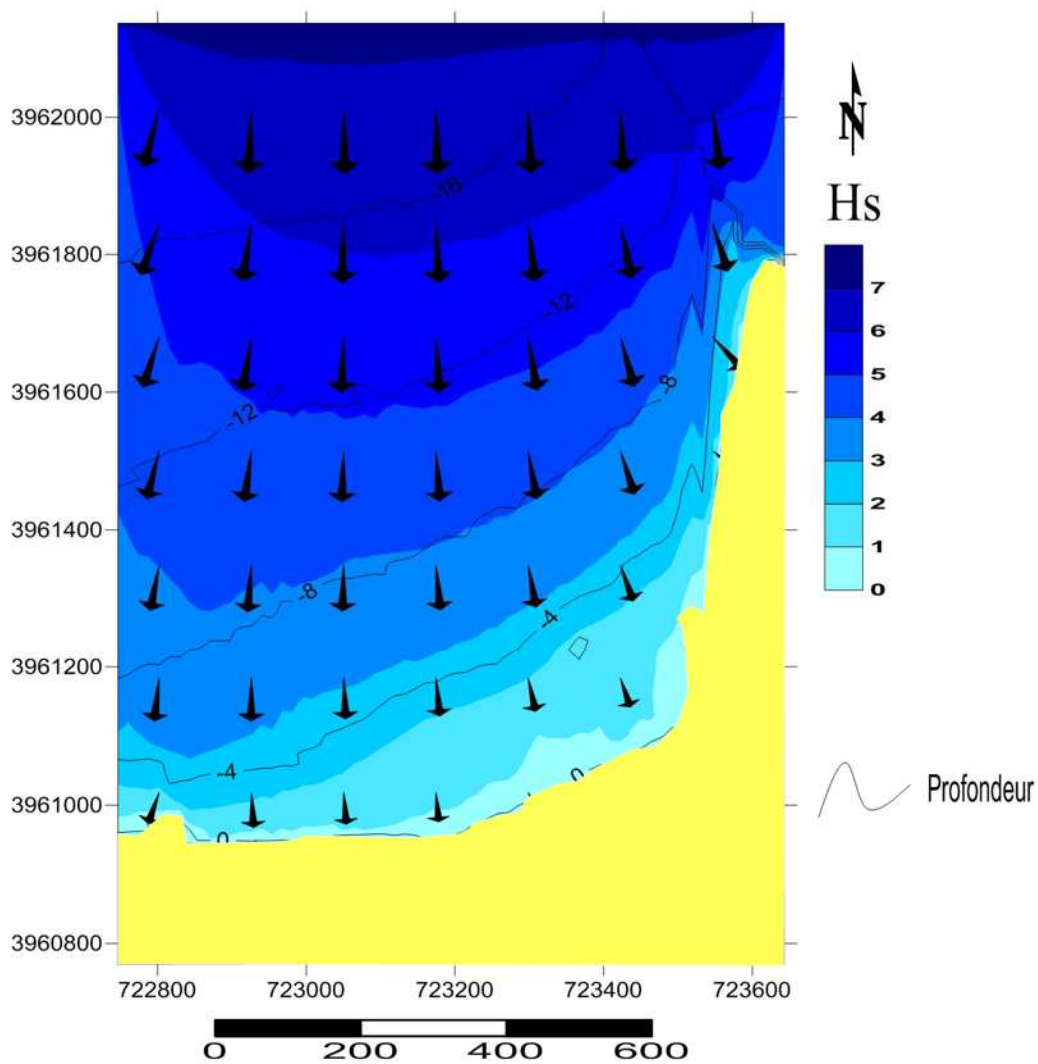
**Résultat 6 :**

Direction : 360°

Période : 10 secondes

Hauteur significative : 7,10 m

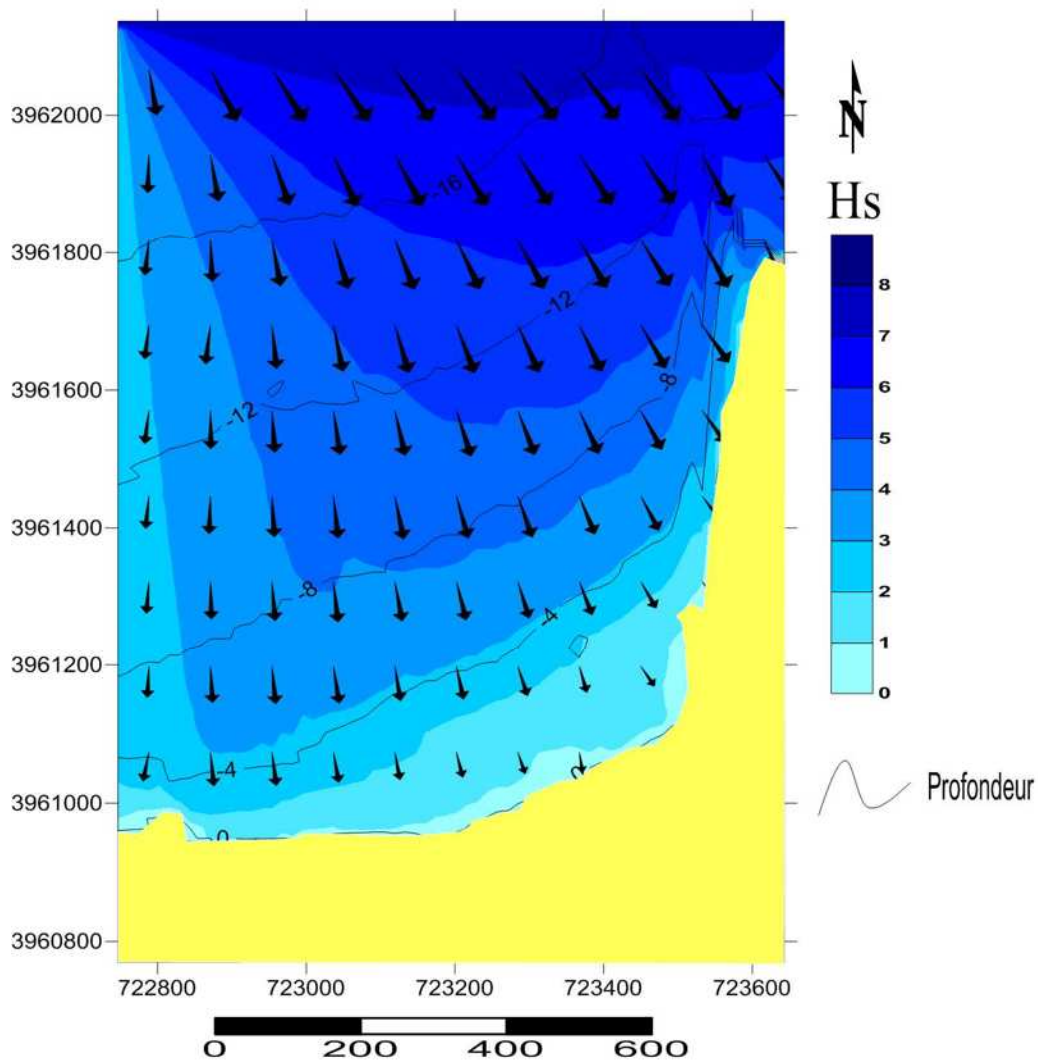
Période de retour: 1 an

**Figure 30 :**

Résultat de la modélisation SWAN pour des houles de direction Nord 360° , d'une période de 10 secondes et d'une hauteur significative de 7,10 m dans la région de Bir el Djir, plage de Ain Franine (CHAIB. W, 2015)

**Résultat 7 :**

Direction : 315°  
Période : 13,75 secondes  
Hauteur significative : 8,10 m  
Période de retour: 20 ans

**Figure 31 :**

Résultat de la modélisation SWAN pour des houles vingtenales de direction Nord Ouest 315°, d'une période de 13,75 secondes et d'une hauteur significative de 8,10 m dans la région de Bir el Djir, plage de Ain Franine (CHAIB. W, 2015)

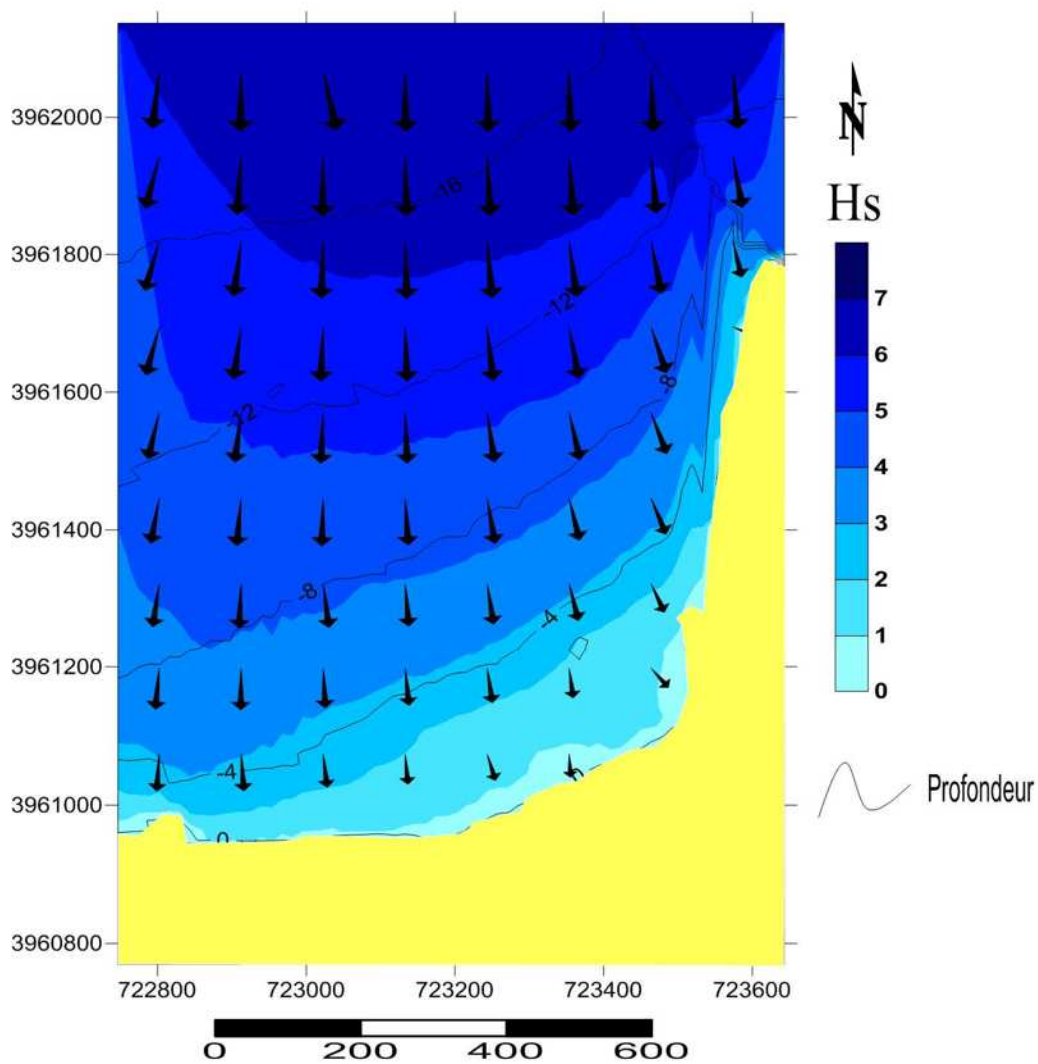
**Résultat 8 :**

Direction : 360°

Période : 12,65 secondes

Hauteur significative : 6,70 m

Période de retour: 20 ans

**Figure 32 :**

Résultat de la modélisation SWAN pour des houles vingtenales de direction Nord 360°, d'une période de 12,65 secondes et d'une hauteur significative de 6,70 m dans la région de Bir el Djir, plage de Ain Franine (CHAIB. W, 2015)

## Interprétation

D'après les résultats obtenus, on remarque que les houles annuelles qui gardent la plus grande partie de leurs énergie sont celles du Secteur Nord qui frappent de façon frontale la plage de Ain Franine avec un coefficient de réfraction de près de 0,7 à 10 m de profondeur et de 0,4 à 5m de profondeur pour les houles d'une période de 10s et pour les houles de période 6 et 8s les houles ne perdent qu'une petite partie de leur énergie soit seulement 20 à 30 % à 10m de profondeur et 40% à 5m de profondeur ( voir Annexe III). On remarque aussi que le coefficient de réfraction est d'autant plus important qu'on se déplace vers l'est en raison du fond abrupt qui ne permet pas une bonne dissipation de l'énergie de la houle et c'est à cet endroit que l'on retrouve des falaises .

Les houles annuelles du secteur Nord Ouest subissent une grande réfraction et atteignent la plage avec une grande partie de leur énergie dissipée avec un coefficient de réfraction de 0,5 coté Ouest à 10 m de profondeur , cependant le coté Est de la plage est très affecté par les houles avec un coefficient de réfraction dépassant parfois 0,9 à 10m de profondeur (moins de 10% de l'énergie de la houle dissipée) ceci peut s'expliquer par l'influence de la bathymétrie (présence de falaise avec un fond en pente ne permet pas une bonne dissipation de l'énergie de la houle et le déferlement se produit près de la cote) (voir Annexe III) . Ces houles changent parfois de direction vers la cote comme c'est le cas pour le coté Ouest de la plage.

La propagation des houles vingtenales de direction Nord Ouest se fait de manière frontale dans le secteur ouest de la plage de Ain Franine ces dernières changent donc de direction et perdent une grande partie de leur énergie avec un coefficient de réfraction au alentours de 0.4 à 5m de profondeur et entre 0.4 à 0.7 à 10m de profondeur (voir Annexe III ) par contre le secteur est subit de plein fouet les houles du Nord Ouest qui ne perdent qu'une petite partie de leur énergie, cette zone est très accidentée, les houles sont donc peu réfractées.

Les houles vingtenales du secteur Nord se propagent de manière frontale ils ne changent quasiment pas de direction excepté sur les deux extrémités Est et Ouest de la zone d'étude où les houles ne perdent pas beaucoup de leur énergie vu la morphologie du littoral (présence de falaise).

Les houles de ce secteur gardent une gardent une grande partie de leur énergie en atteignant la profondeur de 10m tout en perdant seulement environ 30 % de leur énergie équivalent à un coefficient de réfraction aux alentours de 0.7 (voir Annexe III).

Ces houles avancent vers la cote en gardant près de la moitié de leur énergie à 5m de profondeur (le coefficient de réfraction est d'environ 0.5) (voir Annexe III) .

Pour le dimensionnement des ouvrages de protection, il y a lieu de prendre en considération les houles vintinales du secteur nord comme référence.

Pour valoriser la zone de Bir el Djir et notamment la plage de Ain Franine des solutions d'aménagements et de protection peuvent être proposés (Brise lames, Géotube, etc.) ces ouvrages de protection suivent un dimensionnement bien précis traduit en équations qui prennent en considération plusieurs paramètres parmi lesquels on y trouve la hauteur significative au pied de l'ouvrage projetée comme c'est le cas pour la formule d'Hudson qui s'écrit comme suit :

$$W_{50} = \rho_r g H^3 / K_D \Delta^3 \cot \alpha \dots\dots\dots (6)$$

- Avec :
- $W_{50}$  : poids médian de l'enrochement (N)
  - $\rho_r$  : Masse volumique apparente de la roche ( $\text{kg/m}^3$ )
  - $g$  : accélération de gravité ( $\text{m/s}^2$ )
  - $H$  : hauteur de la houle au pied de l'ouvrage (m)
  - $K_D$  : coefficient de stabilité
  - $\Delta$  : densité relative déjaugée de l'enrochement
  - $\alpha$  : angle du talus

Cependant, la nécessité d'implanter des ouvrages de protection peut ne pas être envisageable vu la morphologie de la plage qui est protégée par des rochers qui jouent le rôle de brise lames et ont donc un effet dans la dissipation de l'énergie des vagues, néanmoins un aménagement adéquat peut être proposé pour déplacer les rochers afin de préserver l'aspect paysager et protéger les baigneurs d'éventuels accidents.



**Figure 33** : Zone d'Etude - Plage de Ain Franine tiré du journal El Watan le 19/05/2010

# **Conclusion**

## Conclusion

Le modèle SWAN est un modèle de troisième génération qui permet de modéliser les différents paramètres de la propagation de la houle (Hauteur significative, direction de la houle... etc), il est adapté aux zones à faible profondeur (Nearshore) tel est le cas pour notre zone d'étude.

A partir des données input recueillies (bathymétrie, hauteurs significatives des houles, périodes des houles, direction du vent et la vitesse du vent) une étude de la réfraction a pu être réalisée par le modèle SWAN qui intègre tous ces paramètres et permet d'afficher les résultats sous forme de tableaux qui sont introduits dans le logiciel Surfer qui fait office d'interface graphique pour l'affichage des résultats sous forme de cartes.

La modélisation de la réfraction a permis de déterminer les houles qui détériorent la plage de Ain Franine (Commune Bir el Djir de la wilaya d'Oran), à savoir : celles qui proviennent du Nord et plus particulièrement la partie Est de la plage de Ain Franine qui est considéré comme secteur vulnérable. En effet, les houles annuelles du nord avec les périodes de six et huit secondes ainsi que les houles vingtenales du secteur Nord avec une période de 12,65 secondes, peuvent être perçues parmi les plus nuisibles des résultats enregistrés, qui arrivent vers la côte avec une faible dissipation Ces houles seront donc considérées lors du dimensionnement des ouvrages de protection.

L'aménagement de la zone doit être effectué suivant les résultats de la réfraction pour protéger les zones vulnérables, cependant cette dernière est limitée car elle ne prend en considération qu'un seul facteur (la hauteur significative de la houle) et de ce fait une étude approfondie doit être effectuée en prenant en considération les caractéristiques de la zone littorale (courantologie et transit sédimentaire) , et en partant de l'arrière pays vers la haute mer dans le cadre d'une Gestion Intégrée des Zones Côtières (GIZC), l'aménagement de la zone doit aussi prendre en considération l'aspect touristique vu que le site d'étude est considéré comme Zone d'extension Touristique (ZET).

# Références Bibliographiques

## Bibliographie

- **ARISTAGHES, C. et ARISTAGHES, P. (1985).** Théories de la houle - Houle réelle Propagation de la houle. France : [s.ed.], pp. 103-104.
- **BELLAREDJ, A. (2013).** Caractérisation des eaux souterraines de la plaine de la M'leta (Algérie, Nord Ouest) par application de méthodes statistiques multivariées et modélisation géochimique Sciences de la terre. Mémoire de Magister. Hydrogéologie : Sciences de la terre : Algérie : Université d'Oran, pp. 5-10.
- **BELLOULOU, B. (2012).** Etat de l'art sur l'utilisation du modèle SWAN (Simulating Waves Nearshore) dans un environnement microtidal. mémoire Master : Sciences de la mer : Alger : ENSSMAL, pp. 2-16.
- **BERKENNOUN, N. et SALLAY, M. (2012).** Etude de protection du rivage du complexe culturel de Chenoua. Mémoire d'ingénieur : Sciences de la mer : Alger : ENSSMAL, Alger. 87 p.
- **BOUIJ, N. et RIS, R.C. et HOLTHUIJSEN, L.H. (1999).** A third-generation wave model for coastal regions. part i. model description and validation : Pays Bas : Delft University of technology. J.Geophys. Res., 104 (C4), pp. 7649-7666.
- **BORLOO, J.L. (2010).** La gestion du trait de côte. France. Ministère de l'écologie, du développement durable et de la mer : ed Quæ, pp. 31-32.
- **DELAHAYE, J.P. (2015).** Modélisation mathématique. Encyclopædia Universalis [en ligne]. Consulté le [07/05/2015].<<http://www.universalis.fr/encyclopedie/modelisation-mathematique/>>.
- **FEKRAOUI, A. (2007).** Caractéristiques géochimiques des eaux géothermales de la région d'Oran. Alger . Centre de développement des énergies renouvelables. Revue des énergies renouvelables CER' 07 Oujda, pp. 75-80.
- **GAGNAIRE-RENNOU, E. (2009).** Amélioration de la modélisation spectrale des états de mer par un calcul quasi exact des interactions non-linéaires vague-vague. Thèse de Doctorat : France : Université du sud Toulon Var, pp. 1-26.
- **HEMDANE, Y. (2014).** Quelques notes essentielles du cours Génie côtier ENSSMAL, 63 p.
- **LAMBERT, N. (2009).** Modélisation de la dissipation de l'énergie des vagues par la végétation de marais littoral. Mémoire de maîtrise : Océanographie : Canada : Université du Québec, pp. 8-19.

- **LECLAIRE, L. (1972).** La sédimentation holocène sur le versant méridional du bassin Algéro-Baléares (précontinent Algérien). mémoire de muséum national d'histoire naturelle Paris , pp. 206-213.
- **MANOHA, B. et LEPEINTRE, F. et PECHON, P. (1992).** Le modèle TELEMAR-3D pour les écoulements tridimensionnels : De nouvelles perspectives pour les études de l'environnement : France : Laboratoire National d'Hydraulique. Hydroécologie appliquée [Revue scientifique]. Tome 4, Vol 1, pp. 13-17.
- **MIHOUBI, M.K. (2012).** Processus côtiers Tome1 : Hydrodynamique : Blida : ENSH, pp. 50-56.
- **MIHOUBI, M.K. (2013).** Processus côtiers Tome2 : Transport sédimentaire et ouvrages de défense en milieu côtier : Blida : ENSH, 78 p.
- **ONM. (2015).** Modèles numériques. Consulté le [09/05/2015].  
<[http://www.meteo.dz/index.php?option=com\\_content&view=article&id=172&Itemid=170](http://www.meteo.dz/index.php?option=com_content&view=article&id=172&Itemid=170)>.
- **OUABEL, K. (2012).** Réfraction de la houle sur le littoral de Sidi Ghiles par modélisation SWAN . Mémoire Master : Sciences de la mer : Alger : ENSSMAL, pp. 11-20.
- **PENVEN, P et al. (2010).** ROMS AGRIF / ROMSTOOLS User's Guide. France . Institut de Recherche pour le Développement (IRD), pp 3-4.
- **PIRAZZOLI, P.A. (1993).** les littoraux. France. ed Nathan Université, 191 p.
- **SENECHAL, N. (2003).** Etude de la propagation des vagues au-dessus d'une bathymétrie complexe en zone de surf. Thèse de doctorat : Océanographie, paléo océanographie : France : Université de Bordeaux I , pp. 21-22.
- **TOLMAN, H. (2002).** User manual and system documentation of WAVEWATCH III version 2.22 : Washington : National Centers for Environmental Prediction, pp. 1-17.

# Annexes



## Annexe II

### Houles région Ouest 2°W à 2°E

Tableau 01 : Fréquences des houles (SSMO, 2014)

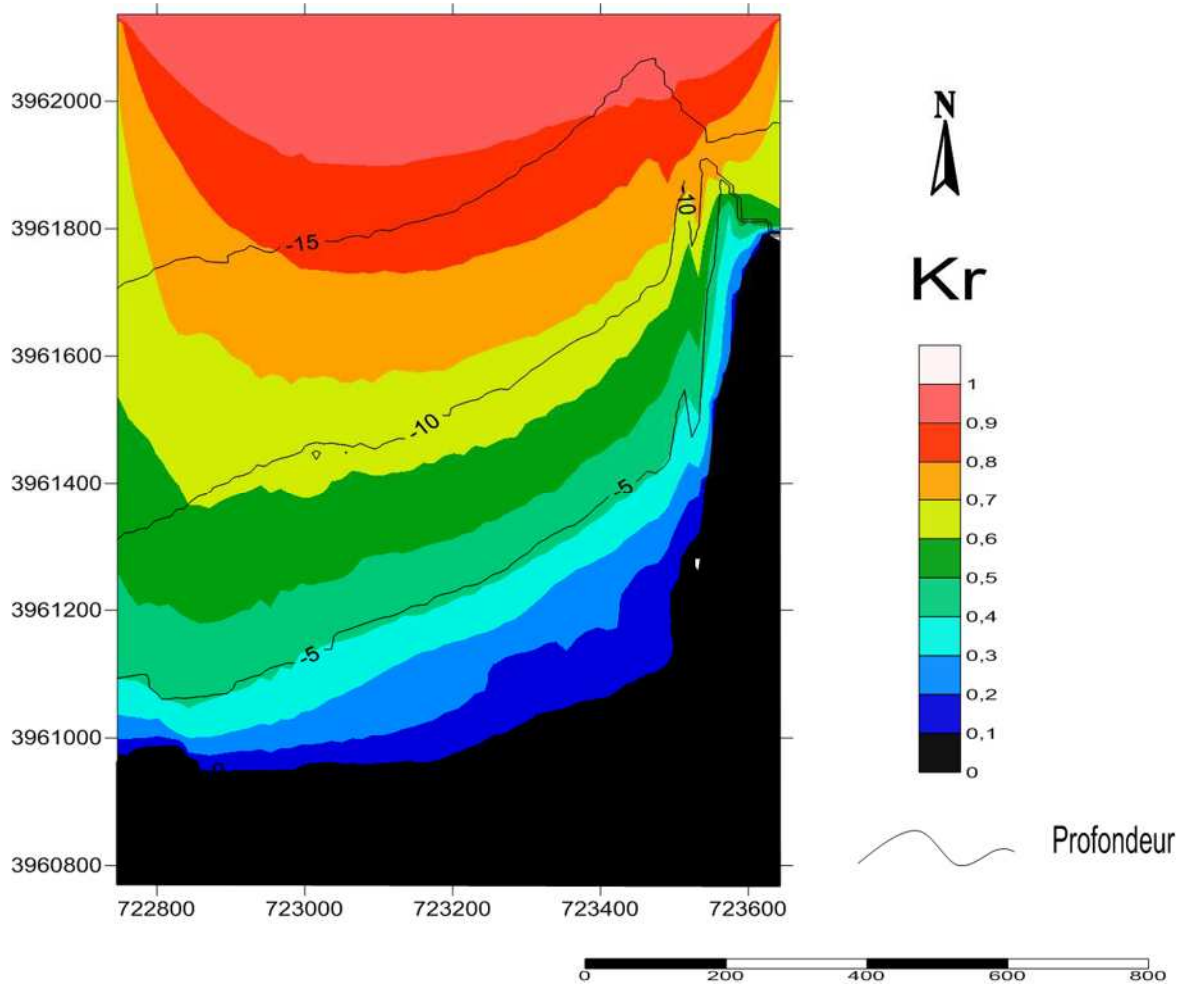
	classes	Hs	Nord	Nord est	Est	Sud Est	Sud	Sud Ouest	Ouest	Nord Ouest	
6	0	ind	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0,5	0 à 0,5	1,56	3,16	3,02	0,65	1,14	2,09	2,46	0,58	0,35
	1	0,5 à 1	2,98	9,23	6,23	0,79	1,78	5,90	5,11	1,10	0,79
	1,5	1 à 1,5	2,21	8,65	4,04	0,32	1,07	6,41	4,50	0,90	1,27
	2	1,5 à 2	1,05	4,15	1,87	0,10	0,28	4,18	2,99	0,50	1,77
8	2,5	2 à 2,5	0,28	1,50	0,24	0,01	0,09	1,82	1,54	0,18	2,26
	3	2,5 à 3	0,19	0,52	0,13	0,00	0,04	0,75	0,68	0,03	2,76
	3,5	3 à 3,5	0,12	0,19	0,01	0,00	0,01	0,27	0,28	0,01	3,26
	4	3,5 à 4	0,01	0,10	0,04	0,00	0,00	0,27	0,24	0,01	3,76
10	5	4 à 5	0,03	0,10	0,03	0,00	0,00	0,12	0,15	0,01	4,53
	6	5 à 6	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	5,52
	7	6 à 7	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,05	0,01	0,00	6,52
	9	7 à 9	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,06
	11	9 à 11	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,05
	13,5	11 à 13,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,31

Tableau 02 : Hauteurs significatives (SSMO, 2014)

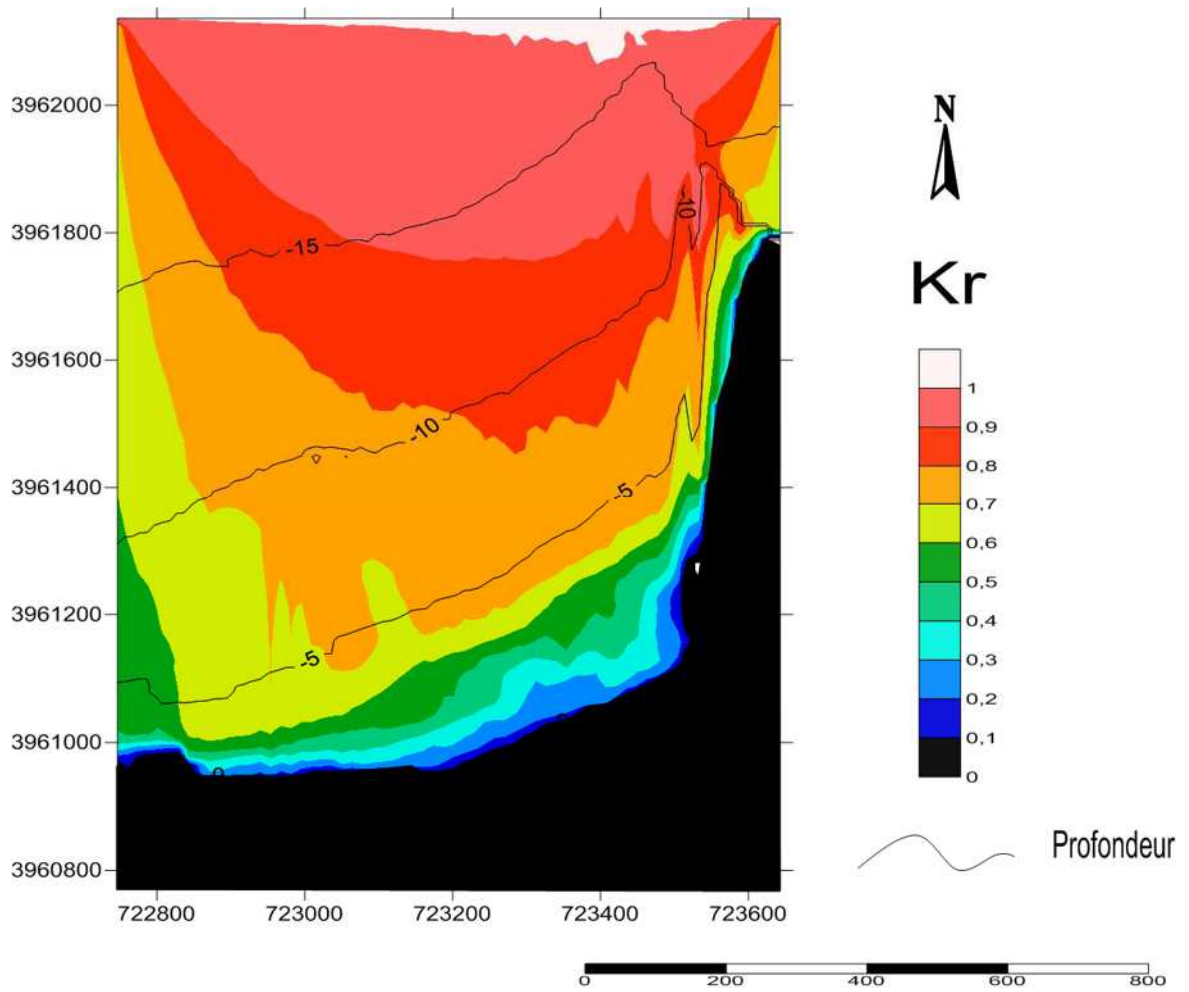
	Nord	Nord est	Est	Sud Est	Sud	Sud Ouest	Ouest	Nord Ouest
6	1,07	1,15	1,05	0,87	0,95	1,22	1,16	1,11
8	2,68	2,56	2,62	2,26	2,51	2,64	2,67	2,49
10	7,12	5,84	/	/	/	5,22	4,83	4,53

### Annexe III

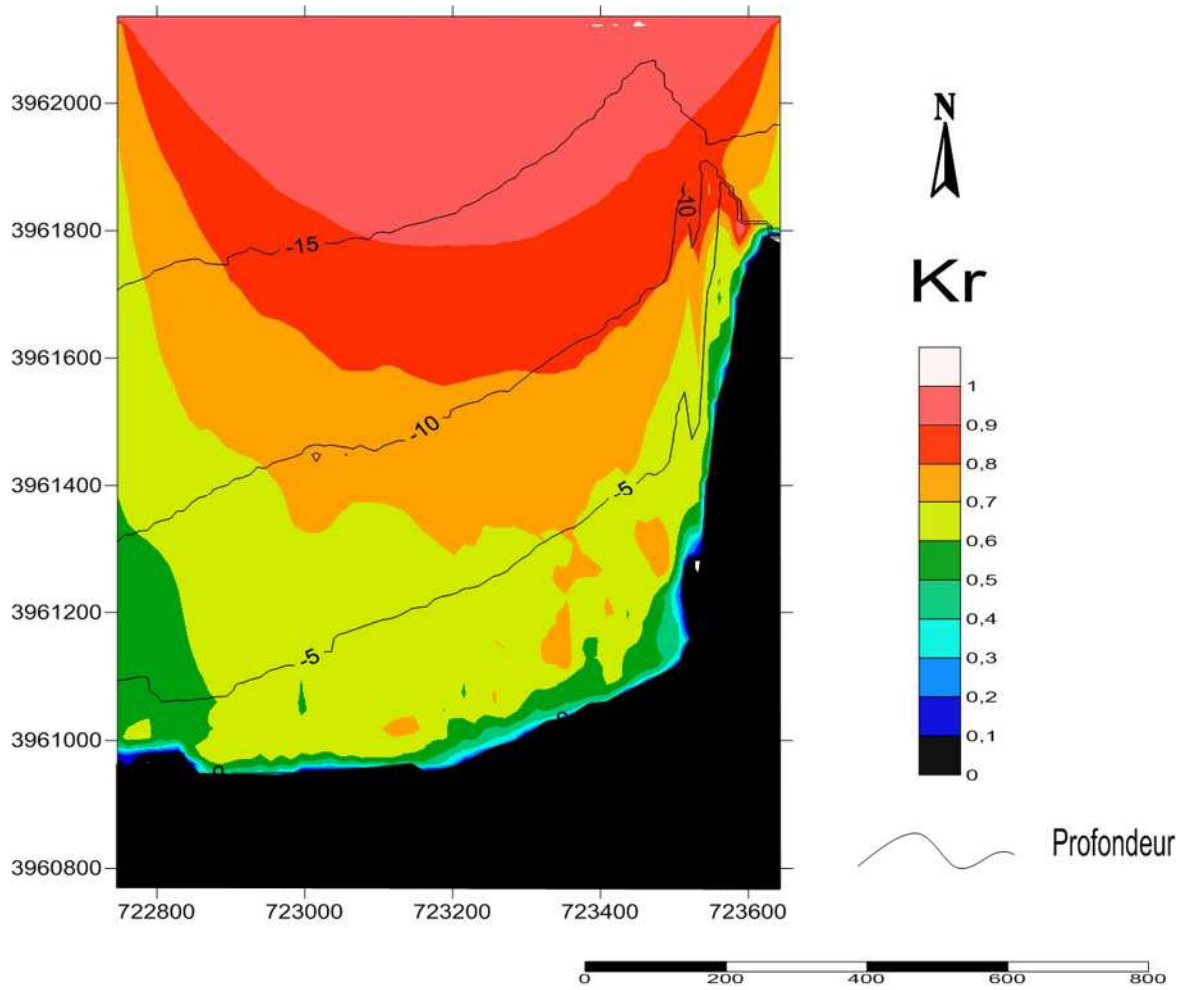
Cartographie du coefficient de réfraction Kr



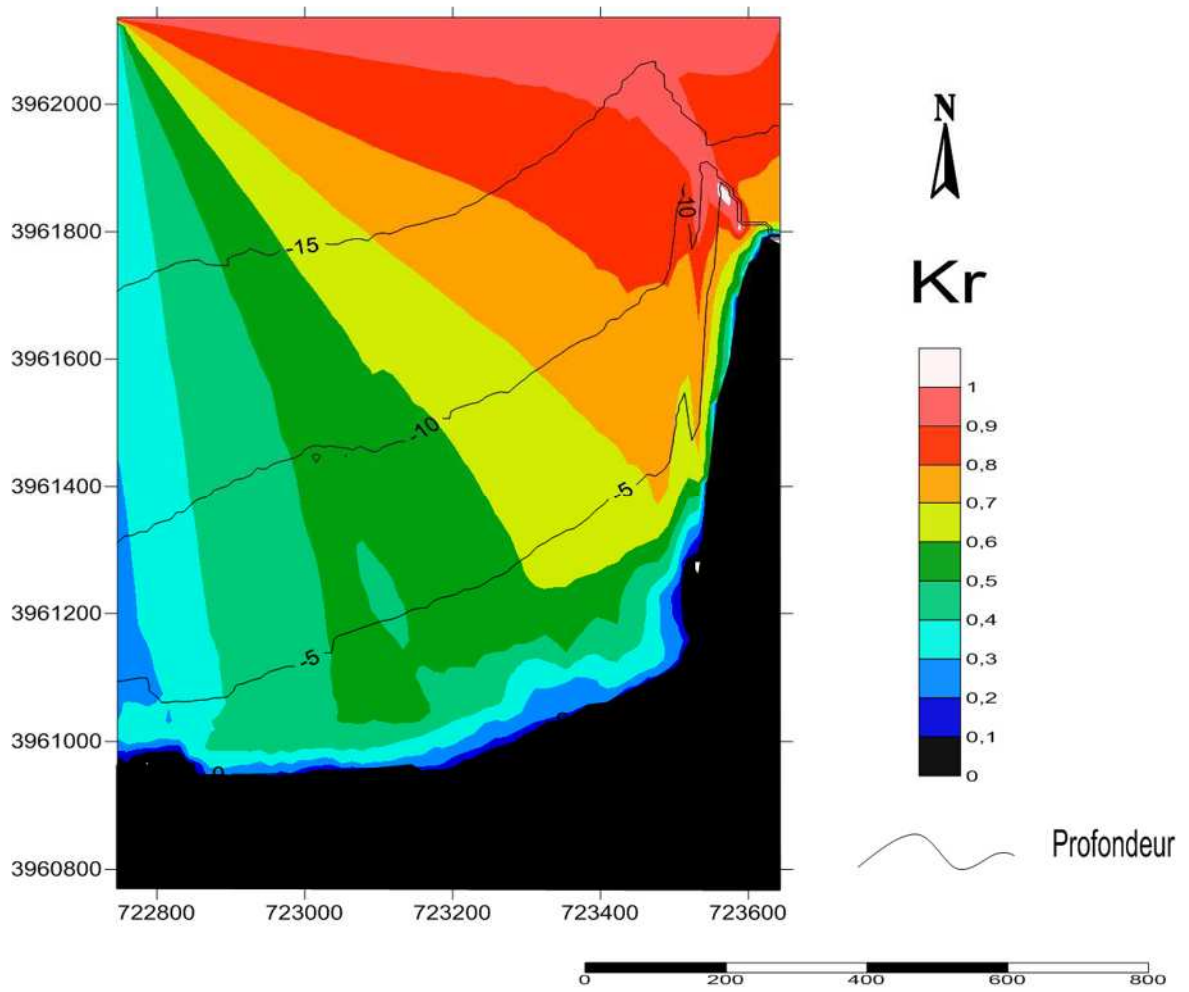
**Figure 02** : Cartographie du coefficient de réfraction pour des houles de secteur Nord N360°, d'une période de 10 s avec une hauteur significative de 7,10 m (CHAIB. W, 2015)



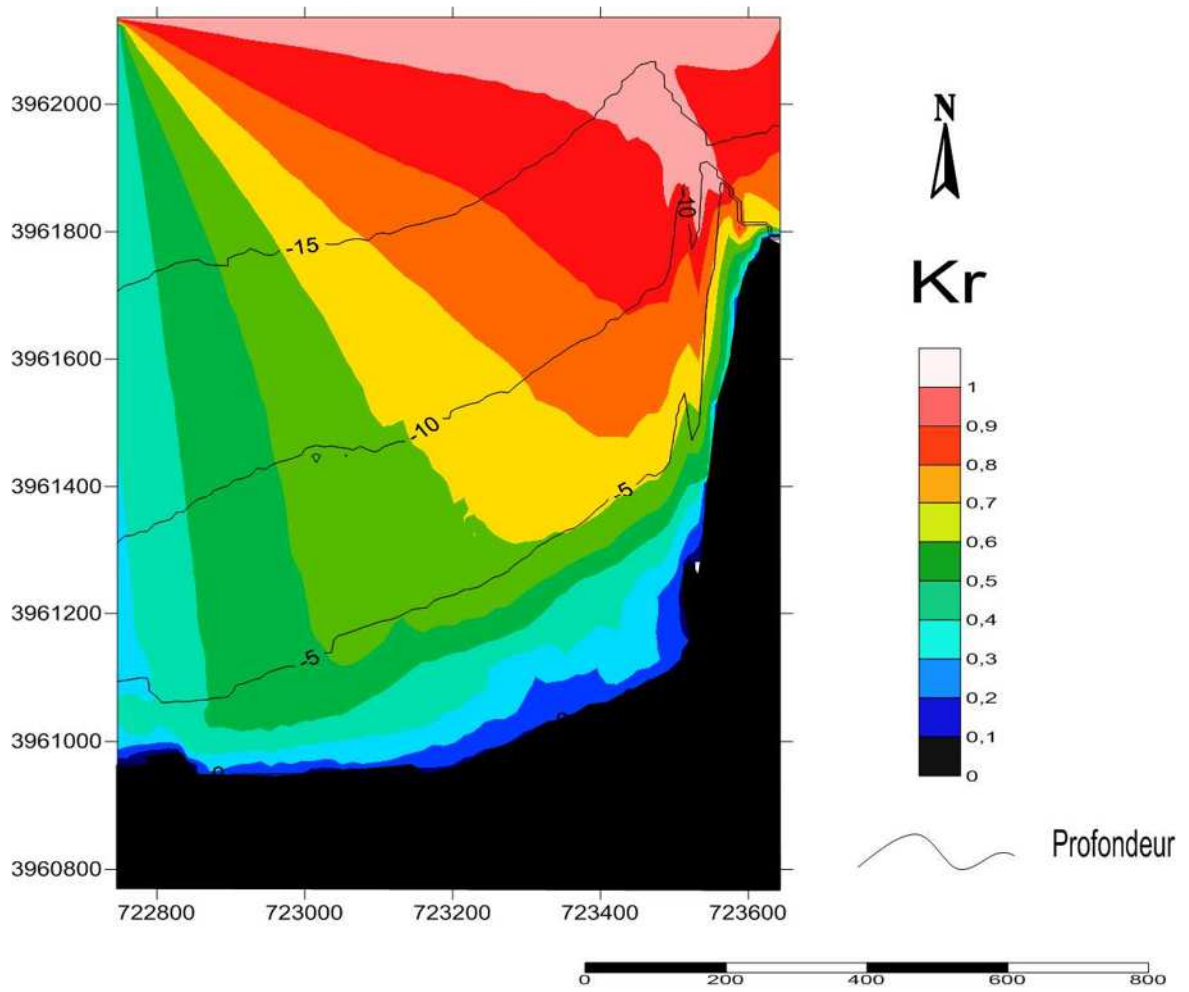
**Figure 03** : Cartographie du coefficient de réfraction pour des houles de secteur Nord N360°, d'une période de 8s avec une hauteur significative de 2,68 m (CHAIB. W, 2015)



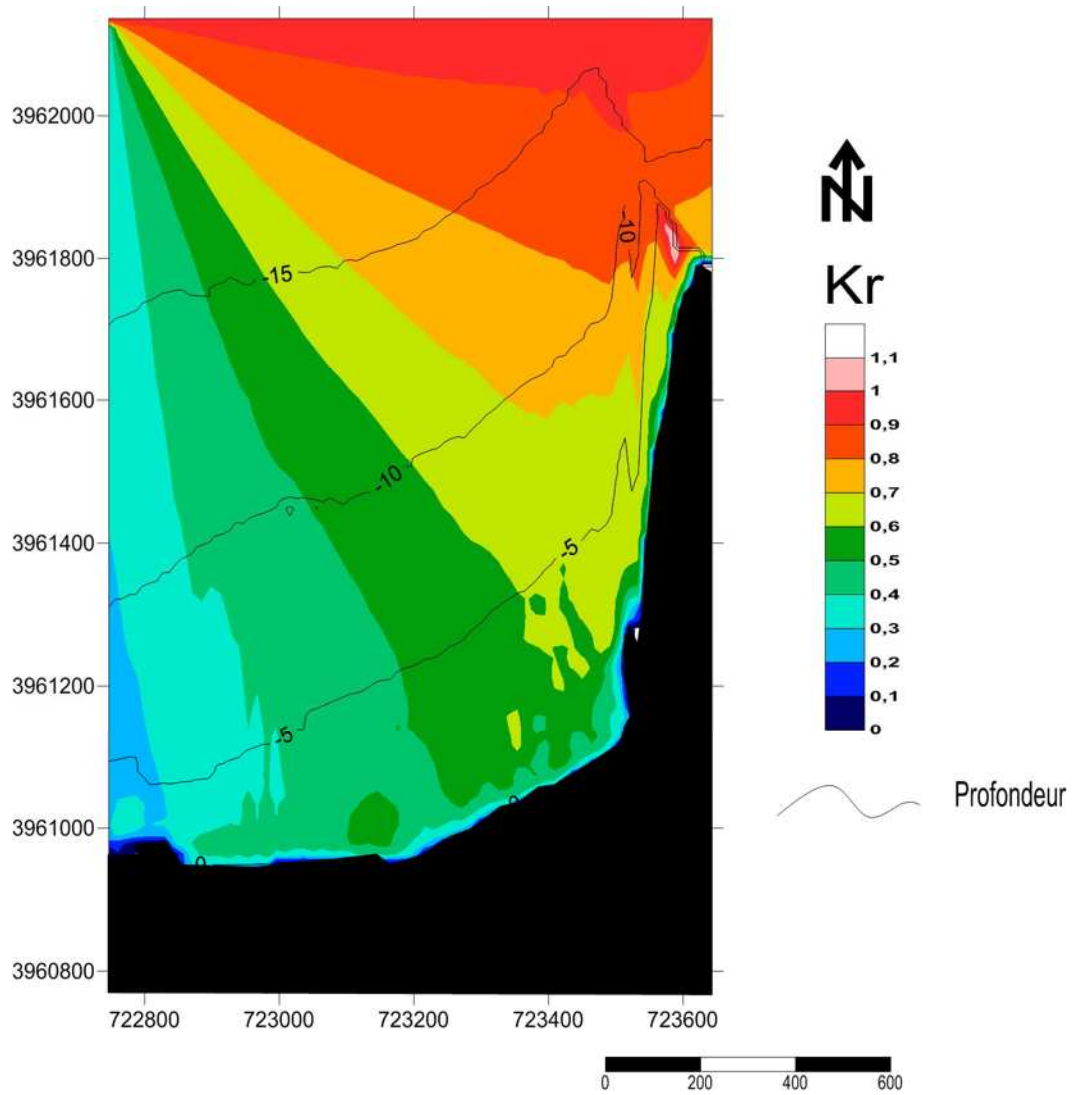
**Figure 04** : Cartographie du coefficient de réfraction pour des houles de secteur Nord N360°, d'une période de 6s avec une hauteur significative de 1,07 m (CHAIB. W, 2015)



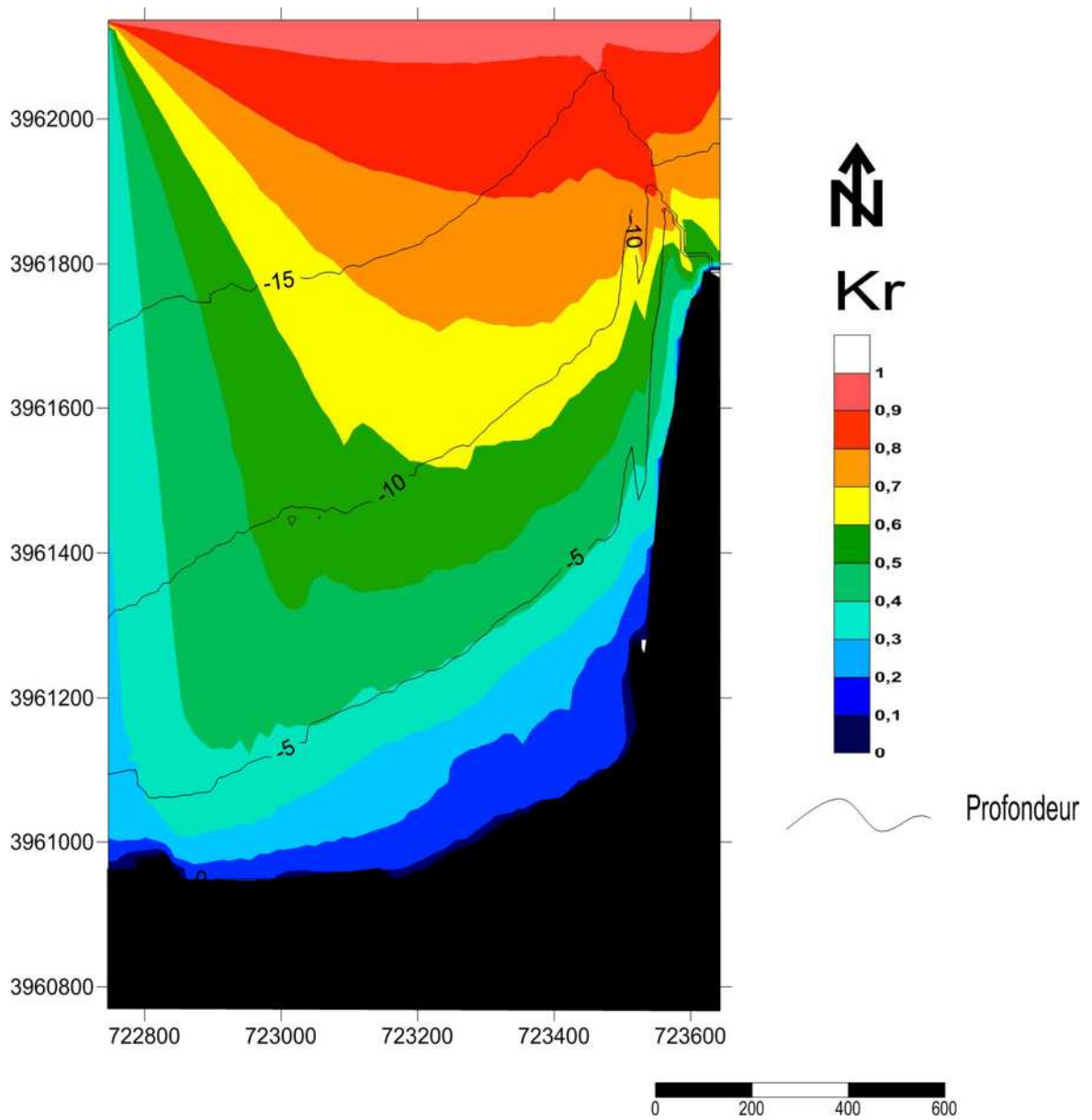
**Figure 05** : Cartographie du coefficient de réfraction pour des houles de secteur Nord N315°, d'une période de 8s avec une hauteur significative de 2,49 m (CHAIB. W, 2015)



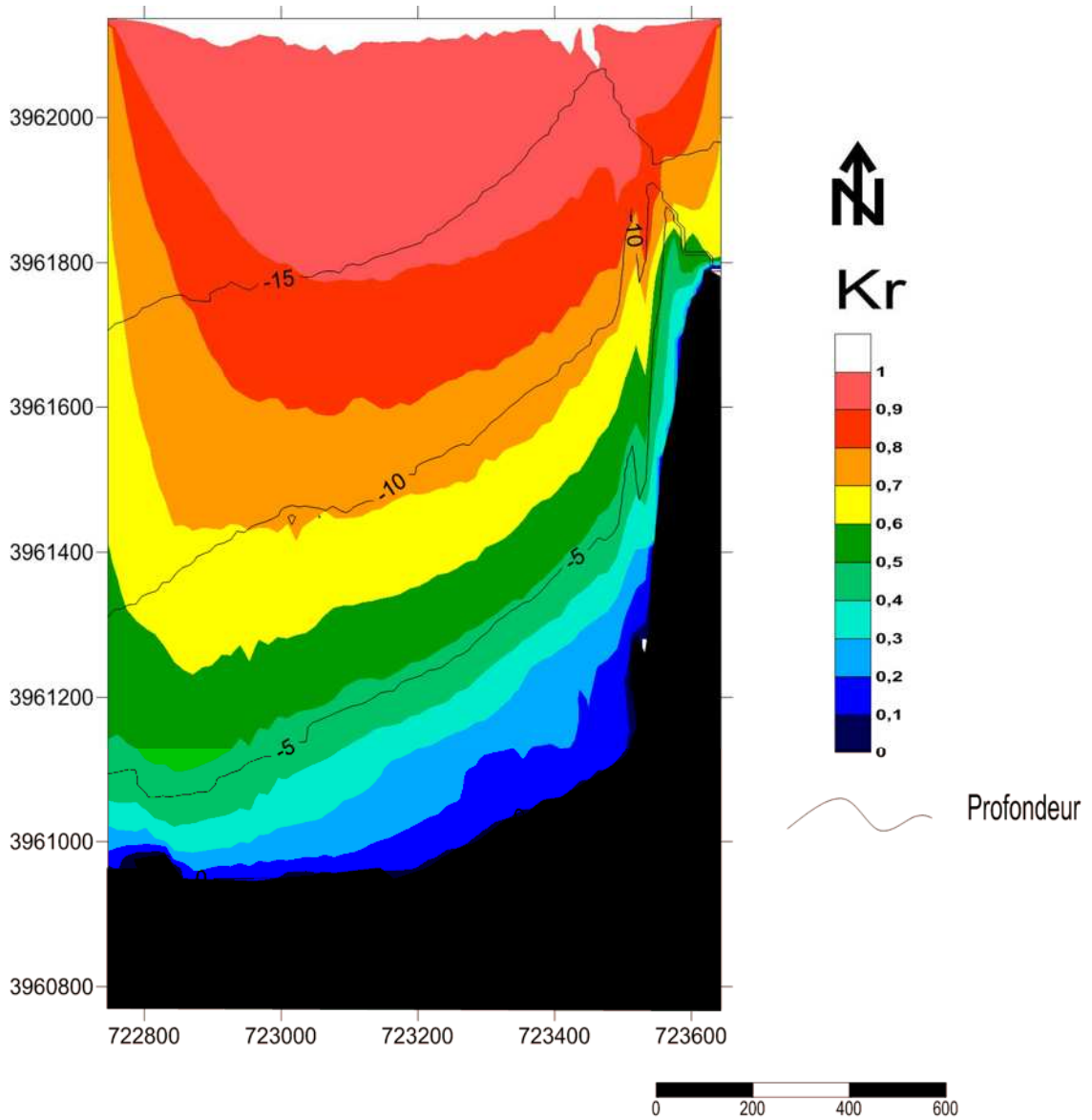
**Figure 06 :** Cartographie du coefficient de réfraction pour des houles de secteur Nord N315°, d'une période de 10s avec une hauteur significative de 4,53 m (CHAIB. W, 2015)



**Figure 09** : cartographie du coefficient de réfraction pour les houles annuelles du secteur Nord Ouest N315°, d'une période de 6 s avec une hauteur significative de 1,11 m (CHAIB. W, 2015)



**Figure 07** : Cartographie du coefficient de réfraction pour les houles vingtenales du secteur Nord Ouest (CHAIB. W, 2015)



**Figure 08** : Cartographie du coefficient de réfraction pour les houles vingtenales du secteur Nord (CHAIB. W, 2015)

## Annexe IV

### **Arrêté du 9 octobre 2014 portant prescription d'établissement de plans d'aménagement touristique des zones d'expansion et sites touristiques de Aïn Franine et Marsat El Hadjadj (wilaya d'Oran).**

La ministre du tourisme et de l'artisanat,

- Vu le décret n° 88-232 du 5 novembre 1988, modifié, portant déclaration des zones d'expansion touristique ;
- Vu le décret présidentiel n° 14-154 du 5 Rajab 1435 correspondant au 5 mai 2014 portant nomination des membres du Gouvernement ;
- Vu le décret exécutif n° 07-86 du 21 Safar 1428 correspondant au 11 mars 2007 fixant les modalités d'établissement du plan d'aménagement touristique des zones d'expansion et sites touristiques, notamment ses articles 5 et 6 ;
- Considérant les résultats d'études d'aménagement touristique réalisées lors de la délimitation et de la déclaration de zones d'expansion et sites touristiques ;

Arrête :

**Article 1<sup>er</sup>.** — Conformément aux dispositions des articles 5 et 6 du décret exécutif n° 07-86 du 21 Safar 1428 correspondant au 11 mars 2007, susvisé, il est prescrit l'établissement des plans d'aménagement touristique des zones d'expansion et sites touristiques, cités ci-après :

- — **Aïn Franine**, commune de Bir El Djir, wilaya d'Oran ;
- — **Marsat El Hadjadj**, commune de Marsat El Hadjadj, wilaya de d'Oran.

**Art. 2.** — Les orientations d'aménagement, la liste des équipements d'intérêt public et les infrastructures de base, ainsi que la configuration, l'objet et le contenu du plan d'aménagement touristique de chacune des zones d'expansion et sites touristiques citées à l'article 1<sup>er</sup> ci-dessus, sont précisés dans le rapport joint à l'original du présent arrêté.

**Art. 3.** — Le présent arrêté est transmis au wali concerné qui doit saisir le président de l'assemblée populaire de la wilaya et le président de l'assemblée populaire communale concernée à l'effet de procéder à son affichage pendant un (1) mois au siège des communes concernées.

**Art. 4.** — Le directeur du tourisme de wilaya sous l'autorité du wali et en concertation avec le directeur général de l'agence nationale de développement du tourisme doit confier l'élaboration du plan d'aménagement touristique à un bureau d'études dûment agréé et qualifié en matière d'aménagement touristique, et doit tenir informés le ministre chargé du tourisme et le wali territorialement compétent.

**Art. 5.** — Outre les administrations publiques, les services déconcentrés de l'Etat et les organismes et services publics, cités à l'article 9 du décret exécutif n° 07-86 du 21 Safar 1428 correspondant au 11 mars 2007, susvisé, sont consultées les associations, chambres et organisations professionnelles activant dans le domaine du tourisme au niveau de la wilaya concernée.

**Art. 6.** — Conformément aux dispositions de l'article 17 du décret exécutif n° 07-86 du 21 Safar 1428 correspondant au 11 mars 2007, susvisé, le plan d'aménagement touristique des zones d'expansion et sites touristiques sera élaboré en trois (3) phases et ce, dans un délai de douze (12) mois :

**Phase 1 :** Diagnostic et élaboration de variantes d'aménagement, le délai de réalisation est de quatre (4) mois ;

**Phase 2 :** Elaboration du plan d'aménagement touristique, dans un délai de quatre (4) mois ;

**Phase 3 :** Dossier d'exécution V.R.D, pour un délai de réalisation de quatre (4) mois.

**Art. 7.** — Le présent arrêté sera publié au Journal officiel de la République algérienne démocratique et populaire.