

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'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME  
DE MASTER EN SCIENCES DE LA MER

Sujet :

Réfraction de la houle sur le littoral de Sidi  
Ghiles par modélisation SWAN

Présenté par :

- **OUABEL Khadidja.**

Soutenu le 23 /10 / 2012 devant le jury suivant :

Mr	SEFIANE.O	Maître assistant	(ENSSMAL)	Président
Mr	BELKESSA.R	Professeur	(ENSSMAL)	Promoteur
Mr	BOUAICHA.F	Maître de conférences	(ENSSMAL)	Examineur
Mr	HELLEL.M	Maître de conférences	(ENSSMAL)	Examineur

Promotion : 2011/2012

## **Remerciements**

*Au terme de ce travail, on remercie notre Bon Dieu le tout puissant pour nous avoir donné la santé, le courage et la volonté, pour réaliser ce modeste travail.*

*A cet effet, je tiens à remercier Monsieur SEFIANE d'avoir accepté de présider le jury de cette soutenance, ainsi que Monsieur BOUAICHA et Monsieur HELLEL de m'avoir honorés de leur présence, et d'avoir acceptés d'examiner ce travail et dont les critiques nous serviront sûrement.*

*Je voudrais également remercier Monsieur BELKESSA, pour avoir accepté, de diriger et de suivre constamment le progrès de ce travail, par ses suggestions et ses critiques constructives, dont la patience et la sympathie m'ont fait aimer le domaine de l'aménagement.*

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

*D'autres remerciements atteignent particulièrement Monsieur BOUKRINA et Monsieur BOUDJELLAL ayant contribué chacun à leurs manières pour le bon déroulement de notre stage.*

*Je tiens à exprimer ma vive gratitude à tous mes enseignants, depuis la première année fondamentale, jusqu'à la cinquième année universitaire. Un grand merci à tous les membres de ma famille pour leur soutien tout au long de cette année, en particulier, mes parents.*

# **SOMMAIRE**

<b>Introduction</b> .....	01
---------------------------	----

**Chapitre I : Généralités**

<b>I.1. La zone d'étude</b> .....	02
I.1.1. Description et situation géographique.....	02
I.1.2. Cadre géologique .....	03
I.1.3. Cadre climatique.....	03
I.1.3.1. Le vent local .....	03
<b>I.2. Introduction à la modélisation</b> .....	04
<b>I.3. Le principe de la modélisation</b> .....	05
<b>I.4. La modélisation des vagues</b> .....	05
I.4.1. Applications possibles.....	06
<b>I.5. Les modèles spectraux d'état de mer</b> .....	06
I.5.1. Modèle de première et deuxième génération.....	07
I.5.2. Modèle de troisième génération.....	07

**Chapitre II : Descriptions et Méthodologie**

<b>II.1. Etude bathymétrique</b> .....	09
II.1.1. travaux sur terrain .....	09
II.1.2. Traitement des observations .....	09
II.1.2.1. Transfert .....	09
II.1.2.2. Calcul des points du semis et sortie du plan bathymétrique .....	09
II.1.2.3. Report des levés .....	09
II.1.2.4. Exploitation des données obtenues .....	10
II.1.3. Description du logiciel .....	10
II.1.3.1. Manipulation sur Surfer .....	10
<b>II.2. Etude de la réfraction de la houle</b> .....	11
II.2.1. Principe .....	14
II.2.2. Données d'entrées .....	15
II.2.2.1. Les données bathymétriques .....	15
II.2.2.2. Les données de houle au large .....	15
II.2.2.3. Choix des directions .....	16
II.2.3. Modélisation numérique par SWAN .....	16
II.2.3.1. SWAN.....	16
II.2.3.1.1. Caractéristiques techniques de modèle SWAN.....	17
II.2.3.1.2. Limites de modèle SWAN.....	18
II.2.3.1.3. Principales variables utilisées.....	20
II.2.3.1.4. Description des fichiers d'entrée (Input Grid).....	20
II.2.3.2. MapInfo Professional V8.0 .....	21

## Sommaire

---

II.2.3.3. Vertical Mapper 3.0 (Vertical Mapper™) .....	21
II.2.3.4. La moulinette Sogreah.....	21
II.2.4. Etapes de la modélisation.....	21

### Chapitre III : Résultats obtenus

<b>III.1. Etude bathymétrique</b> .....	25
III.1.1. La morphologie sous-marine .....	25
<b>III.2. Etude de la réfraction</b> .....	26
III.2.1. Résultats de la réfraction .....	26
III.2.2. Interprétation des résultats .....	32
<b>Conclusion</b> .....	33
<b>Bibliographie</b>	
<b>Annexes</b>	

# **LISTE DES FIGURES**

## Liste des figures

---

<b>Fig N°01 :</b>	Situation géographique du site d'étude (Google Earth, 2009).	02
<b>Fig N°02 :</b>	Rose des vents annuelle de Ténès (ONM, 1995-2004).	04
<b>Fig N°03 :</b>	Caractéristiques de la houle.	11
<b>Fig N°04 :</b>	Réfraction de la houle dans une baie de configuration simple.	12
<b>Fig N°05 :</b>	Réfraction de la houle dans une baie avec un talweg sous-marin.	12
<b>Fig N°06 :</b>	Réfraction et diffraction lorsqu'il y a des îles.	12
<b>Fig N°07 :</b>	Diffraction de la houle en raison d'un épi.	13
<b>Fig N°08 :</b>	Diffraction de la houle au-delà d'un brise lame.	13
<b>Fig N°09 :</b>	Réflexion de la houle sur un mur.	14
<b>Fig N°10 :</b>	Table représentant la digitalisation des lignes.	22
<b>Fig N°11 :</b>	Table représentant la digitalisation des points.	22
<b>Fig N°12 :</b>	Table représentant l'extraction des points à partir des lignes digitalisées.	22
<b>Fig N°13 :</b>	Table des fonds.	22
<b>Fig N°14 :</b>	Table représentant la grille d'interpolation (MNT).	23
<b>Fig N°15 :</b>	Choix du modèle de détail et d'ensemble.	23
<b>Fig N°16 :</b>	La carte bathymétrique en 2D de Sidi Ghiles (Ouabel, 2012).	25
<b>Fig N°17 :</b>	La carte bathymétrique en 3D de Sidi Ghiles « MNT » (Ouabel, 2012).	26
<b>Fig N°18 :</b>	Résultats de la réfraction pour le N360° T=12.17s (Mouhoubi et Ouabel, 2012).	28
<b>Fig N°19 :</b>	Résultats de la réfraction pour le N45° T=11.8s (Mouhoubi et Ouabel, 2012).	28
<b>Fig N°20 :</b>	Résultats de la réfraction pour le N315° T=11.60s (Mouhoubi et Ouabel, 2012).	28
<b>Fig N°21 :</b>	Résultats de la réfraction pour le N360° T=6s (Mouhoubi et Ouabel, 2012).	29
<b>Fig N°22 :</b>	Résultats de la réfraction pour le N360° T=8s (Mouhoubi et Ouabel, 2012).	29
<b>Fig N°23 :</b>	Résultats de la réfraction pour le N360° T=10s (Mouhoubi et Ouabel, 2012).	29
<b>Fig N°24 :</b>	Résultats de la réfraction pour le N45° T=6s (Mouhoubi et Ouabel, 2012).	30
<b>Fig N°25 :</b>	Résultats de la réfraction pour le N45° T=8s (Mouhoubi et Ouabel, 2012).	30
<b>Fig N°26 :</b>	Résultats de la réfraction pour le N45° T=10s (Mouhoubi et Ouabel, 2012).	30
<b>Fig N°27 :</b>	Résultats de la réfraction pour le N315° T=6s (Mouhoubi et Ouabel, 2012).	31
<b>Fig N°28 :</b>	Résultats de la réfraction pour le N315° T=8s (Mouhoubi et Ouabel, 2012).	31
<b>Fig N°29 :</b>	Résultats de la réfraction pour le N315° T=10s (Mouhoubi et Ouabel, 2012).	31

# **LISTE DES TABLEAUX**

## Liste des tableaux

---

<b>Tab N°01 :</b>	Répartition annuelle des vents selon la direction et l'intensité (ONM, 1995-2004).	04
<b>Tab N°02 :</b>	Amplitudes équivalentes au large par direction et par période.	15
<b>Tab N°03 :</b>	Processus pouvant être modélisés par SWAN.	17
<b>Tab N°04 :</b>	Récapitulatif du coefficient de réfraction $K_r$ par période et par profondeur pour le secteur N360°.	27
<b>Tab N°05 :</b>	Récapitulatif du coefficient de réfraction $K_r$ par période et par profondeur pour le secteur N45°.	27
<b>Tab N°06 :</b>	Récapitulatif du coefficient de réfraction $K_r$ par période et par profondeur pour le secteur N315°.	27

# **INTRODUCTION**

## Introduction

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 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.

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 site d'étude est la plage centre de Sidi Ghiles qui s'étend sur 1,5 de Km, connaît depuis quelques années un réel problème d'érosion qui a pour cause notamment les aléas naturels (forçage des houles, changement climatique) et implantation de l'homme sur ce littoral. L'étude qu'on a fait est la modélisation de la réfraction de la houle par le code spectral SWAN qui est un modèle numérique de troisième génération, à différences finies, développé par l'université de Delft (Pays-Bas) (Booij *et al.*, 2004).

L'objet de cette étude est 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.

Ainsi, pour élaborer cette étude, j'ai suivi le plan de travail suivant ; des généralités sur la commune et sur la zone d'étude dans le premier chapitre, descriptions et les méthodes suivies pour les différentes études (bathymétrie, modélisation numérique et physique), dans le second, le troisième chapitre comporte l'interprétation des résultats obtenus dans le deuxième chapitre.

# **CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS**

## Chapitre I : Généralités sur la zone d'étude

### I.1. La zone d'étude

#### I.1.1. Description et situation géographique

Sidi Ghiles (anciennement appelée Novi pendant la colonisation française), est une commune de la wilaya de Tipaza, fondée par le décret du 19 Septembre 1848 créant 42 colonies agricoles en Algérie.

Elle s'étend sur une superficie de 3715 Ha dans la partie Ouest de Tipaza. Elle est située à une distance d'environ 130 km d'Alger, de 7,5 km de Cherchell et de 30 km de Tipaza. Cette partie du littoral Cherchellois est, en effet, délimitée à l'Est par la commune de Cherchell, à l'Ouest par la commune de Hadjret Ennous, au Sud par la commune de Sidi Semiane et au Nord par la mer Méditerranéenne. Elle s'allonge sur une côte de 1,5 Km dont le rivage est orienté Sud Est-Nord Ouest, et ses coordonnées Lambert sont :

- Longitude Est  $2^{\circ} 07'39.36''$  et  $2^{\circ} 06'47.52''$ .
- Latitude Nord  $36^{\circ} 35'12.44''$  et  $36^{\circ}35'5.22''$ .



Fig N°01 : Situation géographique du site d'étude (Google Earth 2009).

La plage centre de Sidi Ghiles représente notre zone d'étude, qui connaît actuellement une érosion très importante, c'est une bande littorale d'un linéaire de 300 m. Les habitants de cette commune

sont très simples et modestes, ils vivent essentiellement des revenus de l'agriculture et de l'artisanat, ainsi que des quelques commerces traditionnels, ou aussi de la location d'une partie de leur maison pour les estivants en été.

### **I.1.2. Cadre géologique**

Le littoral de Sidi Ghiles est caractérisé par un mélange entre accumulation sableuse au centre et des formations rocheuses à l'Est et à l'Ouest. Il s'étale sur une largeur de 1,6 km de longueur et une largeur variable entre 10 et 50 m, elle peut atteindre 65 m et ceci est observé dans la portion étudiée.

A partir de la carte géologique de l'Algérie (2<sup>ème</sup> édition), à l'échelle 1/500000, on a reporté les formations locales rencontrées au niveau du site d'étude et ses alentours (Annexe I).

A l'Ouest, les dépôts actuels (récents) sont constitués essentiellement de calcaire, grès et argile observables sur toute la zone d'étude, qui résultent du miocène supérieur marin, ainsi que des roches ignées granitiques vers l'arrière-pays, qui apparaissent sous formes de formations rocheuses. A l'Est, des faciès marins normaux sont bien apparents du crétacé inférieur.

### **I.1.3. Cadre climatique**

L'étude climatique porte sur l'analyse des températures, des précipitations et des vents au large, chacun de ces facteurs a un rôle déterminant l'évolution du bassin versant, donc des apports liquides et solides alimentant les plages, mais aussi influençant directement les régimes hydrodynamiques régnant sur la zone d'étude.

Sidi Ghiles se situe sur le 36<sup>ème</sup> parallèle Nord et appartient au domaine méditerranéen sub-humide. Les précipitations y sont encore assez élevées sans créer une humidité comparable à celle du domaine humide. Cette légère tendance à la sécheresse suffit à déterminer des changements dans la couverture pédologique et végétale.

Station : Ténès

Altitude : 17 m - Latitude : 36°30 N - Longitude : 01°20 E

Pour les données au large, elles sont fournies par U.S Naval Weather Command pour la période de 1963 à 1970.

On s'intéresse au vent local pour étudier la hauteur significative de la houle au large.

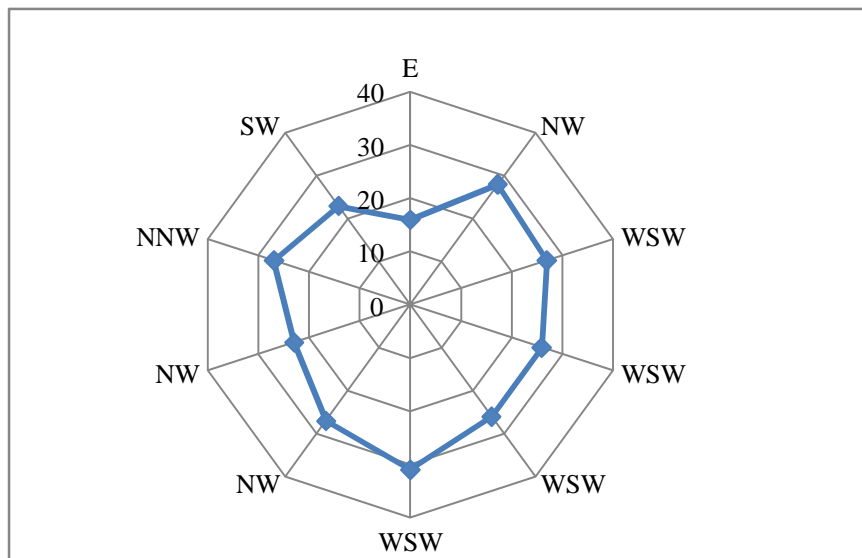
#### **I.1.3.1. Le vent local**

L'action du vent sur la surface de l'eau génère les vagues; sur la plage il déplace les particules pour les déposer ailleurs. Les mesures effectuées par la station de Ténès, une fois traitées nous donnent le tableau suivant (voir Tab N°01) :

**Tab N°01** : Répartition annuelle des vents selon la direction et l'intensité (ONM, 1995-2004)

Années :	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Direction :	N90°	N300°	N260°	N260°	N260°	N260°	N300°	N300°	N340°	N140°
Intensité (m/s)	16	28	27	26	26	31	27	23	27	23

Ces résultats portés sur un diagramme sont représentés dans le diagramme suivant (voir Fig N°02) :

**Fig N°02** : Rose des vents annuelle de Ténès (ONM, 1995-2004).

On remarque que les vents les plus dominants sont de direction Ouest-Sud-Ouest et Nord-Ouest (WSW = N260° et NW = N300°) avec des intensités dépassant les 30 m/s surtout en l'an 2000, en 2004 les vents Sud-Est sont apparents avec une vitesse de 23 m/s.

## I.2. 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 (OQLF (*Office Québécois de la langue française*), 2005).

La modélisation est une représentation virtuelle de phénomènes réels à partir d'algorithmes et de 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.3. Le 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 événements subis.

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

### **A quoi sert la modélisation ?**

Schématiquement, la modélisation peut avoir trois objectifs :

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

Selon que l'on souhaite parvenir à l'un ou l'autre de ces objectifs, la modélisation sera réalisée selon des modalités différentes. Particulièrement utilisée dans les différents métiers de l'environnement, la modélisation permet de :

- Prédire les performances des ouvrages avant construction ou réhabilitation ;
- Réduire le nombre, la durée et les coûts des essais expérimentaux ;
- Réduire les coûts de construction et d'exploitation des procédés.

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

### **I.4. La modélisation des vagues**

Les principales forces qui entrent en jeux lors du dimensionnement d'un ouvrage maritime sont celles causées par les vagues, les glaces, les pressions des sols et les forces d'impact. La première étape devrait permettre d'obtenir le maximum d'information sur les conditions de houle au large. Les conditions de vagues aux larges sont soit issues d'observations ou déduire des mesures de vent disponible. Lorsque ces ondes se propagent vers la côte, elles sont sujettes à une atténuation suite à des effets de profondeur et de frottement ainsi qu'aux phénomènes de réfraction, de diffraction et de

réflexion. De plus, lors du dimensionnement d'une structure, il faut considérer la condition limite donnée par le déferlement des vagues. Etablir une évaluation scientifique de l'énergie (force), de l'intensité et de la fréquence d'occurrence des vagues à un site donné est un aspect critique dans la majorité des projets.

Sans négliger pour autant la pertinence des enregistrements de houle et des méthodes d'analyse et de prédiction, la modélisation mathématique représente un excellent moyen de limiter le nombre d'observation et de réduire le coût des études d'impact environnementales. Les modèles mathématiques permettent de reproduire le vent et les processus de génération des vagues en un site donné. 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.

#### 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, qui résolvent l'équation d'évolution du spectre d'énergie des vagues (1), sont couramment utilisés pour la prédiction des états de mer car ils permettent de s'affranchir des détails du mouvement des vagues.

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

Trois générations de modèles de vagues se sont succédé, s'appuyant sur des connaissances physiques de plus en plus importantes et sur l'accroissement des capacités informatiques.

### I.5.1. 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 ou paramétrisées très sommairement. Ces modèles sont appelés « modèle de 1<sup>ère</sup> génération (1G) » (cf. SWAMP Group, 1985).

Dans les années 1970, des mesures plus précises, avec notamment le projet JONSWAP (Hasselmann *et al.*, 1973), 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 mer.

Les modèles de 2<sup>ème</sup> génération (2G) apparaissent alors, prenant en compte les premières paramétrisations des interactions non-linéaires vague-vague (e.g. Barnett, 1968 ; Ewing, 1971 ; Hasselmann *et al.*, 1976) et comprenant un couplage entre les différentes composantes spectrales. Ces paramétrisations souffrent de certaines limitations ; en particulier elles sont conçues pour des cas idéalisés et ne permettent pas de reproduire les observations dans des situations complexes.

### I.5.2. Modèle de troisième génération

Le développement de la méthode de calcul des interactions non-linéaires DIA (Hasselmann *et al.*, 1985) a marqué le début des modèles de 3<sup>ème</sup> 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 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 3<sup>ème</sup> génération (3G) 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).

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 3<sup>ème</sup> génération conçu spécialement pour les applications côtières, incluant les effets de déferlement bathymétrique et les interactions non-linéaires entre triplets de fréquences.

Depuis les travaux de Serdrup et Munk (1947) et les premiers modèles de prévision des vagues dans les années 1950 et 1960 (Gelci *et al.*, 1975), 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 forçage météorologiques instationnaires, éventuellement dans des conditions hydrodynamiques (niveau moyen de mer et courants ambiants) instationnaires. 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.

Le modèle spectral de propagation des états de mer SWAN (acronyme de Simulating Waves Nearshore) est développé au sein du Delft, 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. Il résout l'équation de transport de l'énergie (ou de l'action d'onde, en présence de courant). 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.

Donc 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.

**CHAPITRE II :**  
**DESCRIPTIONS ET**  
**MÉTHODOLOGIE**

## **Chapitre II : Descriptions et Méthodologie**

La réfraction de la houle consiste à faire une étude bathymétrique.

### **II.1. Etude bathymétrique**

Les fonds marins constituent généralement le prolongement naturel des structures terrestres, il y a souvent donc une relation étroite entre la géomorphologie du littoral et la topographie générale des fonds.

Conformément au marché d'étude le département reconnaissance sur site du LEM a effectué un levé bathymétrique du site. La délimitation de la zone à lever a été faite antérieurement lors d'une visite du Chef de projet accompagné du sous-directeur des infrastructures maritimes de la wilaya de Tipaza.

L'analyse bathymétrique sur la base des cartes établies à partir des points de sondes relevés sur terrain (résultats de la campagne bathymétrique) ainsi que l'analyse de quelques profils rendant compte de la morphologie sous-marine sont développées ci-après.

#### **II.1.1. Travaux sur terrain**

Les travaux ont consisté en un levé bathymétrique de la zone d'étude, exécutés suivant des profils parallèles réalisés avec un maillage de 500 × 1000 mètres et ceci sur 3974 stations dans le cadre de l'élaboration de la carte sédimentaire de la wilaya de Tipaza. Ce levé bathymétrique servira entre autre de bathymétrie d'approche entre 0 et -20 m à l'étude de réfraction.

#### **II.1.2. Traitement des observations**

##### **II.1.2.1. Transfert**

Le dépouillement des observations est entièrement informatisé grâce à l'utilisation de la station totale de marque « LEICA » d'interface de transfert, des logiciels « GMSTED sous Windows ». Après enregistrement des observations sur la mémoire interne de l'appareil, le transfert est lancé à travers un câble « RS232 » vers l'ordinateur en utilisant le logiciel « GMSTED ».

A l'aide du logiciel « Topocad », le changement des observations issues du transfert est effectué dans une base de données TXT. Ainsi l'ensemble des conventions de format utilisé par la station LEICA, lié à la nature des mesures (angle vertical, angle horizontal, distance....etc.) est décodé.

##### **II.1.2.2. Calcul des points du semis et sortie du plan bathymétrique**

A l'aide du module de calcul topo métrique, le canevas et le semi de points sont calculés automatiquement. Toutes les coordonnées altimétriques sont rattachées au ZH. Le fichier définitif est ensuite utilisé par le module « D.A.O » pour la sortie du plan à l'échelle voulue.

##### **II.1.2.3. Report des levés**

La plan est élaboré à l'aide du logiciel « Topocad ».

Le report totalement automatisé est réalisé à l'aide des modules suivants :

- Le module « D.A.O » pour tout ce qui est de la rédaction des plans.
- Le module « modèle de surface » pour générer le « M.N.T » (Modèle Numérique du Terrain).
- Le module « courbe de niveau » pour la représentation en plan des isobathes.

#### II.1.2.4. Exploitation des données obtenues

Les résultats obtenus par les levés bathymétriques et topographiques sont exploités dans l'élaboration des cartes bathymétriques en 2D ou en 3D ainsi que des profils de la plage (arrière-plage et plage sous-marine), ceci à l'aide du logiciel Surfer 10.

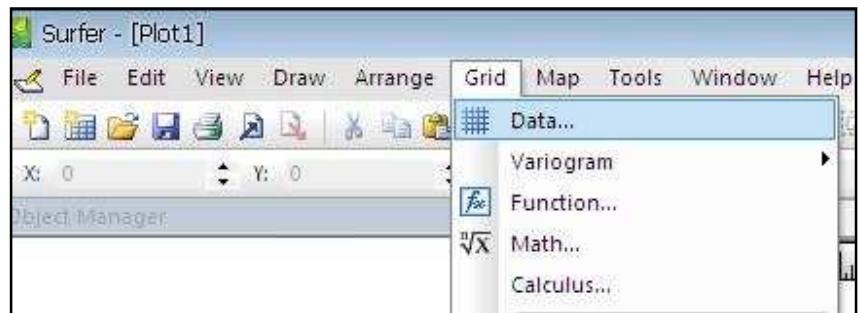
#### II.1.3. Description du logiciel

Le logiciel Surfer 10, conçu par Golden Software, permet de réaliser des modèles numériques de terrain (MNT) issus des données récoltées sur le terrain via GPS, théodolite.... Le principe de Surfer est le suivant : le logiciel crée des grilles qui interpolent les données irrégulières des points (x, y, z) afin de les ordonner. C'est à partir de ces grilles que l'on pourra obtenir plusieurs types de cartes : Base Map, Contour Map, 3D surface, Vector et bien d'autres.

##### II.1.3.1. Manipulation sur Surfer

- 1- Préparer les données bathymétriques et topographiques dans une feuille d'Excel (respecter valeurs négatives pour la bathymétrie et positives pour la topographie, ainsi que le format mettre des virgules non pas des points et surtout mettre le fichier au format Excel 2003 pour éviter les problèmes de compatibilité entre les différentes versions de Surfer 8, 9 et 10).

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



- 3- Une fois la grille est créée, aller dans « Toolbar Options »



- 4- Maintenant pour obtenir les cartes d'isobathes en 2D cliquer sur l'icône n°1 et parcourir la grille obtenue en 2 et pour les cartes bathymétriques en 3D cliquer sur l'icône n°3. Enfin pour localiser les stations de mesure, cliquer sur l'icône n°2 et là on doit parcourir le fichier Excel directement et les stations apparaissent.

## II.2. Etude de la réfraction de la houle

La houle est un mouvement oscillatoire des couches superficielles de l'eau du au frottement du vent sur la surface. Par opposition, la houle a été créée par un vent qui n'est pas le vent présent :

- soit qu'elle ait été engendrée ailleurs et qu'elle se soit propagée ;
- soit que le vent générateur ait cessé ou changé de direction.

La houle est caractérisée par :

- Sa longueur d'onde ( $L$ ) qui est la distance horizontale entre deux crêtes ou creux successifs ; elle est de l'ordre de quelques mètres à des centaines de mètres (120 à 150 m en méditerranée).
- Sa hauteur ( $H$ ) : dénivellation maximale entre une crête et un creux successifs. En temps de tempêtes elle est de quelques mètres.
- Son amplitude ( $a$ ) : demi-auteur.
- Sa période ( $T$ ) : temps qui sépare le passage de deux crêtes successives en un point fixe, elle varie de 3 à 20 secondes.
- Sa célérité ( $c$ ) : vitesse moyenne de propagation des crêtes vers la côte, elle est de l'ordre de 5 à 30 m/s.
- Sa cambrure ( $\delta$ ) : rapport du creux total (ou hauteur) à la longueur d'onde.  $\delta = H / L$

Théoriquement, elle ne devrait pas dépasser 14%, mais elle est toujours plus faible, car la houle déferle avant d'atteindre cette valeur.

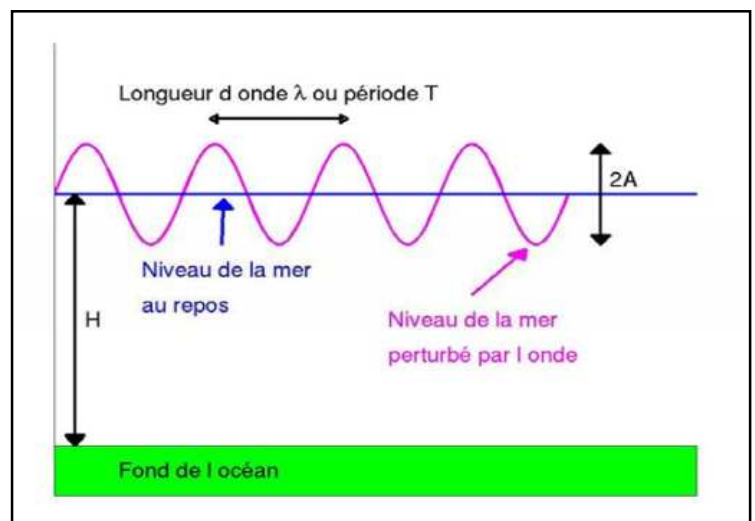


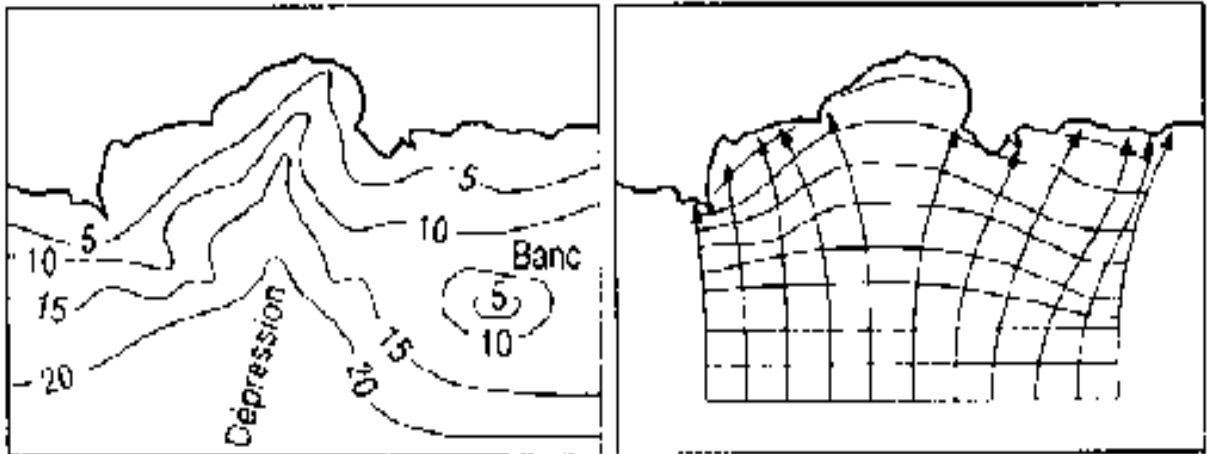
Fig N°03 : Caractéristiques de la houle.

Le fond influence sur les vagues dès que la profondeur =  $1/2$  de la longueur d'onde. Il y a deux types de déformations :

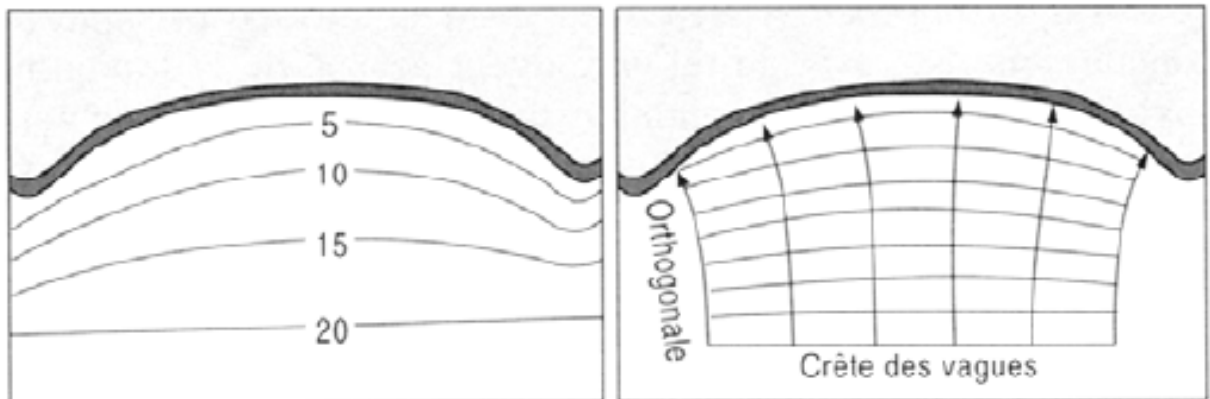
- Celles qui touchent des changements de direction;
- Celles qui sont indépendantes des modifications du sens de propagation.

On nomme changements de direction : la réfraction, la diffraction et la réflexion des vagues. Ce sont aussi des distorsions.

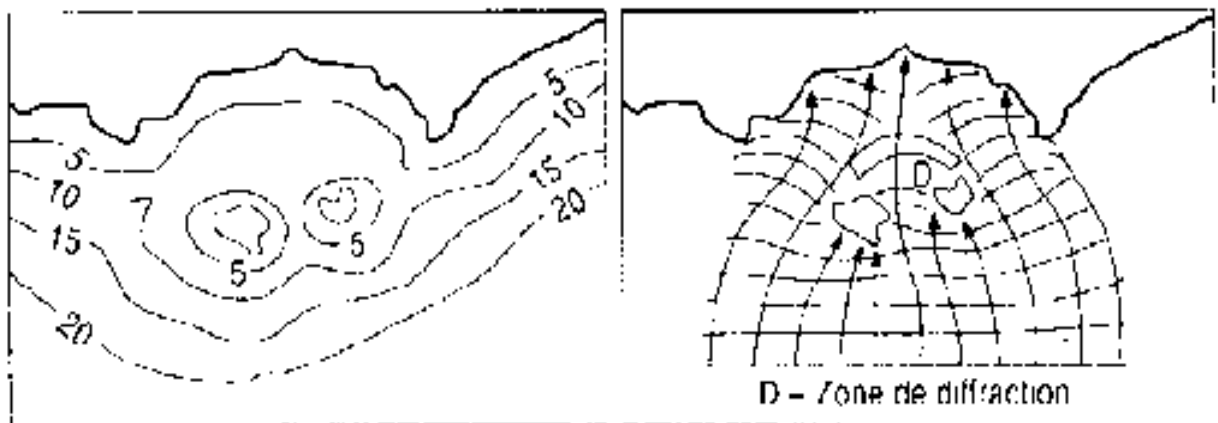
**a- La réfraction :** Lors de sa progression sur des fonds de profondeurs variables, la houle subit une modification de certaines de ses caractéristiques, notamment son amplitude et sa célérité, sa période étant conservée. Cette modification, due à la variation de la profondeur, est connue sous le nom de "réfraction de la houle", et est prédominante surtout loin de la côte. Plus précisément, la réfraction agit de façon à ce que les lignes des crêtes tendent à rétablir le parallélisme avec les lignes de niveau.



**Fig N°04 :** Réfraction de la houle dans une baie de configuration simple.



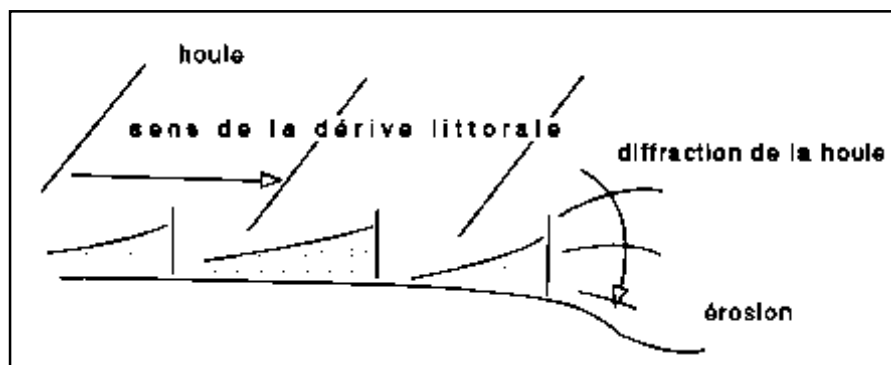
**Fig N°05 :** Réfraction de la houle dans une baie avec un talweg sous-marin.



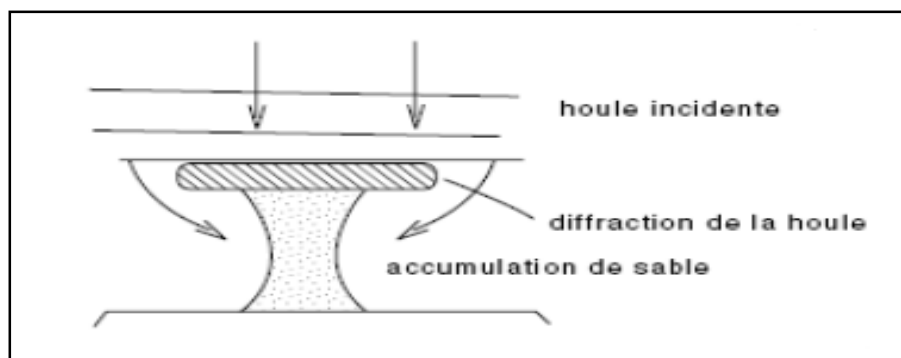
**Fig N°06 :** Réfraction et diffraction lorsqu'il y a des îles.

**b- La diffraction :** Ce phénomène se manifeste par la concentration ou la divergence des lignes de houle lors de l'affrontement d'un cap, d'une baie, d'un épi ou d'un brise lame (voir Fig N°07 et 08), d'une passe ou d'autres géométries rendant non valable l'hypothèse de la propagation de l'énergie selon les normales aux crêtes, admise généralement pour la réfraction.

Ce phénomène est logiquement comparable à celui observé dans le cas des ondes électromagnétiques, comme tous les deux entraînent, entre autres, une augmentation ou une atténuation de la pression locale, selon le cas.



**Fig N°07 :** Diffraction de la houle en raison d'un épi.



**Fig N°08 :** Diffraction de la houle au-delà d'un brise lame.

**c- La réflexion :** La rencontre de deux ondes sinusoïdales de même amplitude se propageant en sens inverse conduit, selon le principe de superposition, à une onde résultante ayant une amplitude double, et à la formation de nœuds stationnaires.

Ceci est valable dans le cas d'une houle monochromatique et diffère peu de ce qu'on obtiendrait quand la houle entre en choc contre un mur vertical par exemple (Fig N°09).

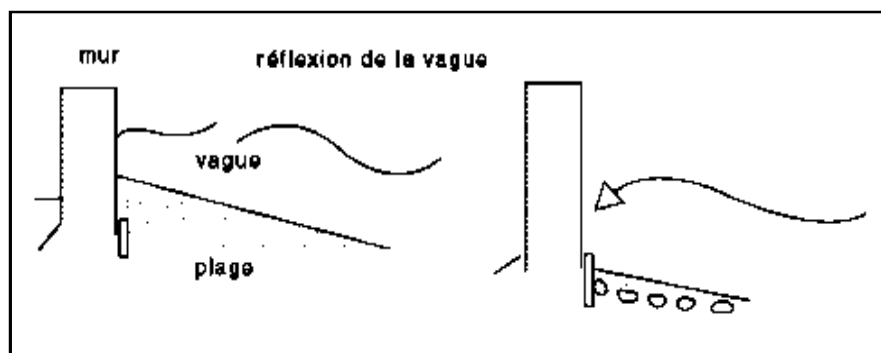


Fig N°09 : Réflexion de la houle sur un mur.

L'objet de cette étude est d'exploiter les résultats de la houle au large pour aboutir aux caractéristiques de la houle sur le site.

### II.2.1. Principe

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 :

$$K_r = H_{s \text{ local}} / H_{s \text{ large}} \quad (3)$$

$K_r$  : Coefficient de réfraction

$H_{s \text{ local}}$  : Hauteur significative locale

$H_{s \text{ large}}$  : Hauteur significative au large

Les calculs de la réfraction de la houle entre le large et la côte ont été effectués par le modèle mathématique SWAN (Simulating WAVes in the Nearshore développé par l'université de DELFT) pour différentes conditions de houle au large (hauteur, période et direction). Le logiciel est capable de modéliser la propagation de la houle en prenant notamment en compte les phénomènes de :

- Réfraction, sur les fonds et autour des ouvrages,
- Déferlement,

Et est donc parfaitement adopté à la problématique du littoral Ouest algérien. Le coefficient de réfraction est calculé par SWAN.

Les résultats sont alors exploités sous deux formes :

- Les épures de réfraction qui montrent qualitativement comment hauteur de houle et direction changent au cours de la propagation de la houle.
- La détermination quantitative des conditions de la houle en quelques points situés sur l'isobathe -10 m, qui permet l'établissement de la statistique locale de la houle à cette profondeur qui sera utilisée pour l'estimation de la capacité de transport par la suite.

La modélisation a été aussi élaborée par une autre méthode dite « manuelle » qui se base sur l'utilisation des abaques classiques qui met en relation la longueur d'onde, la période ainsi que la bathymétrie.

## II.2.2. Données d'entrées

Cette étude a nécessité l'utilisation des données statistiques de houle au large et des données bathymétriques, ceci est valable pour les deux méthodes numérique et manuelle :

### II.2.2.1. Les données bathymétriques

La bathymétrie utilisée pour cette étude est celle issue de la digitalisation de la carte élaborée par l'INC (d'après les levés de 1867-1868 et 1924-1925) intitulée « Mer Méditerranée cote d'Algérie de Kef el Souari à Tipaza -échelle : 1/120000 (Lat 36°37') », ainsi que celle issue de la campagne de reconnaissances sur site réalisée au mois de juillet 2009 par le LEM dans le cadre de l'étude de protection de la plage centre de Sidi Ghiles.

### II.2.2.2. Les données de 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 l'annexe II, sont structurées par mois et les hauteurs de houle par secteur (en foot) ainsi que par période. 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 :

$$y = a \ln(x) + b \quad \text{où :}$$

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

On obtient les résultats récapitulés dans l'annexe II.

Pour conclure on obtient un tableau donnant les hauteurs de houle par période et ceci pour chaque direction (Tab N°02), c'est un tableau récapitulatif qui sera utilisé lors du remplissage des fichiers de calculs.

**Tab N°02 : Amplitudes équivalentes au large par direction et par période**

	T <sub>p</sub> (s)	N360°	N45°	N270°	N315°
Annuelle	6	1	1,09	1,19	1,1
	8	2,67	2,56	2,67	2,64
	10	4,92	5,05	5,54	4,53
Vingtennale	H <sub>s</sub> (m)	6,16	5,79	9,13	5,58
	T <sub>p</sub> (s)	12,17	11,83	14,44	11,60

### II.2.2.3. Choix des directions

Les directions traitées sont choisies en fonction de la configuration physique du site et des fréquences d'apparition (SSMO) ainsi, les trois directions retenues sont :

- Le Nord (N360°) : Une direction approximativement perpendiculaire à la côte pour mesurer les effets d'une houle frontale ;
- Le Nord-Ouest (N315°) et le Nord-Est (N45°) qui sont deux houles à incidence oblique.

### II.2.3. Modélisation numérique par SWAN

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.

Elle se base sur l'utilisation de deux logiciels et de deux outils informatiques à savoir :

- Logiciels : SWAN (Simulating WAVes in the Nearshore développé par l'université de Delft) et MapInfo 8.0
- Outils : Vertical Mapper et la moulinette Sogreah

#### II.2.3.1. SWAN

Le modèle SWAN (Simulating WAVes Nearshore), développé à l'Université de Technologie de Delft (Pays-Bas), permet de calculer 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 (4).

SWAN peut fonctionner en mode stationnaire (données de forçage constantes dans le temps) ou transitoire (données de forçage dépendantes du temps). Il est formulé en coordonnées cartésiennes (domaine de faible emprise) ou sphériques (domaine de grande emprise), le maillage pouvant être rectangulaire ou curviligne.

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

Avec:  $\mathbf{S} = \mathbf{S}_{in} + \mathbf{S}_{nl} + \mathbf{S}_{wc} + \mathbf{S}_{bf} + \mathbf{S}_{dib}$

$N(\sigma\theta)$  : Spectre de densité de l'action de la houle

$\sigma$  : Fréquence relative

$\theta$  : Direction de la houle

$S_{in}$  : 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

$c_x, c_y$  : vitesses de propagation de la houle dans l'espace (x et y)

Les propriétés de SWAN et les phénomènes qu'il peut modéliser sont résumés dans le tableau suivant :

**Tab N°03 : Processus pouvant être modélisés par 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
Densité maillage/longueur d'onde des vagues	Indépendant
Dépendance de la qualité des résultats/densité maillage	Faible
Réfraction	Oui
Diffraction	Oui (depuis déc. 2004)
Réflexion	Oui (ouvrages)
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

### SWAN peut être appliqué à :

- 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.

#### II.2.3.1.1. Caractéristiques techniques de modèle SWAN

SWAN est un modèle non-stationnaire d'ondes de troisième génération et est le successeur de l'arrêt de deuxième génération Hiswa modèle (Holthuijsen *et al.*, 1989). Le modèle HISWA est actuellement 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 physique est assez difficile à cause des formulations hautement paramétrables qui sont utilisés. Ces limitations sont dans une large mesure à surmonter par le nouveau modèle SWAN.

Le modèle non stationnaire SWAN est basé sur l'équation discrète action spectrale équilibre et est entièrement spectrale (dans la plage totale de fréquences d'ondes et sur l'ensemble de 360°). Celle-ci implique que de courte crête champs de vagues aléatoires propageant simultanément dans des directions très différentes peuvent être accueillie. La propagation des ondes est basée sur la théorie des ondes linéaires (y compris l'effet des courants). Les processus de production d'énergie éolienne, la dissipation et l'interaction non linéaire vague-vague sont représentées explicitement avec l'état de l'art de formulation de modèle de troisième génération. Le modèle SWAN peut également être utilisé comme un modèle stationnaire (mode fixe). Ceci est considéré comme acceptable pour la plupart des applications côtières parce que le temps de parcours des ondes de la limite au large de la côte est relativement faible par rapport à l'échelle de temps des variations du champ d'onde entrant, le vent ou la marée.

Pour éviter un temps de calcul excessif et d'obtenir un modèle robuste dans les applications pratiques, les régimes de propagation totalement implicites (dans le temps et dans l'espace) ont été mises en œuvre. Les calculs SWAN peuvent être faits sur une base régulière et une grille curviligne dans un système de coordonnées cartésiennes. Pistes imbriquées peuvent être faites avec l'option grille régulière.

SWAN fournit de nombreuses grandeurs de sortie, y compris deux dimensions spectres, hauteur significative des vagues et de la période moyenne des vagues, la direction moyenne des vagues et étalement directionnel, racine carrée moyenne de l'orbitale près du fond : mouvement induit par les vagues et la force (basé sur le rayonnement de stress gradient). Le modèle SWAN a bien été validé et vérifié au laboratoire et plusieurs cas de terrain (complexe).

Le modèle SWAN a été développé à l'université de Delft (Pays-Bas) et où il subit de nouvelles améliorations. Il est précisé que le nouveau standard pour la modélisation des vagues près des côtes et des études de protection du littoral. Deltares a intégré le modèle SWAN en plusieurs modèles et applique SWAN dans ses projets de conseil.

#### **II.2.3.1.2. Limites de modèle SWAN**

Le rapprochement DIA pour le quadruplet interactions vague-vague dépend de la largeur de la distribution directionnelle de la gamme d'ondes. Il semble fonctionner raisonnablement dans de nombreux cas, mais c'est une mauvaise approximation pour de longue crête des vagues (distribution directionnelle). Elle dépend également de la résolution en fréquence. Il semble fonctionner raisonnablement dans de nombreux cas, mais c'est une mauvaise approximation des résolutions avec des ratios de fréquences très différentes de 10%. Il s'agit d'un problème fondamental que les

actions SWAN avec d'autres modèles de vagues de troisième génération tels que WAM et Wave Watch III.

Le rapprochement LTA pour les triades interactions vague-vague dépend de la largeur de la distribution directionnelle du spectre d'ondes. L'accord présent dans SWAN (les paramètres par défaut) semble fonctionner raisonnablement dans de nombreux cas, mais elle a été obtenue à partir d'observation dans un étroit canal à houle (longue crête des vagues).

En option SWAN calcule induit par les vagues de configuration. Dans le cas de 1D, les calculs sont basés sur les équations exactes. Dans le cas de 2D, les calculs sont basés sur approximatives équations. Cette approximation dans le SWAN peut seulement être appliquée à la côte ouverte (illimité fournir d'eau à l'extérieur du domaine, par exemple les côtes littorales et les estuaires), contrairement au bassin fermé, par exemple : lacs, où cette option ne doit pas être utilisée. Les effets de l'onde de courant induits sont toujours ignorés.

Dans les zones où les variations de la hauteur des vagues sont grandes sans une échelle horizontale de quelques longueurs d'onde, la diffraction devrait être utilisée. Cependant, le calcul de la diffraction dans des conditions arbitraires géophysiques est assez compliqué et nécessite un effort de calcul considérable. Pour éviter cela, une approche progressive est employée dans découplé SWAN sorte que même comportement qualitatif de la redistribution spatiale et les changements dans la direction des vagues est obtenue. Cette approche, cependant, ne gère pas correctement la diffraction dans les ports ou en face de refléter les obstacles.

Néanmoins, ces installations ne sont pas destinées à soutenir l'utilisation de SWAN sur des échelles océaniques parce que SWAN est moins efficace sur des échelles océaniques que Wave Watch III et probablement aussi moins efficace que WAM.

### **Processus pris en compte**

SWAN modélise les processus de propagation suivants :

- ✓ Propagation à travers un espace géographique ;
- ✓ Gonflement de la houle ;
- ✓ Réfraction due à des variations spatiales du fond ou des courants ;
- ✓ Diffraction ;
- ✓ Blocage ou réflexion par des courants de retour ;
- ✓ Transmission à travers des obstacles, blocage ou réflexion à cause de ces obstacles.

SWAN modélise également les processus de génération et de dissipation dus à la houle :

- ✓ Génération par le vent ;
- ✓ Interactions houle – houle (quadruplets et triplets) ;
- ✓ Dissipation par moutonnement ;
- ✓ Dissipation par déferlement dû aux variations de profondeur ou aux courants ;
- ✓ Dissipation par frottement au fond.

SWAN ne doit pas être utilisé sur des domaines où les variations de profondeur sont importantes sur une échelle horizontale de quelques longueurs d'onde comme à proximité immédiate d'obstacles (jetées, brises lames) ou au niveau des ports.

### II.2.3.1.3. Principales variables utilisées

- Les variables que l'on souhaite connaître dans l'étude des vagues sont :
  - La hauteur d'eau
  - La période
  - Leur direction
  - Leur énergie
- SWAN Propose différentes formules pour chacune de ces variables, il convient de choisir les plus judicieuses selon les particularités du cas traité.  
Pour simplifier, on peut distinguer deux grandes familles de formules :
  - a- Celles ne prenant pas en compte la période des vagues telle qu'elle est mesurée en un point fixe du domaine. Cette période ressentie correspond à la période propre de la vague à laquelle s'ajoute un effet Doppler induit par le courant.
  - b- Celles prenant en compte la présence des courants.  
Ici on connaîtra à l'inverse la période des vagues globalement et indépendamment des courants.

### II.2.3.1.4. Description des fichiers d'entrée (Input Grid)

- Programme principal fichier .sw : en dehors de ce programme principal, des fichiers d'entrée (Input Grid) peuvent être ajoutés pour définir les champs des grandeurs variables (bathymétrie, courants, niveau de l'eau, frottement sur le fond marin, vent).  
Ces fichiers doivent donner en chaque point du domaine étudié la valeur de la grandeur variable.  
En dehors de ce domaine, SWAN considère que toutes les variables sont constantes et égales aux valeurs des variables sur les bords du domaine.
- Fichier .loc : contient les coordonnées des points de mesure.
- Fichier .bnd : contient les conditions limites exprimées en fréquences.
- Fichier .bot : contient la bathymétrie.

## Remarque

Ils ont créé pour chaque type de fichier des "canevas" permettant de créer une simulation. Ces fichiers contiennent les principales fonctionnalités utilisées par SWAN, selon la syntaxe utilisée par les développeurs du logiciel.

Toutes les options pouvant être utilisées ne figurent pas dans ces canevas. Ils ont souhaité créer un support facilitant la rédaction d'une première simulation. Pour une étude plus précise, il est possible d'utiliser d'autres fonctionnalités (cf. manuel d'utilisation).

### II.2.3.2. MapInfo Professional V8.0

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.

### II.2.3.3. 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.

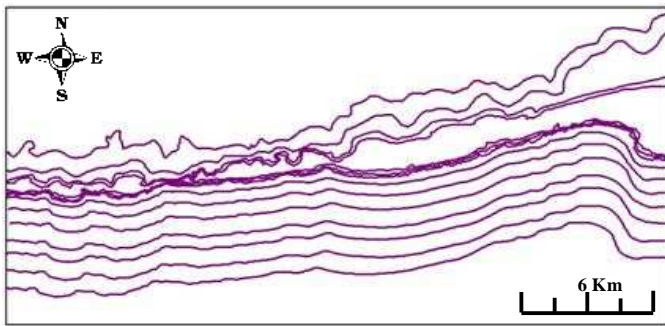
### II.2.3.4. La moulinette Sogreah

Moulinette Sogreah est une sorte de convertisseur permettant la création de fichiers reconnaissables par SWAN.

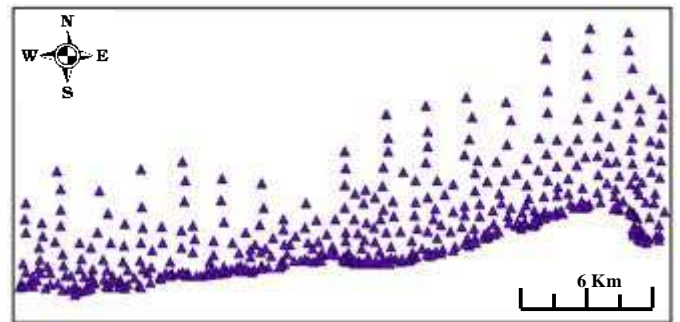
## II.2.4. Etapes de la modélisation

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

2- Digitalisation des points et des lignes de profondeur

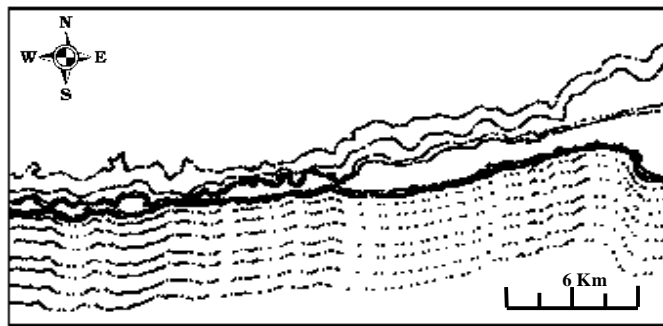


**Fig N°10 :** Table représentant la digitalisation des lignes.



**Fig N°11 :** Table représentant la digitalisation des points.

3- Extraction des points à partir des lignes digitalisées.

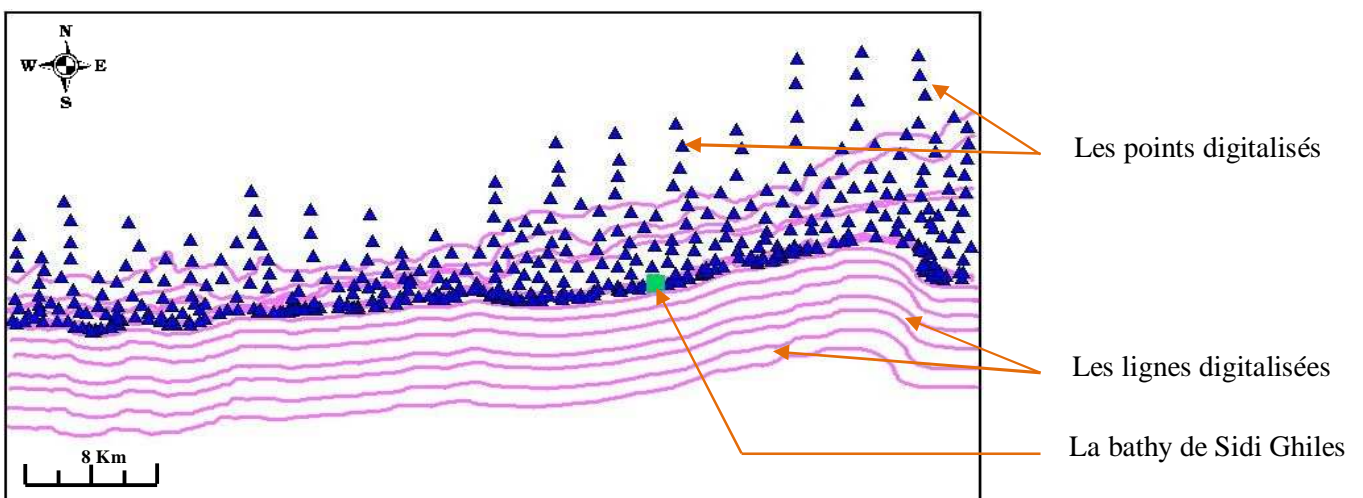


**Fig N°12 :** Table représentant l'extraction des points à partir des lignes digitalisées.

4- Extraction des coordonnées des points existants.

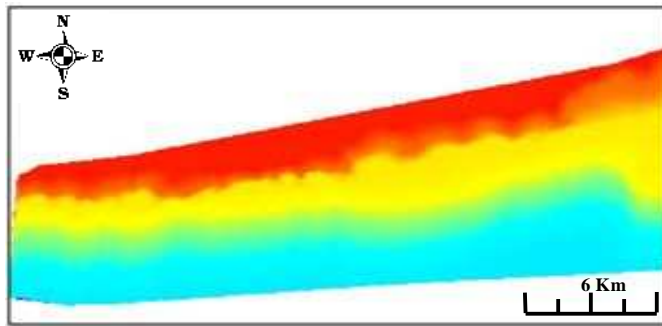
5- Création de la table BathyTerra.

6- Création de la table des Fonds.



**Fig N°13 :** Table des fonds.

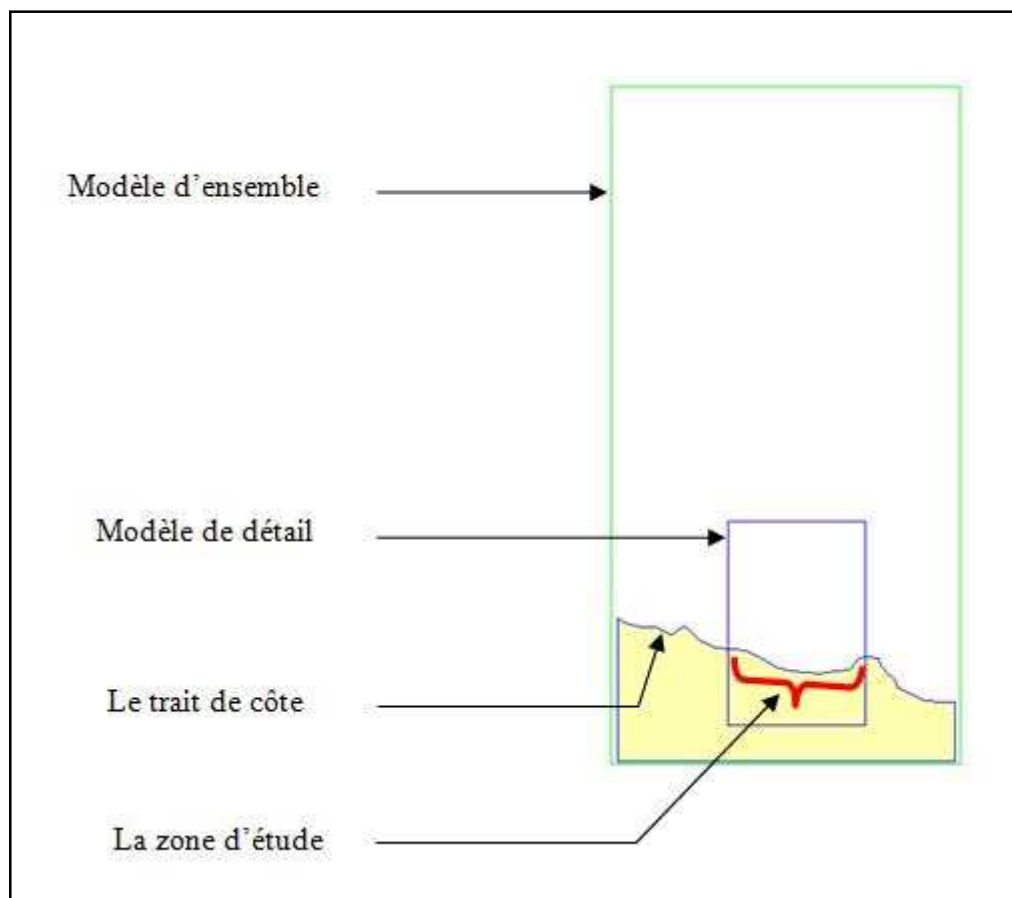
## 7- Création de la grille d'interpolation (MNT).



**Fig N°14 :** Table représentant la grille d'interpolation (MNT).

## 8- Choix de l'emprise du modèle :

- Modèle de Détail
- Modèle d'Ensemble



**Fig N°15 :** Choix du modèle de détail et d'ensemble.

9- Construction des grilles régulières des points :

- La grille du modèle d'ensemble.
- La grille du modèle de détail.

10- Interpolation sur la grille régulière des points du MNT : les grilles régulières des points seront interpolées sur le MNT, pour en extraire les valeurs des profondeurs en chaque point de la grille créée.

11- Exportation des fichiers fonds par la moulinette Sogreah. Pour créer les fichiers Hiswa :

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

13- Regroupement des fichiers nécessaires au calcul dans le dernier calcul :

- ens.SWN
- det.SWN
- points.dat
- goswan
- SWAN\_411.EXE
- SWAN\_411.BOT
- mod.BOT (modèle d'ensemble)
- mod.BOT (modèle de détail)

14- Lancement du calcul et résultat en double cliquant sur goswan, on aura les fichiers résultats :

- ens.PRT }  
- det.PRT } => Il donne le compte rendu du calcul et affiche les erreurs

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

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

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

### Remarque

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

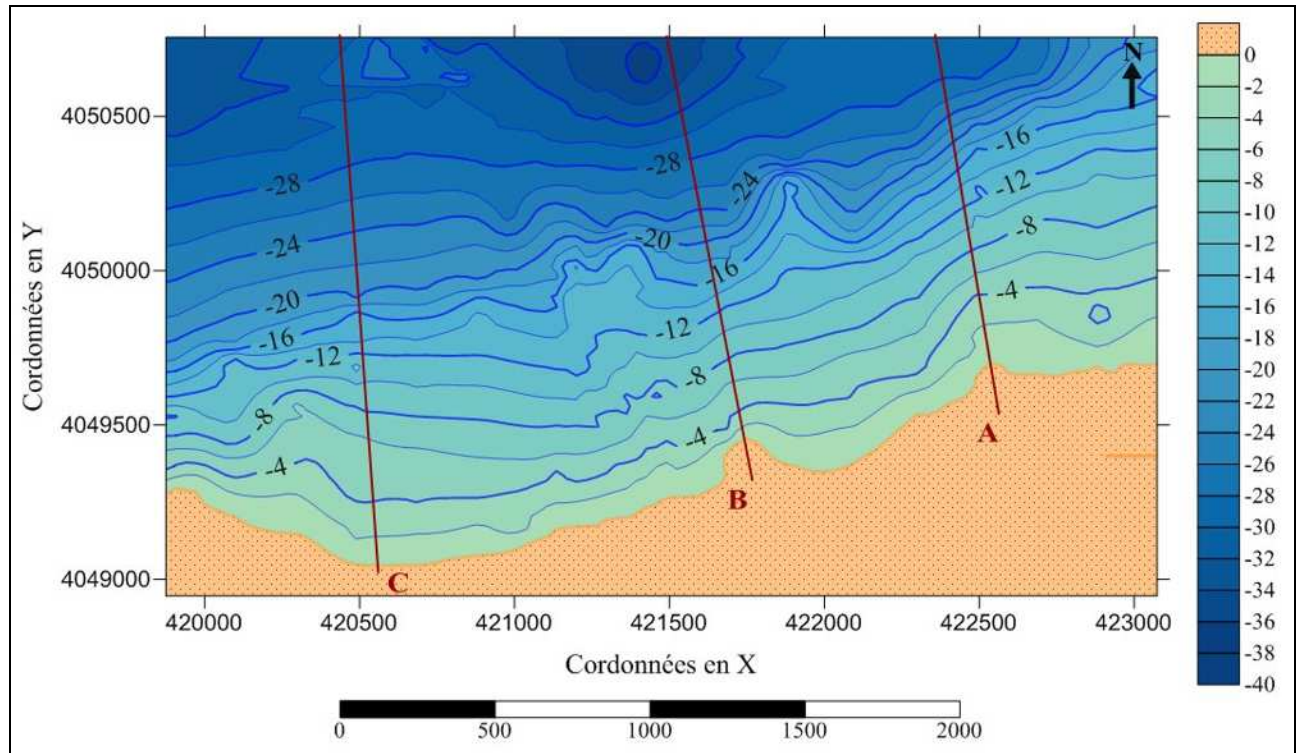
**CHAPITRE III :**  
**RÉSULTATS**  
**OBTENUS PAR SWAN**

## Chapitre III : Résultats Obtenus

### III.1. Etude bathymétrique

#### III.1.1. La morphologie sous-marine

Les résultats des levés bathymétriques nous ont permis d'obtenir la carte suivante Fig N°16 :



**Fig N°16 :** La carte bathymétrique en 2D de Sidi Ghiles (Ouabel, 2012).

La carte bathymétrique montre des isobathes régulières, espacées et présentant des fonds assez réguliers avec une pente moyenne de l'ordre de 2,5 %. Aussi, la distance entre la côte et une profondeur donnée est différente de l'Est vers l'Ouest, l'isobathe -16m est éloigné de 656 m de la côte au niveau du transect C, de 531 m au niveau du transect B alors qu'à l'Est la distance est égale à 812 m dans le transect A. Ceci amplifie énormément l'érosion, puisque la houle en venant du large aura tout le temps de se dissiper à l'Ouest et beaucoup moins au Centre et à l'Est, c'est ce qui explique l'érosion significative observée au niveau du transect B et C, autrement dit au niveau de la plage Centre et Ouest de Sidi Ghiles. Les résultats de la reconnaissance bathymétrique peuvent être aussi exploités sous 3D (Fig N°17) ceci en utilisant Surfer 10.

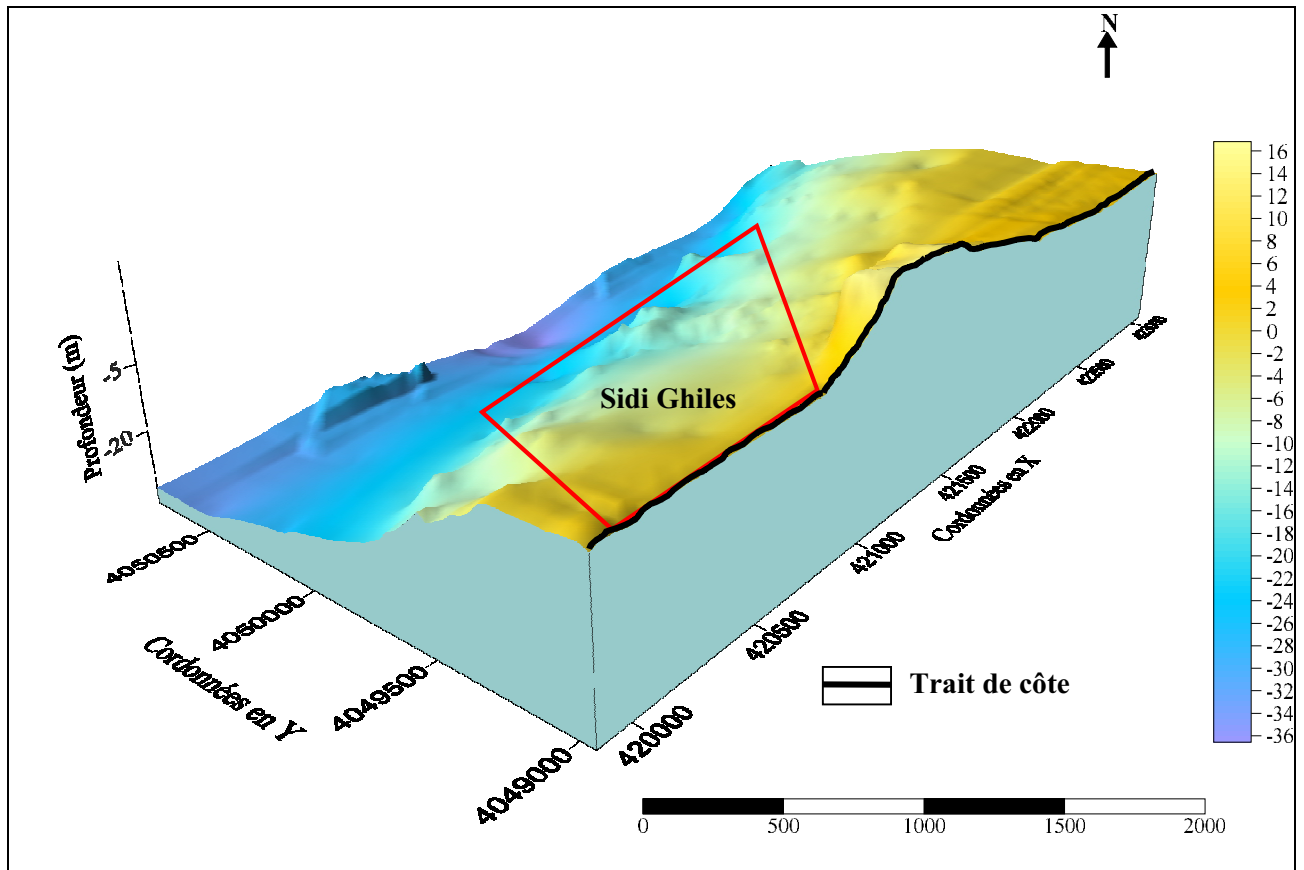


Fig N°17 : La carte bathymétrique en 3D de Sidi Ghiles « MNT » (Ouabel, 2012).

### III.2. Etude de la réfraction

Les résultats de simulation de la réfraction de la houle sont donnés sous format graphiques. Ces résultats se présentent sous formes d'épures. A noter que le paramètre  $H_{m0}$  représente la hauteur de la houle en mètres (Bonnefille, 1992). Les vecteurs représentent de part leurs sens la direction de propagation de la houle, leurs longueurs étant proportionnelles à la hauteur de la houle.

#### III.2.1. Résultats de la réfraction

Pour chaque direction de houle étudiée, il a été produit deux domaines de calcul, le premier dit d'ensemble simule la réfraction à partir des profondeurs de plus de 1000 m, dans mon étude on a utilisé 500 m, le second dit de détail simule les effets de la réfraction à une échelle plus affinée.

Les résultats obtenus sous forme de tableau pour chaque direction et ceci en fonction de la période et de la profondeur des points choisis sont les suivants :

**Tab N°04 :** Récapitulatif du coefficient de réfraction  $K_r$  par période et par profondeur pour le secteur N360°.

Nord 360°				
Prof (m) :	6s	8s	10s	Vingtennale
2,00	0,83	0,31	0,38	0,33
3,00	0,92	0,34	0,49	0,42
4,00	0,92	0,34	0,58	0,50
5,00	0,92	0,35	0,65	0,57
10,00	0,94	0,35	0,91	0,86

**Tab N°05 :** Récapitulatif du coefficient de réfraction  $K_r$  par période et par profondeur pour le secteur N45°.

Nord 45°				
Prof (m) :	6s	8s	10s	Vingtennale
2,00	0,67	0,53	0,36	0,33
3,00	0,74	0,64	0,46	0,42
4,00	0,75	0,69	0,53	0,50
5,00	0,76	0,73	0,60	0,56
10,00	0,83	0,78	0,76	0,76

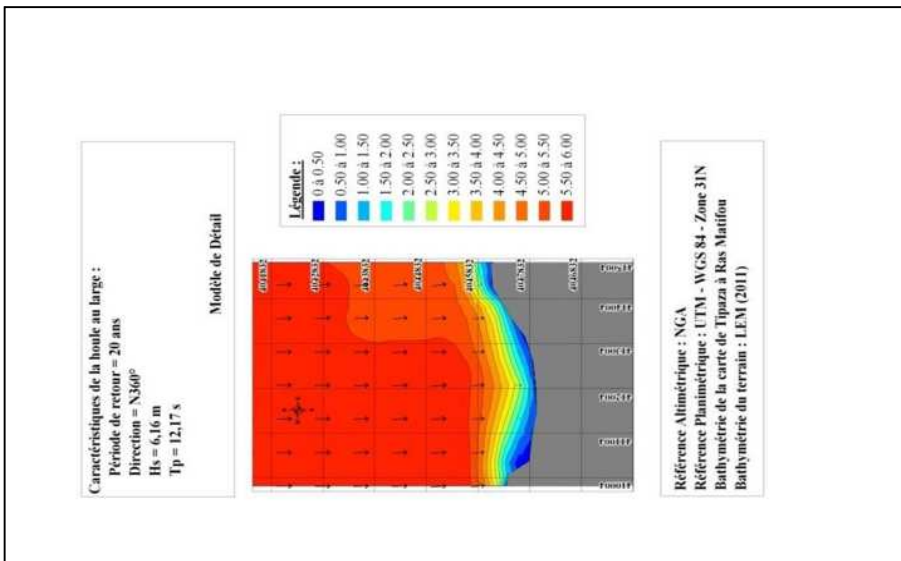
**Tab N°06 :** Récapitulatif du coefficient de réfraction  $K_r$  par période et par profondeur pour le secteur N315°.

Nord 315°				
Prof (m) :	6s	8s	10s	Vingtennale
2,00	0,73	0,55	0,39	0,39
3,00	0,97	0,80	0,60	0,61
4,00	0,68	0,62	0,49	0,50
5,00	0,83	0,80	0,60	0,61
10,00	0,91	0,90	0,90	0,94

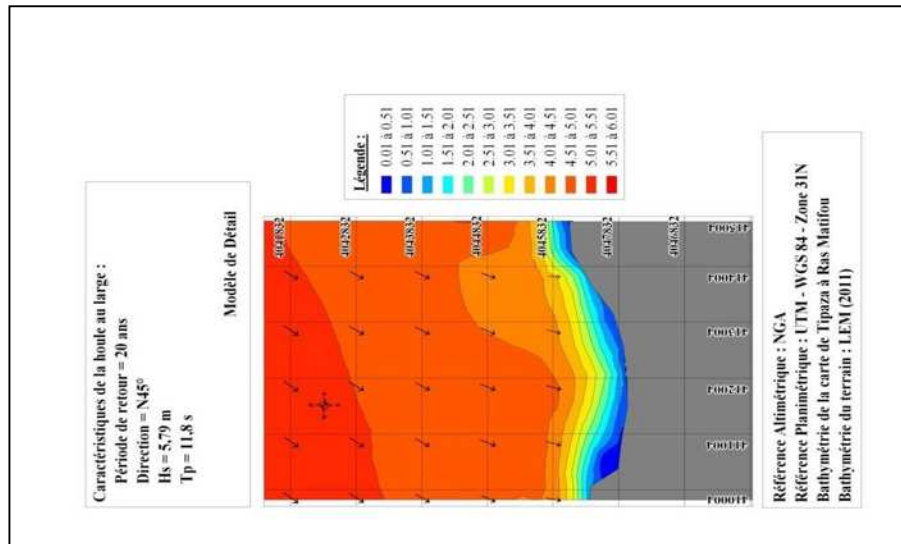
### Remarque

La partie annexe III comporte les résultats de la réfraction (amplitude de la houle, angle d'arrivée et période après réfraction pour les profondeurs choisies), ainsi les résultats du traitement des données du SSMO.

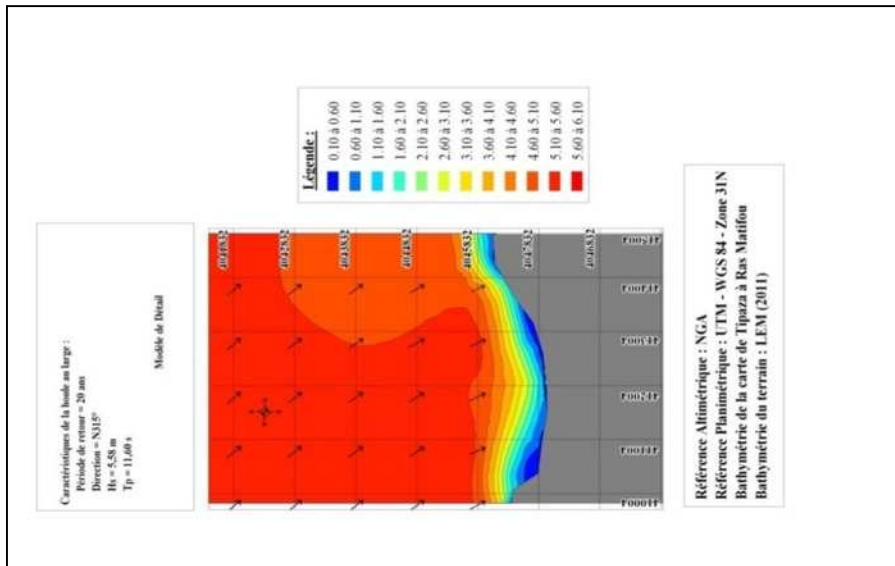
Les résultats sous format d'épures réalisés à l'aide de SWAN du modèle de détail sont les suivants :



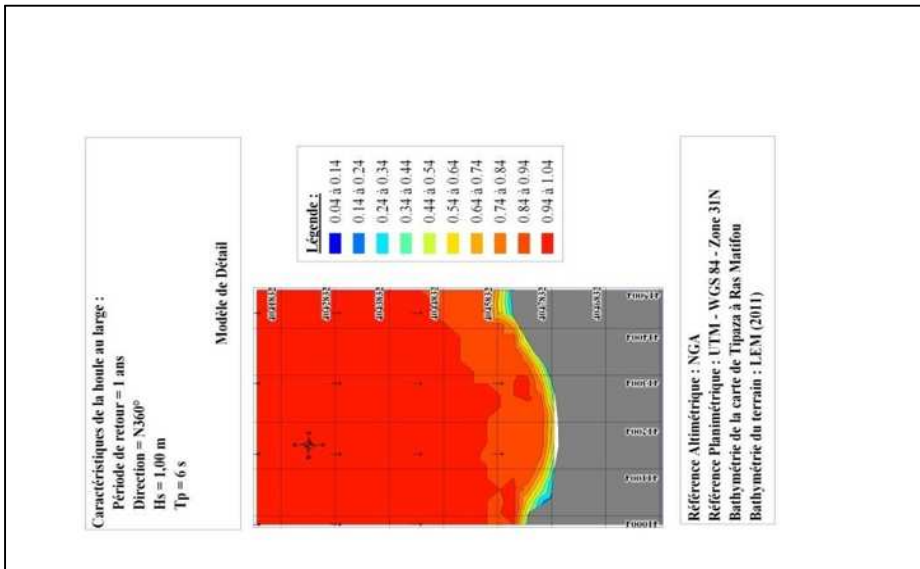
**Fig N°18 :** Résultats de la réfraction pour le N360° T=12.17s (Mouhoubi et Ouabel, 2012).



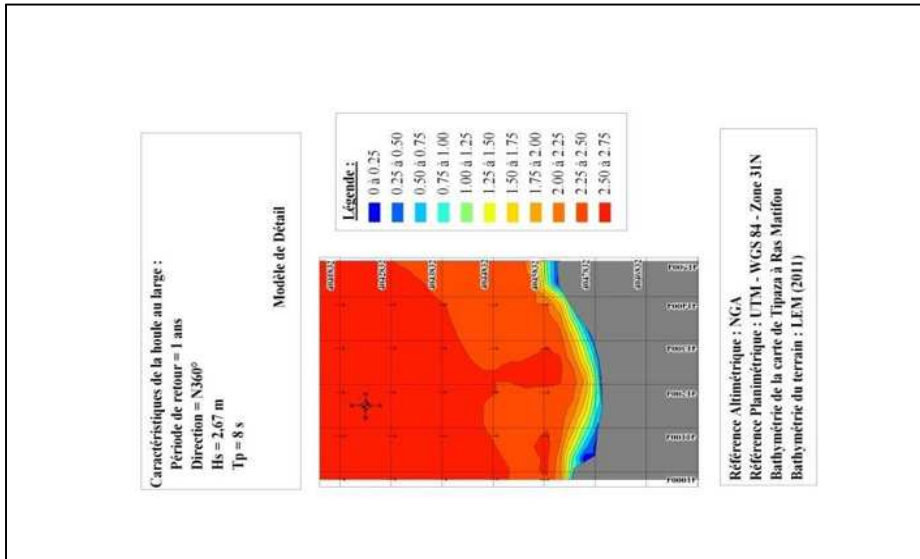
**Fig N°19 :** Résultats de la réfraction pour le N45° T=11.8s (Mouhoubi et Ouabel, 2012).



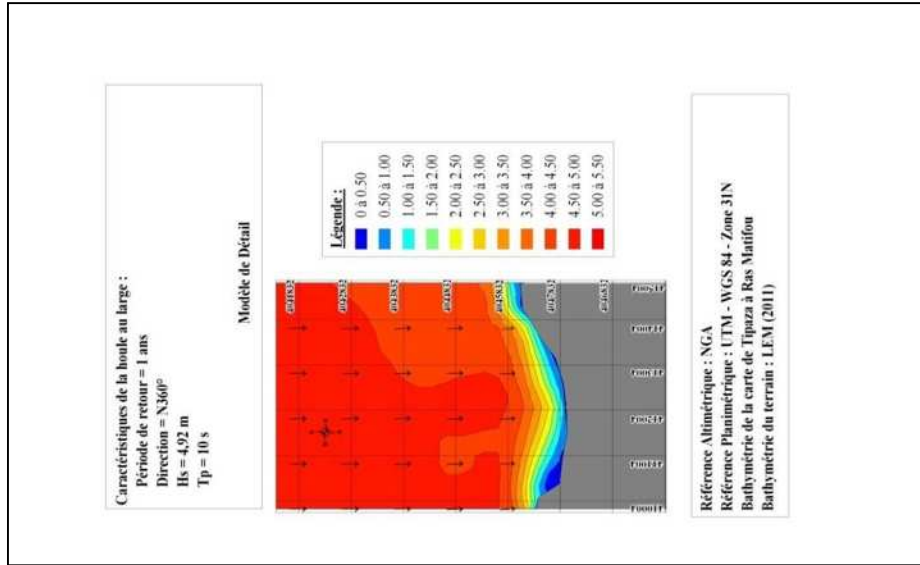
**Fig N°20 :** Résultats de la réfraction pour le N315° T=11.60s (Mouhoubi et Ouabel, 2012).



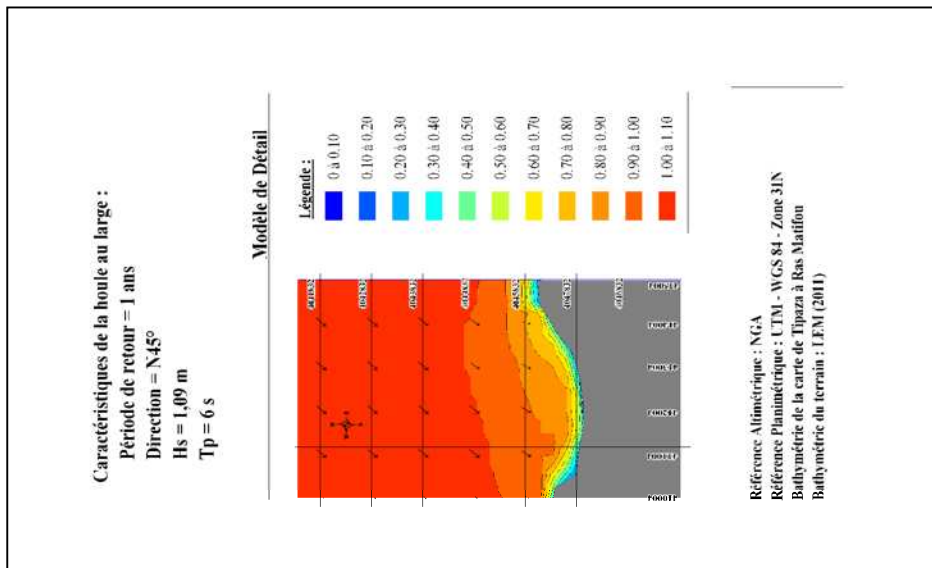
**Fig N°21 :** Résultats de la réfraction pour le N360° T=6s (Mouhoubi et Ouabel, 2012).



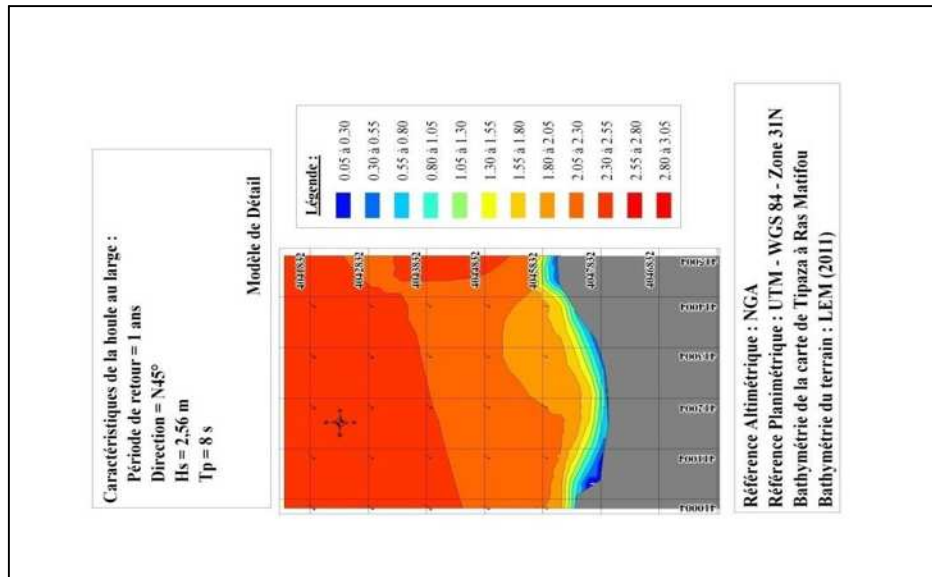
**Fig N°22 :** Résultats de la réfraction pour le N360° T=8s (Mouhoubi et Ouabel, 2012).



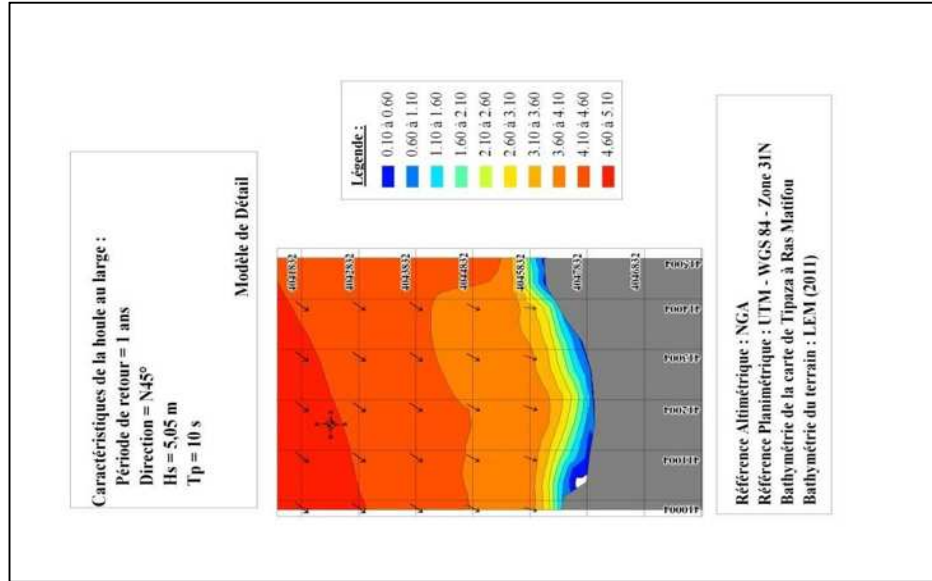
**Fig N°23 :** Résultats de la réfraction pour le N360° T=10s (Mouhoubi et Ouabel, 2012).



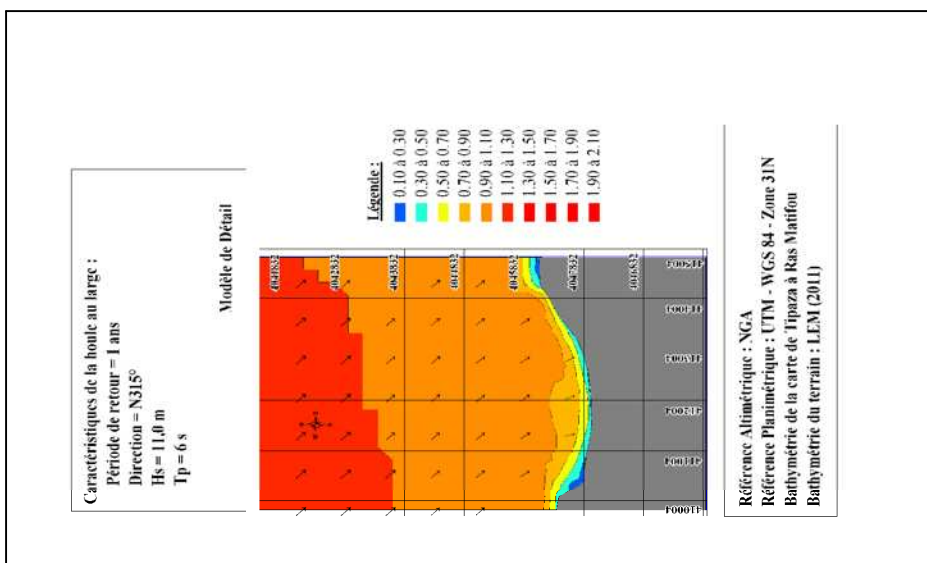
**Fig N°24** : Résultats de la réfraction pour le N45° T=6s (Mouhoubi et Ouabel, 2012).



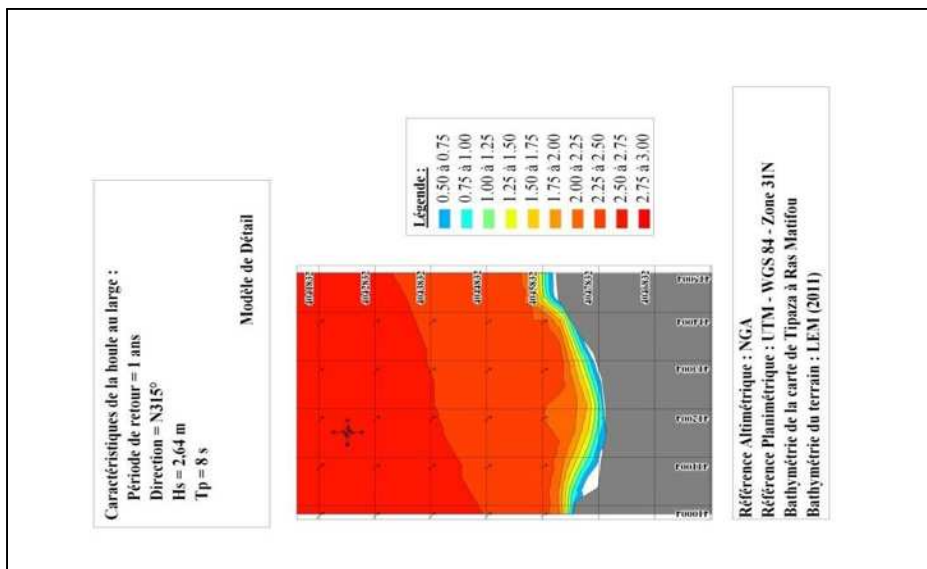
**Fig N°25** : Résultats de la réfraction pour le N45° T=8s (Mouhoubi et Ouabel, 2012).



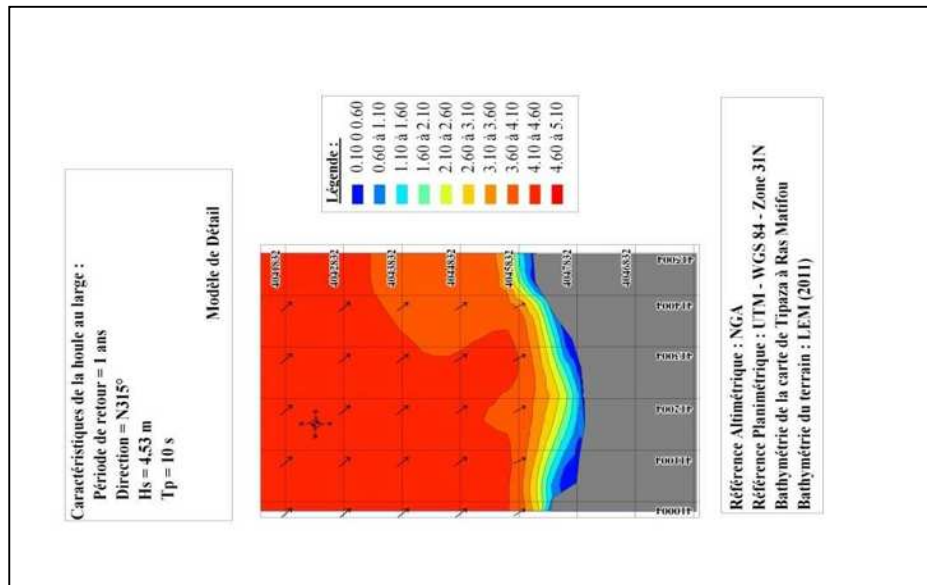
**Fig N°26** : Résultats de la réfraction pour le N45° T=10s (Mouhoubi et Ouabel, 2012).



**Fig N°27** : Résultats de la réfraction pour le N315° T=6s (Mouhoubi et Ouabel, 2012).



**Fig N°28** : Résultats de la réfraction pour le N315° T=8s (Mouhoubi et Ouabel, 2012).



**Fig N°29** : Résultats de la réfraction pour le N315° T=10s (Mouhoubi et Ouabel, 2012).

### III.2.2. Interprétation des résultats

Les houles vingtennales de direction N45° garde toute leur énergie et avancent vers la même direction le Sud Ouest jusqu'à une profondeur de 10 m ou le coefficient de réfraction 3,51 ce qui veut dire qu'elle garde une partie importante de son énergie depuis le large.

Quand aux houles de direction N360° ils perdent de leur énergie depuis le large vers la côte, leurs directions changent légèrement en atteignant la zone de déferlement en déviant vers l'Est.

Les houles de direction N315° c'est bien le contraire, ils gardent leur énergie depuis le large vers la côte avec des valeurs de coefficient de réfraction entre 3-5 ce qui signifie que la moitié de l'énergie de la houle est conservée.

#### Les houles de période $T = 6s$ :

Les houles de direction N360° ne sont pas très significatives en termes d'énergie, ainsi qu'il perdent toute leur énergie et montrent un coefficient de réfraction variant entre 0,4-0,95.

Les houles de direction N315° perdent intégralement leur énergie depuis le large vers la côte, ils montrent un coefficient de réfraction qui ne dépasse pas une valeur de 2 tout en déviant légèrement leur direction vers l'Est.

#### Les houles de période $T = 8$ et $10s$ :

Concernant les houles de direction N360°, elles présentent une faible énergie avec des coefficients de réfraction très faibles, de plus elles perdent leur énergie en se propageant du large vers la côte.

N315° : des houles de faible énergie qui perdent de leur énergie au fur et à mesure qu'elles s'approchent des côtes. On remarque aussi qu'elles conservent leur direction du départ.

N45° : les mêmes remarques sont observées pour cette direction, faible énergie, coefficient de réfraction assez faible ce qui traduit qu'elle perdent de leur énergie depuis le large vers les côtes.

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 réfraction  $K_r$  de ces trois directions, à 5 m de profondeur varie entre 0.56 et 0.61 ; 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**

---

## Conclusion

Les études effectuées sur la plage Centre de Sidi Ghiles nous a permis de dégager les points suivants :

La carte bathymétrique montre des isobathes régulières, espacées et présentant des fonds assez réguliers avec une pente moyenne de l'ordre de 2,5 % et ne montrent pas d'accidents topographiques majeurs. En effet, l'approche de cette étude est importante puisque la bathymétrie détermine à une certaine profondeur la réfraction de la houle.

La bathymétrie locale montre des profondeurs variant entre 0 et -10 m, ce qui permet non pas une grande réfraction et donc un freinage, mais une conservation de l'énergie jusqu'à une distance d'environ de 800 m de la côte. Ceci permet une attaque de la houle sur la côte et ce concernant notamment trois directions à savoir : Nord, Nord-Est et Nord-Ouest.

L'étude de la réfraction avec le logiciel SWAN qui est un modèle d'onde de troisième génération pour obtenir des estimations réalistes des paramètres des vagues dans les zones côtières, les lacs et les estuaires des conditions de vent, fond et courants donnés ; 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.

La houle joue un rôle prépondérant sur la dynamique des écoulements côtiers. Les vagues sont le moteur des courants moyens par l'intermédiaire des tensions de radiation. Elles modifient également la résistance de l'écoulement sur le fond par leur mouvement d'oscillation.

L'intégration du mouvement de l'eau sur la verticale et sur la période des vagues permet de représenter l'hydrodynamique côtière moyenne en milieu peu profond.

Enfin, comme la transformation de la houle dans la zone de déferlement joue un rôle important dans la dynamique sédimentaire littorale.

**REFERENCES**  
**BIBLIOGRAPHIQUES**

**Thèses et ouvrages :**

**ANAT, 2012.** Plan d'aménagement du territoire de la wilaya de Tipaza, p23.

**Ardhuin F, B Chapron, & F Collard, 2009.** Observation of swell dissipation across oceans. *Geophys. Res. Lett.*, 36, L06607, doi :10.1029/2008GL037030.

**Barbier P, 2003.** Cours MapInfo V7.0-limet1. p3.

**Bertin X, 2008.** Morphodynamique séculaire, architecture interne et modélisation d'un système baie/embouchure tidale : le Pertuis de Maumusson et la baie de Marennes-Oléron. Thèse de doctorat. Université de la Rochelle : p16.

**Blondel-Couprie E, 2009.** Reconstitution et prévision déterministe de houle à partir de données mesurées. Thèse de doctorat. Ecole Centrale de Nante : p4.

**Bonnefille R, 1992.** Cours D'Hydraulique Maritime. Edition Masson, 208 pages.

**Booij N, R.C Ris, & L. H Holthuijsen, 1999.** A third-generation wave model for coastal regions. part i. model description and validation. *J. Geophys. Res.*, 104 (C4), 7649–7666.

**Carrega P, 2007.** Information géographique et climatologie. Lavoisier (2008), p2.

**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.

**Dhellemme F, 1989.** Un modèle de réfraction-diffraction pour l'étude de la propagation de la houle en zone côtière. Laboratoire National d'hydraulique : p346.

**Fissah A, Boudouma M, Debiane M, 2011.** Simulation numérique de l'endiguement de l'embouchure de l'Oued Seybouse, Conférence Méditerranéenne Côtière et Maritime, Edition 2, TANGER, MAROC (2011) : p171.

**Fricker M, Backenstrass T, Heinis P, Lebourgeois R, Nussbaumer J, 2011.** Des ondes sur un plan d'eau: Une histoire qui fait des vagues. Rapport de stage. Lycée Jean-Jacque Henner –Altkirch (68) : p7.

**Gagnaire-Renou E, 2009.** Amélioration de la modélisation spectrale des états de mer par un calcul quasi-exact des interactions non linéaire vague-vague. Thèse de doctorat. Université du Sud Toulon Var : p1-7.

**Garlan T, Souffez J.M, Mauget R, Mazé J.P, 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).

**Ghezali F, 2004.** Dynamique sédimentaire dans la zone de déferlement de la houle application du modèle mathématique vectoriel de : MC LAREN et BOWLES développé par GAO et COLLINS entre le port de Jijel et Oued Jen Jen. Mémoire d'ingénieur. ISMAL : p57.

- Gonzato J.C, 1999.** Modélisation des scènes océaniques. Thèse de doctorat. Université Bordeaux I : p5.
- Guerina A, 2003.** La dynamique littorale. p9-17.
- Holthuijsen L.H, Booij N. and Herbers T.H.C., 1989.** A prediction model for stationary, short-crested waves in shallow water with ambient currents. Coastal Engineering 13. pp. 23-54.
- Idier D, Romieu E, Pedreros R, 2008.** Influence relatives des agents hydrodynamiques sur la mobilité des sédiments non-cohésifs des Pertuis Charentais. Xèmes Journées Nationales Génie Côtier : p254.
- Khiari N, Sbihat A, 1992.** Projet de réaménagement du port de Zemmouri : Etude de la propagation de la houle et de l'agitation dans le port. Mémoire DEUA. ISMAL : p10.
- L.E.M , 1985 -** Etude d'aménagement du port de Cherchell, p8-14.
- LEM, 2004 -** Etude de l'établissement de la carte sédimentaire du littoral Algérien (Mission 3- 1<sup>ère</sup> tranche), p8-13.
- MC2-** Etudes hydrodynamique et hydrosédimentaires – Modélisation des mécanismes d'agitation et de transport sédimentaires sur le site du port de Brétignolle – sur – mer. p D35-D38.
- Morio O, 2012.** Etude par modélisation de l'impact d'une tempête sur la morphodynamique de plage sableuse. Rapport de stage de Master 1. Institut universitaire Européen de la Mer : p2-16, IX.
- Mouhoubi N.I, Ouabel K, 2012.** Etude d'une solution de protection pour la plage Centre de Sidi Ghiles (Cherchell). Mémoire d'ingénieur. ENSSMAL : pp68.
- Senechal N, 2003.** Etude de la propagation des vagues au dessus d'une bathymétrie complexe en zone se surf. Thèse de doctorat. Université Bordeaux I : p22.
- S.S.M.O, 1963-1970.** Tome II. Zone Algérienne.
- Susbielle G, 1980.** Climatologie de la mer. Edition technip, p10-15
- Tabeaud M, 2000.** La climatologie. Armand Colin, p20.
- Tual O, 2010.** Hydrodynamique de l'environnement. p24.
- Tual O, 2010.** Réfraction de la houle. p2.

**Sites web :**

<http://www.brgm.fr>

<http://www.paralia.fr-Availableonline>

<http://www.voile.banquepopulaire.fr>

<http://www.formation-sig.net>

<http://www.infosig.net/mapinfo-professional/la-gamme-mapinfo/mapinfo-pro>

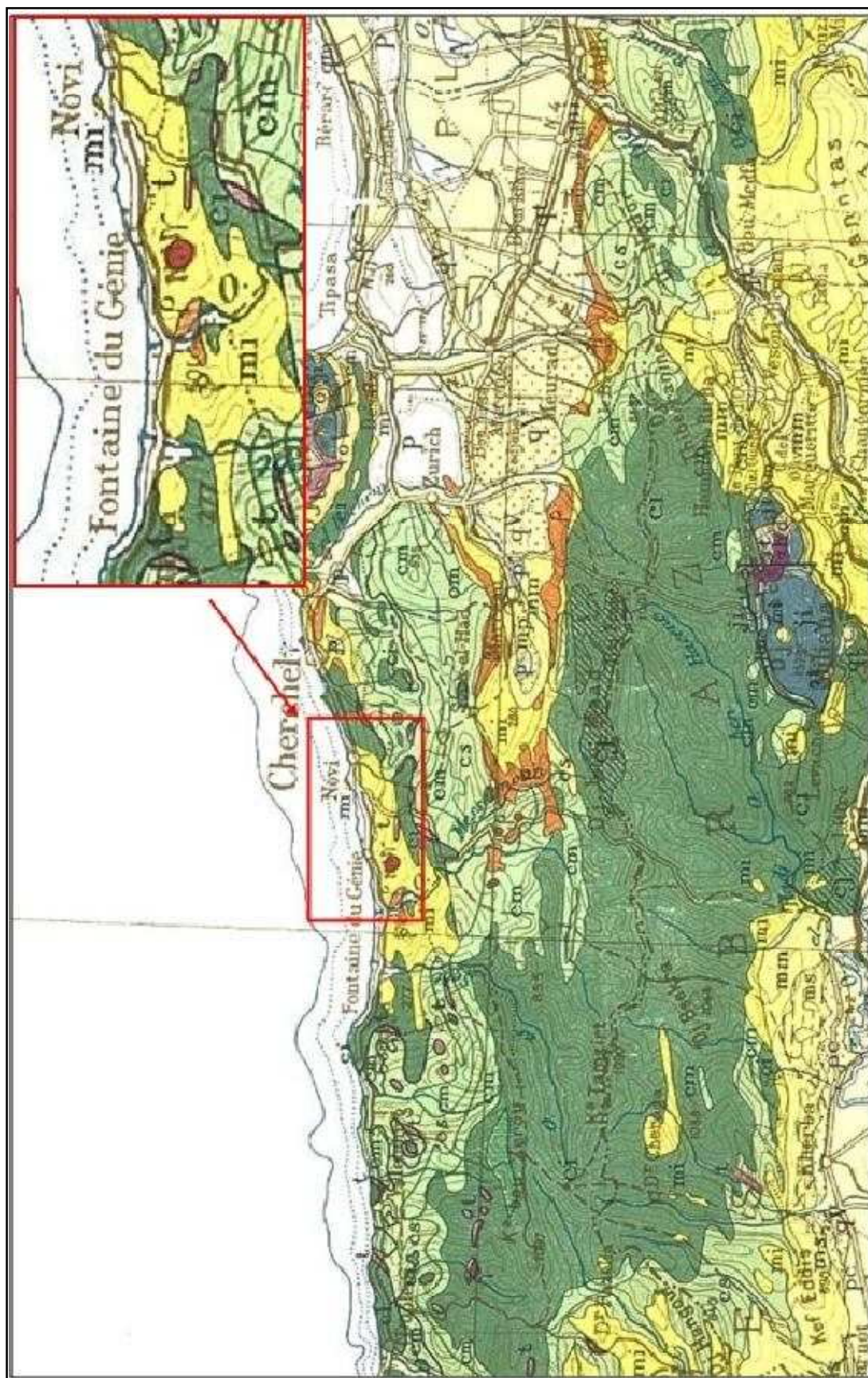
<http://dico.studiovitamine.com/definition,141,fr/mapinfo,375,fr.html?id=289>

<http://marin56.canalblog.com/archives/2009/06/09/14018693.html>

<http://www.nageur-sauveteur.com/milieu-marin/houle-vague.php>

# **ANNEXES**

# ANNEXE I



**Fig I.1 :** Carte géologique régionale extraite depuis la carte géologique d'Algérie (2<sup>ème</sup> édition, 1987).

Echelle 1/500 000.

## ANNEXE II

**Tab II.1 :** Amplitudes de la houle et de la fréquence d'apparition par direction et par période

Période	Amplitude au large		Arrondie	Les fréquences l'apparition							
	foot	mètre		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
	6	<1		<0,305	0	23,61	14,51	17,19	28,42	27,91	14,42
6	1-2	0,457	0,5	34,70	37,80	39,84	47,48	44,44	30,78	24,54	31,27
6	3-4	1,067	1	19,53	28,40	27,96	18,71	17,34	27,61	27,28	25,26
6	5-6	1,676	1,5	10,16	12,11	11,01	3,60	7,86	16,05	16,31	13,92
6	7	2,134	2	5,41	4,24	2,39	1,08	1,63	5,62	10,07	7,04
8	8-9	2,591	2,5	3,30	1,54	1,22	0,36	0,81	2,97	4,81	3,26
8	10-11	3,2	3	1,85	0,49	0,29	0,36	0,00	1,53	2,38	1,20
8	12	3,658	3,5	0,40	0,31	0,05	0,00	0,00	0,51	1,39	0,86
8	13-16	4,42	4	0,66	0,31	0,00	0,00	0,00	0,31	1,08	0,52
10	17-19	5,486	5	0,40	0,31	0,00	0,00	0,00	0,20	0,22	0,00
10	20-22	6,4	6	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,27	0,00
10	23-25	7,315	7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00
10	26-32	8,839	9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00

**Tab II.2 :** Amplitudes de houle par direction et par périodicité d'apparition

Direction	Amplitude de houles					
	Biannuelle	Quinquennale	Décennale	Vingtennale	Cinquantennale	Centennale
N	4,07	4,90	5,53	6,16	7,00	7,63
NE	4,06	4,75	5,27	5,79	6,47	6,99
E	3,06	3,50	3,83	4,17	4,61	4,94
SE	1,98	2,44	2,78	3,13	3,59	3,93
S	-6,14	-6,65	-7,03	-7,41	-7,91	-8,30
SW	3,97	4,71	5,27	5,84	6,58	7,14
W	6,34	7,45	8,29	9,13	10,24	11,08
NW	3,64	4,41	4,99	5,58	6,35	6,93
Périodicité d'apparition	0,00046	0,00018	0,00009	0,00005	0,00002	0,00001

### ANNEXE III

**Tab III.3** : Résultats de la réfraction du secteur N45°, T=6s et H<sub>s</sub> = 1,09 m

Caractéristiques de la houle au large Dir: N45° Tp= 6s H=1,09 m							
N ° point	X(utm)	Y(utm)	Hs	Tp	Kr	Angle d'arrivé	Prof.(m)
1	421533	4049381	0,80129	4,89	0,74	20	-3,0
2	421424	4049354	0,80861	4,90	0,74	20	-3,1
3	421360	4049327	0,80975	4,91	0,74	19	-3,2
4	421271	4049292	0,81105	4,91	0,74	18	-3,2
5	421126	4049286	0,80832	4,83	0,74	25	-3,1
6	421177	4049276	0,80144	4,86	0,74	21	-3,0
7	421129	4049370	0,83421	4,75	0,77	29	-5,0
8	421189	4049355	0,82541	4,76	0,76	26	-4,9
9	421290	4049379	0,82806	4,77	0,76	25	-5,0
10	421366	4049412	0,8357	4,78	0,77	26	-4,9
11	421509	4049453	0,82704	4,77	0,76	27	-5,0
12	421551	4049674	0,90184	4,72	0,83	37	-10,0
13	421466	4049661	0,90386	4,72	0,83	37	-10,0
14	421339	4049633	0,90639	4,73	0,83	37	-9,9
15	421147	4049607	0,91952	4,75	0,84	37	-9,9
16	421266	4049615	0,90847	4,73	0,83	37	-9,9
17	421126	4049241	0,71701	4,88	0,66	23	-2,1
18	421186	4049233	0,69821	4,93	0,64	19	-2,0
19	421285	4049252	0,73919	4,99	0,68	15	-2,2
20	421471	4049306	0,74727	5,03	0,69	16	-2,0
21	421382	4049279	0,78201	5,05	0,72	14	-2,1
22	421549	4049332	0,73002	4,99	0,67	16	-2,1
23	421123	4049332	0,82396	4,78	0,76	27	-4,1
24	421188	4049317	0,81594	4,81	0,75	23	-4,0
25	421300	4049344	0,82153	4,84	0,75	22	-4,1
26	421375	4049375	0,82472	4,82	0,76	23	-4,0
27	421518	4049417	0,81543	4,83	0,75	24	-4,0

**Tab III.4** : Résultats de la réfraction du secteur N45°, T=8s et H<sub>s</sub> = 2,56 m

Caractéristiques de la houle au large Dir: N45° Tp= 8s H=2,56 m							
N ° point	X(utm)	Y(utm)	Hs	Tp	Kr	Angle d'arrivé	Prof.(m)
1	421533	4049381	1,61701	6,8267	0,63	16	-3,0
2	421424	4049354	1,63945	6,815	0,64	16	-3,1
3	421360	4049327	1,63063	6,8194	0,64	15	-3,2
4	421271	4049292	1,63239	6,8634	0,64	14	-3,2
5	421126	4049286	1,63507	6,8008	0,64	20	-3,1
6	421177	4049276	1,6203	6,8583	0,63	16	-3,0
7	421129	4049370	1,91548	6,6072	0,75	23	-5,0
8	421189	4049355	1,86041	6,6359	0,73	20	-4,9
9	421290	4049379	1,88169	6,6518	0,74	18	-5,0
10	421366	4049412	1,85931	6,6275	0,73	19	-4,9
11	421509	4049453	1,84636	6,5735	0,72	21	-5,0
12	421551	4049674	1,96801	6,3069	0,77	31	-10,0
13	421466	4049661	1,9702	6,3045	0,77	31	-10,0
14	421339	4049633	1,99021	6,3321	0,78	30	-9,9
15	421147	4049607	2,05406	6,3993	0,80	30	-9,9
16	421266	4049615	2,00626	6,3526	0,78	30	-9,9
17	421126	4049241	1,36356	6,8673	0,53	19	-2,1
18	421186	4049233	1,33295	6,9214	0,52	15	-2,0
19	421285	4049252	1,39749	6,9519	0,55	12	-2,2
20	421471	4049306	1,33439	6,9166	0,52	14	-2,0
21	421382	4049279	1,37174	6,9743	0,54	12	-2,1
22	421549	4049332	1,35016	6,8995	0,53	14	-2,1
23	421123	4049332	1,79455	6,6821	0,70	22	-4,1
24	421188	4049317	1,75343	6,7325	0,68	18	-4,0
25	421300	4049344	1,76909	6,7357	0,69	16	-4,1
26	421375	4049375	1,79495	6,7427	0,70	17	-4,0
27	421518	4049417	1,74227	6,6818	0,68	19	-4,0

**Tab III.5** : Résultats de la réfraction du secteur N45°, T=10s et H<sub>s</sub> = 5,05 m

Caractéristiques de la houle au large Dir: N45° Tp= 10s H=5,05 m							
N ° point	X(utm)	Y(utm)	Hs	Tp	Kr	Angle d'arrivé	Prof.(m)
1	421533	4049381	2,32826	8,9228	0,46	14	-3,0
2	421424	4049354	2,34031	8,9426	0,46	13	-3,1
3	421360	4049327	2,3495	8,9864	0,47	12	-3,2
4	421271	4049292	2,33912	9,0375	0,46	11	-3,2
5	421126	4049286	2,32121	8,9536	0,46	16	-3,1
6	421177	4049276	2,282	9,0173	0,45	13	-3,0
7	421129	4049370	3,05388	8,8687	0,60	18	-5,0
8	421189	4049355	2,97371	8,8955	0,59	15	-4,9
9	421290	4049379	2,9912	8,9008	0,59	13	-5,0
10	421366	4049412	2,98923	8,8151	0,59	15	-4,9
11	421509	4049453	3,02221	8,7526	0,60	17	-5,0
12	421551	4049674	3,7422	8,2656	0,74	25	-10,0
13	421466	4049661	3,75385	8,2663	0,74	25	-10,0
14	421339	4049633	3,83701	8,3319	0,76	24	-9,9
15	421147	4049607	4,00815	8,4077	0,79	23	-9,9
16	421266	4049615	3,88967	8,3648	0,77	23	-9,9
17	421126	4049241	1,87446	8,9876	0,37	16	-2,1
18	421186	4049233	1,84526	9,054	0,37	12	-2,0
19	421285	4049252	1,91449	9,1015	0,38	10	-2,2
20	421471	4049306	1,76077	9,0413	0,35	11	-2,0
21	421382	4049279	1,77154	9,138	0,35	9	-2,1
22	421549	4049332	1,85082	8,9918	0,37	12	-2,1
23	421123	4049332	2,74084	8,8963	0,54	17	-4,1
24	421188	4049317	2,66513	8,944	0,53	14	-4,0
25	421300	4049344	2,69475	8,948	0,53	13	-4,1
26	421375	4049375	2,69356	8,9223	0,53	13	-4,0
27	421518	4049417	2,70527	8,8165	0,54	16	-4,0

**Tab III.6** : Résultats de la réfraction du secteur N45°, T=11,8s et H<sub>s</sub> = 5,79 m

Caractéristiques de la houle au large Dir: N45° Tp= 11,8s H=5,79 m							
N ° point	X(utm)	Y(utm)	Hs	Tp	Kr	Angle d'arrivé	Prof.(m)
1	421533	4049381	2,47187	10,84	0,43	10	-3,0
2	421424	4049354	2,49984	10,85	0,43	10	-3,1
3	421360	4049327	2,4864	10,91	0,43	8	-3,2
4	421271	4049292	2,45749	10,98	0,42	8	-3,2
5	421126	4049286	2,40013	10,92	0,41	12	-3,1
6	421177	4049276	2,37982	10,97	0,41	10	-3,0
7	421129	4049370	3,26315	10,78	0,56	14	-5,0
8	421189	4049355	3,18236	10,82	0,55	11	-4,9
9	421290	4049379	3,21556	10,83	0,56	10	-5,0
10	421366	4049412	3,23787	10,75	0,56	11	-4,9
11	421509	4049453	3,27063	10,67	0,56	13	-5,0
12	421551	4049674	4,283	10,20	0,74	19	-10,0
13	421466	4049661	4,30428	10,21	0,74	20	-10,0
14	421339	4049633	4,42136	10,30	0,76	19	-9,9
15	421147	4049607	4,60989	10,37	0,80	17	-9,9
16	421266	4049615	4,47775	10,34	0,77	18	-9,9
17	421126	4049241	1,92258	11,00	0,33	12	-2,1
18	421186	4049233	1,92521	11,02	0,33	9	-2,0
19	421285	4049252	1,9832	11,06	0,34	6	-2,2
20	421471	4049306	1,86707	10,95	0,32	7	-2,0
21	421382	4049279	1,83583	11,08	0,32	5	-2,1
22	421549	4049332	1,9462	10,92	0,34	8	-2,1
23	421123	4049332	2,89782	10,82	0,50	13	-4,1
24	421188	4049317	2,82797	10,88	0,49	11	-4,0
25	421300	4049344	2,87134	10,88	0,50	9	-4,1
26	421375	4049375	2,88517	10,84	0,50	10	-4,0

**Tab III.7** : Résultats de la réfraction du secteur N315°, T=6s et H<sub>s</sub> = 1,00 m

Caractéristiques de la houle au large Dir: N360° Tp= 6s H=1,00 m							
N ° point	X(utm)	Y(utm)	Hs	Tp	Kr	Angle d'arrivé	Prof.(m)
1	421533	4049381	0,96277	5,1269	0,96	355	-3,0
2	421424	4049354	0,9337	5,101	0,93	354	-3,1
3	421360	4049327	0,90796	5,0781	0,91	354	-3,2
4	421271	4049292	0,90747	5,0496	0,91	357	-3,2
5	421126	4049286	0,90435	5,0248	0,90	2	-3,1
6	421177	4049276	0,90324	5,0315	0,90	0	-3,0
7	421129	4049370	0,90382	4,9386	0,90	1	-5,0
8	421189	4049355	0,90753	4,9545	0,91	360	-4,9
9	421290	4049379	0,91826	4,9643	0,92	357	-5,0
10	421366	4049412	0,93667	4,997	0,94	356	-4,9
11	421509	4049453	0,94479	5,0102	0,94	357	-5,0
12	421551	4049674	0,93299	4,9043	0,93	359	-10,0
13	421466	4049661	0,93801	4,9167	0,94	359	-10,0
14	421339	4049633	0,94432	4,9325	0,94	359	-9,9
15	421147	4049607	0,93259	4,9084	0,93	359	-9,9
16	421266	4049615	0,94011	4,9242	0,94	359	-9,9
17	421126	4049241	0,79467	5,0523	0,79	2	-2,1
18	421186	4049233	0,77474	5,0602	0,77	360	-2,0
19	421285	4049252	0,82128	5,0903	0,82	356	-2,2
20	421471	4049306	0,85123	5,1961	0,85	353	-2,0
21	421382	4049279	0,86892	5,1772	0,87	353	-2,1
22	421549	4049332	0,85671	5,1779	0,86	355	-2,1
23	421123	4049332	0,9043	4,9788	0,90	2	-4,1
24	421188	4049317	0,9087	4,992	0,91	360	-4,0
25	421300	4049344	0,91353	5,0089	0,91	356	-4,1
26	421375	4049375	0,93977	5,0295	0,94	355	-4,0
27	421518	4049417	0,95496	5,0666	0,95	356	-4,0

**Tab III.8** : Résultats de la réfraction du secteur N315°, T=8s et H<sub>s</sub> = 2,64 m

Caractéristiques de la houle au large Dir: N315° Tp= 8s H=2,64 m							
N ° point	X(utm)	Y(utm)	Hs	Tp	Kr	Angle d'arrivé	Prof.(m)
1	421533	4049381	1,8747	7,04	0,71	332	-3,0
2	421424	4049354	1,85403	6,93	0,70	330	-3,1
3	421360	4049327	1,78621	6,84	0,68	331	-3,2
4	421271	4049292	1,72993	6,87	0,66	336	-3,2
5	421126	4049286	1,70796	6,97	0,65	341	-3,1
6	421177	4049276	1,69604	6,96	0,64	341	-3,0
7	421129	4049370	2,0441	6,77	0,77	338	-5,0
8	421189	4049355	2,00411	6,74	0,76	337	-4,9
9	421290	4049379	2,07823	6,71	0,79	332	-5,0
10	421366	4049412	2,12723	6,75	0,81	329	-4,9
11	421509	4049453	2,27213	6,88	0,86	329	-5,0
12	421551	4049674	2,44696	6,63	0,93	325	-10,0
13	421466	4049661	2,43699	6,62	0,92	324	-10,0
14	421339	4049633	2,3732	6,58	0,90	323	-9,9
15	421147	4049607	2,26258	6,49	0,86	325	-9,9
16	421266	4049615	2,31198	6,53	0,88	324	-9,9
17	421126	4049241	1,41663	7,03	0,54	342	-2,1
18	421186	4049233	1,38923	6,99	0,53	341	-2,0
19	421285	4049252	1,46272	6,92	0,55	337	-2,2
20	421471	4049306	1,46892	7,00	0,56	331	-2,0
21	421382	4049279	1,45588	6,92	0,55	332	-2,1
22	421549	4049332	1,52427	7,08	0,58	332	-2,1
23	421123	4049332	1,8973	6,85	0,72	339	-4,1
24	421188	4049317	1,86652	6,83	0,71	338	-4,0
25	421300	4049344	1,93129	6,76	0,73	332	-4,1
26	421375	4049375	2,01602	6,83	0,76	330	-4,0
27	421518	4049417	2,092	6,94	0,79	330	-4,0

**Tab III.9** : Résultats de la réfraction du secteur N315°, T=10s et H<sub>s</sub> = 4,53 m

Caractéristiques de la houle au large Dir: N315° Tp= 10s H=4,53 m							
N ° point	X(utm)	Y(utm)	Hs	Tp	Kr	Angle d'arrivé	Prof.(m)
1	421533	4049381	2,34518	9,12	0,52	334	-3,0
2	421424	4049354	2,38349	8,95	0,53	332	-3,1
3	421360	4049327	2,33289	8,92	0,51	333	-3,2
4	421271	4049292	2,24033	8,93	0,49	337	-3,2
5	421126	4049286	2,17243	8,98	0,48	341	-3,1
6	421177	4049276	2,14956	8,97	0,47	340	-3,0
7	421129	4049370	2,8695	8,88	0,63	339	-5,0
8	421189	4049355	2,82987	8,85	0,62	338	-4,9
9	421290	4049379	2,93781	8,84	0,65	334	-5,0
10	421366	4049412	3,04317	8,84	0,67	331	-4,9
11	421509	4049453	3,18541	8,95	0,70	332	-5,0
12	421551	4049674	4,24237	8,57	0,94	330	-10,0
13	421466	4049661	4,22397	8,56	0,93	328	-10,0
14	421339	4049633	4,11301	8,51	0,91	327	-9,9
15	421147	4049607	3,89683	8,41	0,86	328	-9,9
16	421266	4049615	3,99435	8,45	0,88	327	-9,9
17	421126	4049241	1,75841	9,01	0,39	341	-2,1
18	421186	4049233	1,74291	8,99	0,38	341	-2,0
19	421285	4049252	1,82057	8,98	0,40	337	-2,2
20	421471	4049306	1,70958	9,05	0,38	333	-2,0
21	421382	4049279	1,73522	9,02	0,38	334	-2,1
22	421549	4049332	1,76532	9,17	0,39	335	-2,1
23	421123	4049332	2,57064	8,92	0,57	339	-4,1
24	421188	4049317	2,52762	8,90	0,56	338	-4,0
25	421300	4049344	2,64017	8,87	0,58	334	-4,1
26	421375	4049375	2,71059	8,90	0,60	332	-4,0
27	421518	4049417	2,80635	9,01	0,62	333	-4,0

**Tab III.10** : Résultats de la réfraction du secteur N315°, T=11,6s et H<sub>s</sub> = 5,58 m

Caractéristiques de la houle au large Dir: N315° Tp= 11,60s H=5,58 m							
N ° point	X(utm)	Y(utm)	Hs	Tp	Kr	Angle d'arrivé	Prof.(m)
1	421533	4049381	2,939	10,662	0,53	336	-3,0
2	421424	4049354	2,9942	10,524	0,54	333	-3,1
3	421360	4049327	2,91676	10,4841	0,52	334	-3,2
4	421271	4049292	2,7935	10,4883	0,50	338	-3,2
5	421126	4049286	2,70593	10,5311	0,48	342	-3,1
6	421177	4049276	2,67947	10,524	0,48	341	-3,0
7	421129	4049370	3,59036	10,4434	0,64	340	-5,0
8	421189	4049355	3,54012	10,4221	0,63	339	-4,9
9	421290	4049379	3,68075	10,4123	0,66	335	-5,0
10	421366	4049412	3,83076	10,4212	0,69	333	-4,9
11	421509	4049453	4,01264	10,5231	0,72	334	-5,0
12	421551	4049674	5,4203	10,1489	0,97	332	-10,0
13	421466	4049661	5,4044	10,1473	0,97	331	-10,0
14	421339	4049633	5,26243	10,0966	0,94	329	-9,9
15	421147	4049607	4,97174	9,9916	0,89	330	-9,9
16	421266	4049615	5,09997	10,037	0,91	329	-9,9
17	421126	4049241	2,18543	10,5602	0,39	343	-2,1
18	421186	4049233	2,17139	10,5387	0,39	342	-2,0
19	421285	4049252	2,26657	10,5249	0,41	338	-2,2
20	421471	4049306	2,14463	10,6012	0,38	334	-2,0
21	421382	4049279	2,15238	10,5555	0,39	335	-2,1
22	421549	4049332	2,21864	10,698	0,40	336	-2,1
23	421123	4049332	3,21161	10,4746	0,58	341	-4,1
24	421188	4049317	3,15819	10,4579	0,57	340	-4,0
25	421300	4049344	3,30251	10,4398	0,59	335	-4,1
26	421375	4049375	3,40242	10,471	0,61	333	-4,0
27	421518	4049417	3,52882	10,5706	0,63	335	-4,0

**Tab III.11** : Résultats de la réfraction du secteur N360°, T=6s et H<sub>s</sub> = 1,00 m

Caractéristiques de la houle au large Dir: N360° Tp= 6s H=1,00 m							
N ° point	X(utm)	Y(utm)	Hs	Tp	Kr	Angle d'arrivé	Prof.(m)
1	421533	4049381	0,96277	5,1269	0,96	355	-3,0
2	421424	4049354	0,9337	5,101	0,93	354	-3,1
3	421360	4049327	0,90796	5,0781	0,91	354	-3,2
4	421271	4049292	0,90747	5,0496	0,91	357	-3,2
5	421126	4049286	0,90435	5,0248	0,90	2	-3,1
6	421177	4049276	0,90324	5,0315	0,90	0	-3,0
7	421129	4049370	0,90382	4,9386	0,90	1	-5,0
8	421189	4049355	0,90753	4,9545	0,91	360	-4,9
9	421290	4049379	0,91826	4,9643	0,92	357	-5,0
10	421366	4049412	0,93667	4,997	0,94	356	-4,9
11	421509	4049453	0,94479	5,0102	0,94	357	-5,0
12	421551	4049674	0,93299	4,9043	0,93	359	-10,0
13	421466	4049661	0,93801	4,9167	0,94	359	-10,0
14	421339	4049633	0,94432	4,9325	0,94	359	-9,9
15	421147	4049607	0,93259	4,9084	0,93	359	-9,9
16	421266	4049615	0,94011	4,9242	0,94	359	-9,9
17	421126	4049241	0,79467	5,0523	0,79	2	-2,1
18	421186	4049233	0,77474	5,0602	0,77	360	-2,0
19	421285	4049252	0,82128	5,0903	0,82	356	-2,2
20	421471	4049306	0,85123	5,1961	0,85	353	-2,0
21	421382	4049279	0,86892	5,1772	0,87	353	-2,1
22	421549	4049332	0,85671	5,1779	0,86	355	-2,1
23	421123	4049332	0,9043	4,9788	0,90	2	-4,1
24	421188	4049317	0,9087	4,992	0,91	360	-4,0
25	421300	4049344	0,91353	5,0089	0,91	356	-4,1
26	421375	4049375	0,93977	5,0295	0,94	355	-4,0
27	421518	4049417	0,95496	5,0666	0,95	356	-4,0

**Tab III.12** : Résultats de la réfraction du secteur N360°, T=8s et H<sub>s</sub> = 2,67 m

Caractéristiques de la houle au large Dir: N360° Tp= 8s H=2,67 m							
N ° point	X(utm)	Y(utm)	Hs	Tp	Kr	Angle d'arrivé	Prof.(m)
1	421533	4049381	1,95201	6,9405	0,73	356	-3,0
2	421424	4049354	1,97806	6,9752	0,74	354	-3,1
3	421360	4049327	1,95341	6,9378	0,73	355	-3,2
4	421271	4049292	1,91655	6,9081	0,72	357	-3,2
5	421126	4049286	1,86084	6,8727	0,70	1	-3,1
6	421177	4049276	1,85686	6,8992	0,70	359	-3,0
7	421129	4049370	2,28301	6,8091	0,86	1	-5,0
8	421189	4049355	2,26235	6,8252	0,85	359	-4,9
9	421290	4049379	2,33497	6,874	0,87	356	-5,0
10	421366	4049412	2,33799	6,8862	0,88	355	-4,9
11	421509	4049453	2,35556	6,859	0,88	356	-5,0
12	421551	4049674	2,46227	6,5886	0,92	359	-10,0
13	421466	4049661	2,50436	6,6298	0,94	358	-10,0
14	421339	4049633	2,55583	6,6769	0,96	357	-9,9
15	421147	4049607	2,48466	6,6165	0,93	358	-9,9
16	421266	4049615	2,53323	6,6589	0,95	357	-9,9
17	421126	4049241	1,5308	6,8991	0,57	1	-2,1
18	421186	4049233	1,51192	6,9256	0,57	359	-2,0
19	421285	4049252	1,60754	6,9337	0,60	356	-2,2
20	421471	4049306	1,55395	6,9569	0,58	356	-2,0
21	421382	4049279	1,5694	6,9517	0,59	355	-2,1
22	421549	4049332	1,59379	6,9322	0,60	356	-2,1
23	421123	4049332	2,09835	6,8319	0,79	1	-4,1
24	421188	4049317	2,08194	6,8561	0,78	359	-4,0
25	421300	4049344	2,15389	6,8965	0,81	355	-4,1
26	421375	4049375	2,19863	6,9429	0,82	354	-4,0
27	421518	4049417	2,17064	6,8941	0,81	356	-4,0

**Tab III.13** : Résultats de la réfraction du secteur N360°, T=10s et H<sub>s</sub> = 4,92 m

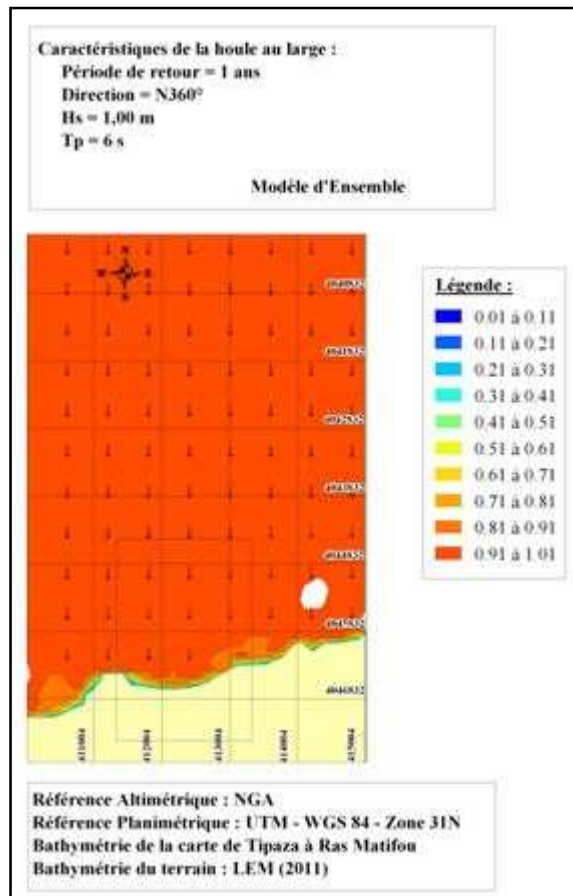
Caractéristiques de la houle au large Dir: N360° Tp= 10s H= 4,92 m							
N ° point	X(utm)	Y(utm)	Hs	Tp	Kr	Angle d'arrivé	Prof.(m)
1	421533	4049381	2,45353	8,81	0,50	356	-3,0
2	421424	4049354	2,49559	8,88	0,51	355	-3,1
3	421360	4049327	2,4829	8,84	0,50	354	-3,2
4	421271	4049292	2,41953	8,79	0,49	357	-3,2
5	421126	4049286	2,31321	8,73	0,47	2	-3,1
6	421177	4049276	2,30301	8,76	0,47	360	-3,0
7	421129	4049370	3,13304	8,74	0,64	360	-5,0
8	421189	4049355	3,10142	8,77	0,63	358	-4,9
9	421290	4049379	3,19233	8,82	0,65	355	-5,0
10	421366	4049412	3,26449	8,84	0,66	354	-4,9
11	421509	4049453	3,3185	8,79	0,67	356	-5,0
12	421551	4049674	4,41747	8,44	0,90	358	-10,0
13	421466	4049661	4,49302	8,51	0,91	357	-10,0
14	421339	4049633	4,56763	8,60	0,93	356	-9,9
15	421147	4049607	4,43761	8,49	0,90	356	-9,9
16	421266	4049615	4,5171	8,57	0,92	356	-9,9
17	421126	4049241	1,85335	8,72	0,38	2	-2,1
18	421186	4049233	1,85902	8,75	0,38	360	-2,0
19	421285	4049252	1,95695	8,78	0,40	357	-2,2
20	421471	4049306	1,83717	8,83	0,37	355	-2,0
21	421382	4049279	1,8204	8,83	0,37	355	-2,1
22	421549	4049332	1,92452	8,77	0,39	357	-2,1
23	421123	4049332	2,78328	8,74	0,57	0	-4,1
24	421188	4049317	2,74942	8,77	0,56	359	-4,0
25	421300	4049344	2,85384	8,82	0,58	355	-4,1
26	421375	4049375	2,88285	8,86	0,59	354	-4,0
27	421518	4049417	2,92514	8,80	0,59	356	-4,0

**Tab III.14** : Résultats de la réfraction du secteur N360°, T=12,17s et H<sub>s</sub> = 6,16 m

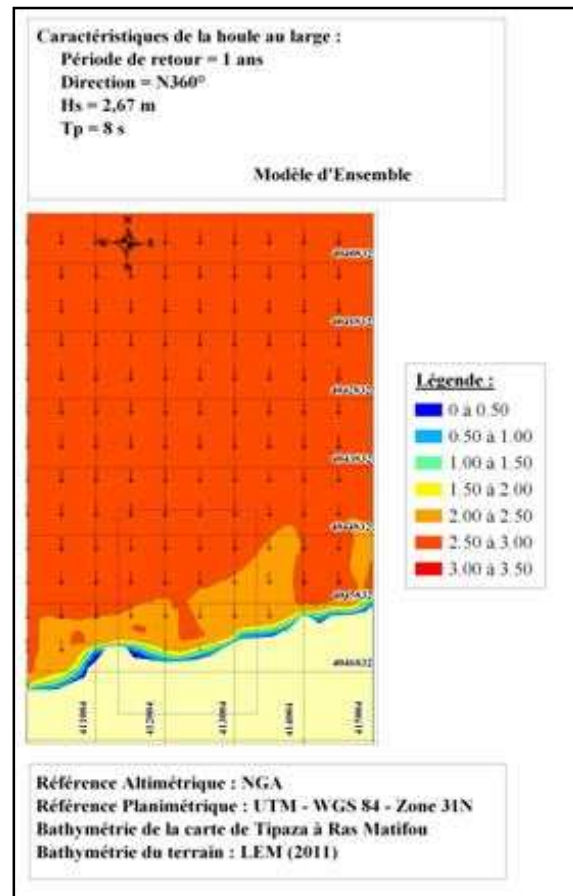
Caractéristiques de la houle au large Dir: N360° Tp= 12,17s H=6,16 m							
N ° point	X(utm)	Y(utm)	Hs	Tp	Kr	Angle d'arrivé	Prof.(m)
1	421533	4049381	2,67736	10,7246	0,43	356	-3,0
2	421424	4049354	2,72372	10,7851	0,44	354	-3,1
3	421360	4049327	2,68604	10,7897	0,44	354	-3,2
4	421271	4049292	2,59562	10,7359	0,42	356	-3,2
5	421126	4049286	2,51318	10,5848	0,41	1	-3,1
6	421177	4049276	2,48793	10,6303	0,40	360	-3,0
7	421129	4049370	3,4323	10,6751	0,56	359	-5,0
8	421189	4049355	3,392	10,7136	0,55	358	-4,9
9	421290	4049379	3,49656	10,781	0,57	355	-5,0
10	421366	4049412	3,60089	10,8219	0,58	354	-4,9
11	421509	4049453	3,66727	10,7779	0,60	355	-5,0
12	421551	4049674	5,24794	10,5471	0,85	357	-10,0
13	421466	4049661	5,32536	10,6382	0,86	356	-10,0
14	421339	4049633	5,37602	10,7216	0,87	355	-9,9
15	421147	4049607	5,24743	10,5741	0,85	354	-9,9
16	421266	4049615	5,30164	10,6855	0,86	354	-9,9
17	421126	4049241	2,00881	10,5402	0,33	2	-2,1
18	421186	4049233	2,00134	10,6127	0,32	0	-2,0
19	421285	4049252	2,07178	10,7307	0,34	356	-2,2
20	421471	4049306	1,98915	10,6858	0,32	355	-2,0
21	421382	4049279	1,93094	10,7311	0,31	354	-2,1
22	421549	4049332	2,07988	10,6852	0,34	356	-2,1
23	421123	4049332	3,04058	10,6448	0,49	360	-4,1
24	421188	4049317	2,99296	10,6882	0,49	358	-4,0
25	421300	4049344	3,10302	10,7811	0,50	355	-4,1
26	421375	4049375	3,1516	10,8003	0,51	354	-4,0
27	421518	4049417	3,21829	10,7564	0,52	356	-4,0

**Tab III.15 :** Résultats du traitement des données du SSMO « tome II, Zone Algiers (1963-1970) »

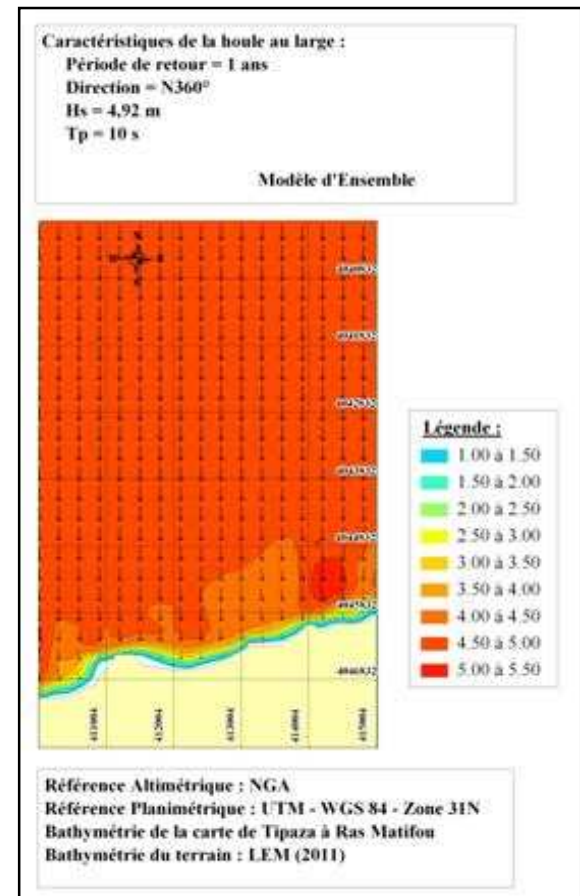
Périodes (s)	Amplitude au large (m)	Nombre de cas d'apparition			Kr coefficient de réfraction			Amplitude au voisinage de la côte (m)		
		N360°	N315°	N45°	N360°	N315°	N45°	N360°	N315°	N45°
6	0	179	97	236	0,90	0,82	0,75	0	0,00	0,00
	0,5	263	182	615	0,90	0,82	0,75	0,45	0,41	0,37
	1	148	147	462	0,90	0,82	0,75	0,90	0,82	0,75
	1,5	77	81	197	0,90	0,82	0,75	1,36	1,08	1,00
	2	41	41	69	0,90	0,82	0,75	1,81	1,19	1,07
8	2,5	25	19	25	0,77	0,72	0,67	1,93	1,81	1,67
	3	14	7	8	0,77	0,72	0,67	2,32	2,17	2,00
	3,5	3	5	5	0,77	0,72	0,67	2,70	2,53	2,34
	4	5	3	5	0,77	0,72	0,67	3,09	2,89	2,67
10	5	3	0	5	0,59	0,59	0,53	2,95	2,97	2,67
	6	0	0	0	0,59	0,59	0,53	3,54	3,57	3,20
	7	0	0	0	0,59	0,59	0,53	4,13	4,16	3,73
	8	0	0	0	0,59	0,59	0,53	4,72	4,76	4,27
	9	0	0	0	0,59	0,59	0,53	5,31	5,35	4,80
	TOTAL	758	582	1627						



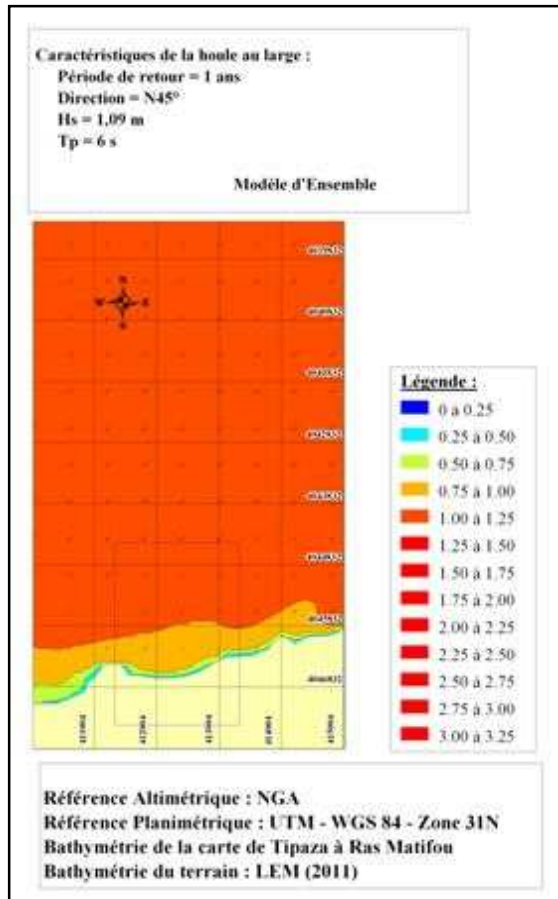
**Fig III.2** : Résultats de la réfraction pour le N360° T=6s (Mouhoubi et Ouabel, 2012).



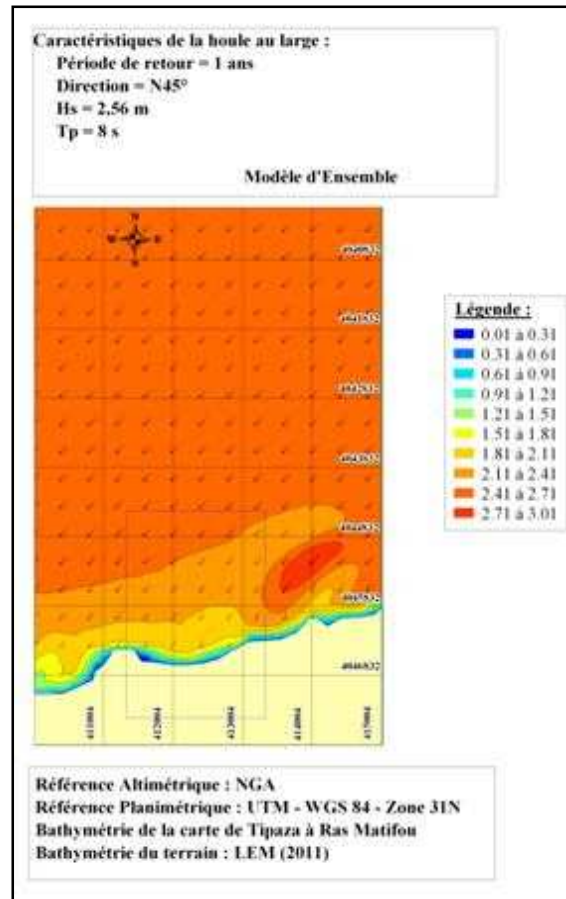
**Fig III.3** Résultats de la réfraction pour le N360° T=8s (Mouhoubi et Ouabel, 2012).



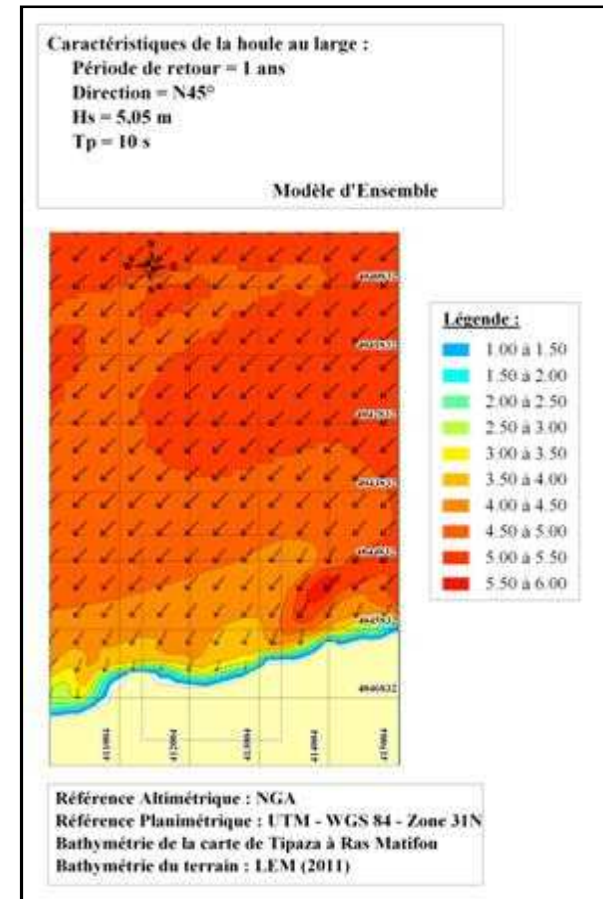
**Fig III.4** Résultats de la réfraction pour le N360° T=10s (Mouhoubi et Ouabel, 2012).



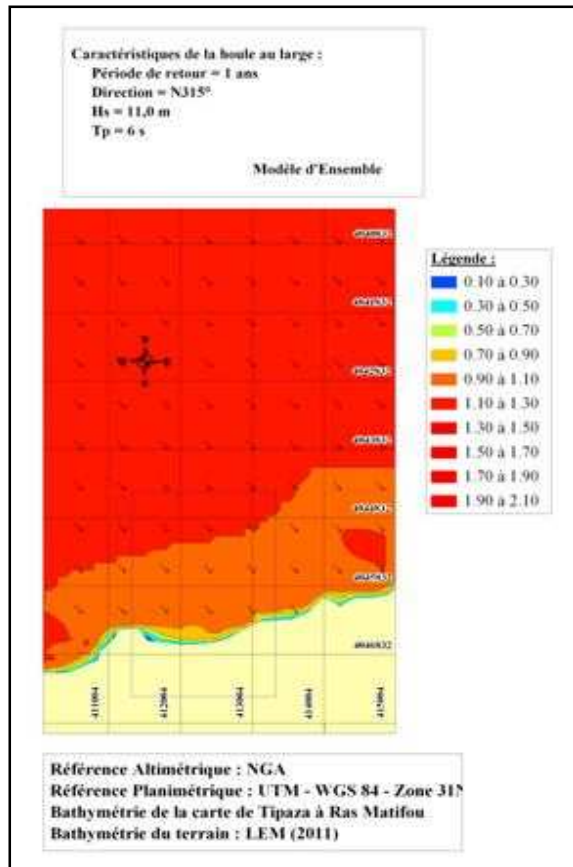
**Fig III.5 :** Résultats de la réfraction pour le N45° T=6s (Mouhoubi et Ouabel, 2012).



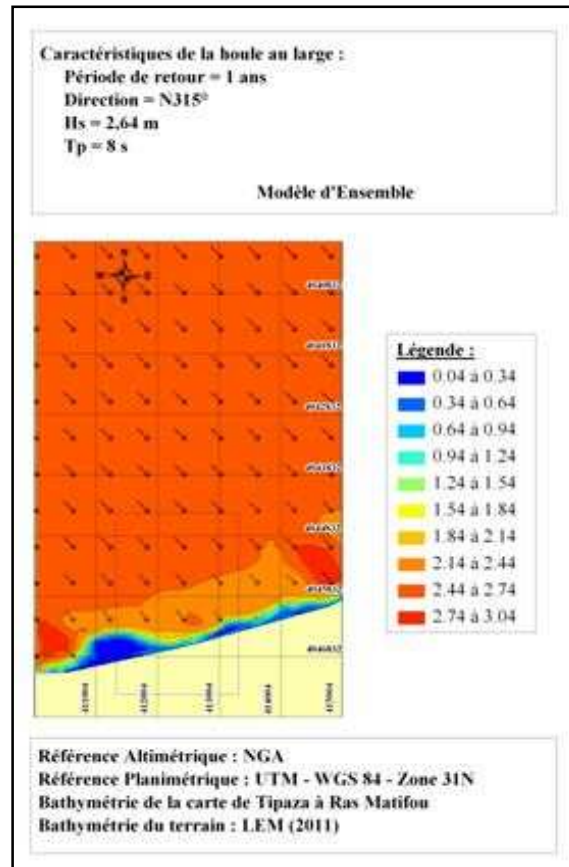
**Fig III.6 :** Résultats de la réfraction pour le N45° T=8s (Mouhoubi et Ouabel, 2012).



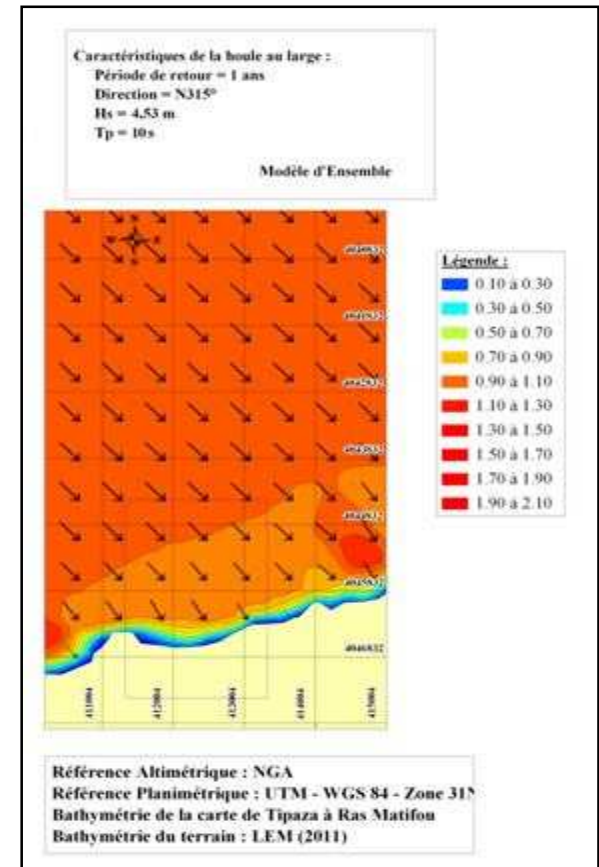
**Fig III.7 :** Résultats de la réfraction pour le N45° T=10s (Mouhoubi et Ouabel, 2012).



**Fig III.8 :** Résultats de la réfraction pour le N315° T=6s (Mouhoubi et Ouabel, 2012).



**Fig III.9 :** Résultats de la réfraction pour le N315° T=8s (Mouhoubi et Ouabel, 2012).



**Fig III.10 :** Résultats de la réfraction pour le N315° T=10s (Mouhoubi et Ouabel, 2012).