

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  
D'INGENIEUR D'ETAT EN SCIENCES DE LA MER

OPTION : AMENAGEMENT DU LITTORAL.

Thème :

**Contribution à la recherche des zones à fort  
potentiel d'énergie houlomotrice à base  
d'un modèle hydrodynamique**

Présenté par :

- AMAROUCHE Khalid

Soutenu le 19/ 09 /2015 Devant le jury suivant :

- BELKESSA. R	Professeur, ENSSMAL	Président
- BACHARI.N.E.I	Professeur, USTHB	Promoteur
- MEHDID.S	Maître Assistante A, ENSSMAL	Examinatrice
- NACEF. L	Maître de conférences B, USTHB	Examinateur

Promotion : 2015



وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة الساحل

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



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME  
D'INGENIEUR D'ETAT EN SCIENCES DE LA MER

OPTION : AMENAGEMENT DU LITTORAL.

Thème :

**Contribution à la recherche des zones à fort  
potentiel d'énergie houlomotrice à base  
d'un modèle hydrodynamique**

Présenté par :

- AMAROUCHE Khalid

Soutenu le 19/ 09 /2015 Devant le jury suivant :

- BELKESSA. R	Professeur, ENSSMAL	Président
- BACHARI.N.E.I	Professeur, USTHB	Promoteur
- MEHDID.S	Maître Assistante A, ENSSMAL	Examinatrice
- LAMRLN	Maître de conférences B, USTHB	Examineur

Promotion : 2015

## REMERCIEMENTS

Je dis Alhamdou LILLAH pour tous ce qui m'a donné et Chokrou Lillah  
qui m'a aidé pour terminer ce mémoire.

Je remercie particulièrement mon promoteur Professeur BACHARI Nour  
el Islam, pour la confiance qu'il m'a accordée et pour leurs multiples  
conseils d'expérimentateur ou de modélisateur, J'ai été extrêmement  
sensible à ses valeurs humaines, leur qualité d'écoute et de  
compréhension tout au long de cette année mémorable pour moi.

Je remercie le Professeur BELKESSA Rabah qui m'a enseigné d'une  
part et d'avoir accepté de présider le jury.

Je remercie vivement Mme MEHDID qui ma aussi enseigner durant  
mon cursus et d'avoir acceptée d'examiner mon travail.

Je remercie vivement Mr LAMRI Nacef qui n'a pas hésité de faire  
partir de mon jury

Merci pour toute personne qui m'a enseigné un mot, une lettre  
une équation.

Merci pour tous mes enseignants de l'ENSSMAL qui étaient derrière  
nous pour réussir dans nos études et dans notre vie.

Merci à mes amis et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à  
ma réussite

Khalid

*Je dédie ce modeste travail :*

*Avant tout, à*

*Ma Mère Naima et Mon Père Mohammed pour*

*Leur générosité et leurs sacrifices*

*A mes frères, Bader et Badis*

*A toute ma famille.*

*A tous mes amis sans exception*

" Une recherche n'est formellement pas terminée tant que les résultats ne sont pas publiés. C'est pourquoi le chercheur ne doit pas seulement "faire de la science" mais aussi " écrire sa science"  
((Alexandre Butler))

## Liste des figures

Figure 1 : Représentation des paramètres caractéristique des vagues.....	24
Figure 2: Propagation du mouvement oscillatoire engendrer par la houle.....	28
Figure 3 : Description de la formation des courants littoraux.....	29
Figure 4 : Description de la formation des courants de retour (rip current).....	29
Figure 5 : Vagues bloquées par un courant opposé (GUINOT.F, et al., 2008).....	30
Figure 6 : Image satellitaire MODIS; Dynamique des eaux de surface dans le bassin Algérien ....	31
Figure 7 : Séries temporelles des conditions de houle (Hsig) archivees du modele WW3 au large, simulées par SWAN (Hsig) au point 153.26 E/ 27.57 S et enregistrées à la bouee du Gold CoastSeaway (Hsig) pour la période du 23/01/05 au 30/01/05 .....	35
Figure 8 : Limitation des zones d'études. (Image satellitaire de global mapper ; imagerie world) .....	38
Figure 9 : Image satellitaire de la baie de EL-Aouana, Jijel (imagerie Word; global mapper).....	40
Figure 10 : Carte bathymétriques de la baie de Bejaia et Jijel réaliser à partir des données.....	42
Figure 11: Carte bathymétriques de la baie de Bejaia et Jijel réaliser à partir des données.....	42
Figure 12 :Cartes des hauteurs significatives de la baie de Bejaia et Jijel dans les conditions du vent annuelle moyenne dans la direction dominante ouest avec une bathymétrie GEBCO.....	43
Figure 13 : Cartes des hauteurs significatives de la baie de Bejaia et Jijel dans les conditions du vent annuelle moyenne dans la direction dominante ouest avec une bathymétrie OpenCPN.....	43
Figure 14 : cartes des vitesses des courants orbitaux de labaie de Bejaia et Jijel dans les conditions du vent annuelle moyenne dans la direction dominante ouest avec une bathymétrie GEBCO.....	43
Figure 15 : cartes des vitesses des courants orbitaux de la baie de Bejaia et Jijel dans les conditions du vent annuelle moyenne dans la direction dominante ouest avec une bathymétrie OpenCPN.....	43
Figure 16 : Les étapes de la création d'une la grille régulière par interpolation à l'aide de surfer	45
Figure 17 : Les étapes d'exécution des données en format netCDF avec le logiciel de d'information géographique ArcGIS 10.....	46
Figure 18 : Résultats d'exécution du fichier de donnée du niveau de la mer (.NetCDF) sur ArcGIS10.....	47
Figure 19 : Procédure d'extraction des données numérique à partir d'un fichier raster avec MapInfo. ....	48
Figure 20 : Texte des commandes et des paramètres (.swn) .....	50
Figure 21 : Les deux feuilles connecter du formulaire de commande crée avec Excel.....	51
Figure 22: Model de l'extension "SWAN View" pour les représentations graphique des résultats de sortie du modèle numérique SWAN sur ArcGis. ....	53
Figure 23: l'extension "Swan viewer " de représentation graphique des résultats de sortie du modèle numérique SWAN. ....	53
Figure 24 : Mode d'utilisation du modèle Swan .....	54
Figure 25 : Cartes d'anomalies du niveau de la mer obtenue à partir des données altimétriques du 25.03.2004 de Aviso+.....	58

Figure 26 : Cartes d'anomalies du niveau de la mer obtenue à partir des données altimétriques du 30.10.2004 d'Aviso+.....	58
Figure 27 : Carte du champ de circulation générale du bassin méditerranéenne occidental du 01.04. 2014.extrait des données NetCDF télécharger depuis le site de référence altimétrique de AVISO+.....	59
Figure 28 : Carte de la circulation générale du bassin méditerranéenne occidental du 01.10.2014.extrait des données NetCDF télécharger depuis le site de référence altimétrique de AVISO+.....	59
Figure 29: Cartes des hauteurs significatives de la houle au niveau de la baie de Bejaia et la baie de Jijel Résultats de la modélisation numérique du modèle SWAN selon des conditions du vent mensuelle.....	61
Figure 30: Carte des hauteurs significatives de la houle au niveau de la baie de Bejaia et la baie de Jijel Résultats de la modélisation numérique du modèle SWAN selon des conditions du vent annuelles moyenne.....	61
Figure 31: Cartes des courants orbitaux générés près du fond au niveau de la baie de Bejaia et la baie de Jijel Résultats de la modélisation numérique du modèle SWAN selon des conditions du vent mensuelle.....	63
Figure 32: Carte des courants orbitaux générés près du fond au niveau de la baie de Bejaia et la baie de Jijel Résultats de la modélisation numérique du modèle SWAN selon des conditions du vent annuel moyenne.....	63
Figure 33: Cartes des hauteurs significatives de la houle au niveau de la baie de Bejaia et la baie de Jijel Résultats de la modélisation numérique par le modèle SWAN selon des conditions du vent annuelle moyennes et maximales, et avec un niveau de la mer absolu.....	63
Figure 34: Cartes des courants orbitaux générés près du fond au niveau de la baie de Bejaia et la baie de Jijel Résultats de la modélisation numérique par le modèle SWAN selon des conditions du vent annuelles moyennes et maximales, avec un niveau de la mer absolu.....	64
Figure 35:Cartes des hauteurs significatives de la houle au niveau de la baie de Bejaia et la baie de Jijel Résultats de la modélisation numérique par le modèle SWAN selon des conditions du vent annuelles moyennes et maximales, avec un niveau de la mer absolu de 45cm.	65
Figure 36:Cartes des courants orbitaux générés près du fond au niveau de la baie de Bejaia et la baie de Jijel Résultats de la modélisation numérique par le modèle SWAN selon des conditions du vent annuelles moyennes et maximales, avec un niveau de la mer absolu de 45cm	65
Figure 37:Cartes des hauteurs significatives de la houle au niveau de la baie de Bejaia et la baie de Jijel Résultats de la modélisation numérique par le modèle SWAN selon des conditions du vent annuelles moyennes et maximales, avec intégration de la grille du niveau de la mer minimal et la grille courant général de secteur Ouest.....	66

Figure 38:Cartes du courant orbital généré près du fond au niveau de la baie de Bejaia et la baie de Jijel Résultats de la modélisation numérique par le modèle SWAN selon des conditions du vent annuelles moyennes et maximales, avec intégration de la grille du niveau de la mer minimal et la grille courant général de secteur Ouest.....	67
Figure 39:Cartes des hauteurs significatives de la houle au niveau de la baie de Bejaia et la baie de Jijel Résultats de la modélisation numérique par le modèle SWAN selon des conditions du vent annuelles moyennes et maximales, avec intégration de la grille du niveau de la mer maximal et la grille courant général de secteur Ouest.....	67
Figure 40:Cartes du courant orbital généré près du fond au niveau de la baie de Bejaia et la baie de Jijel Résultats de la modélisation numérique par le modèle SWAN selon des conditions du vent annuel moyennes et maximales, avec intégration de la grille du niveau de la mer maximale et la grille courant général de secteur Ouest.....	68
Figure 41:Cartes des hauteurs significatives de la houle au niveau de la baie de Bejaia et la baie de Jijel Résultats de la modélisation numérique par le modèle SWAN selon des conditions du vent annuelles moyennes et maximales, avec intégration de la grille du niveau de la mer minimal et la grille courant général de secteur Est. ....	69
Figure 42:Cartes du courant orbital généré près du fond au niveau de la baie de Bejaia et la baie de Jijel Résultats de la modélisation numérique par le modèle SWAN selon des conditions du vent annuel moyennes et maximales, avec intégration de la grille du niveau de la mer minimale et la grille courant général de secteur Est. ....	69
Figure 43 : Carte bathymétrique de la baie d'Alger	70
Figure 44 : Cartes des hauteurs significatives de la houle au niveau de la baie d'Alger et de Boulsmail, Résultats de la modélisation numérique par le modèle SWAN selon des conditions du vent annuelle moyennes.....	71
Figure 45 : Cartes des hauteurs significatives de la houle au niveau de la baie d'Alger, Résultats d'une modélisation numérique par le modèle SWAN (résolution 50m) selon des conditions du vent annuelle moyennes.....	72
Figure 46 : Cartes des vitesses des courants orbitaux de la houle au niveau de la baie d'Alger, Résultats d'une modélisation numérique par le modèle SWAN (résolution 50m) selon des conditions du vent annuelle moyennes.....	73
Figure 47 : Image satellitaire de la baie de ELAouana, Jijel	77
Figure 48: cartes des hauteurs significatives au Niveau de la baie d'El-Aouana selon les plus fortes activités hydrodynamiques enregistrées au niveau de la baie de Bejaia et Jijel (vent ouest) .....	78
Figure 49 : cartes des hauteurs significatives au Niveau de la baie d'El-Aouana selon la plus faible activité hydrodynamique enregistrée au niveau de la baie de Bejaia et Jijel (vent Est).....	78
Figure 50 : cartes des vitesses de courant orbital de la baie d'El-Aouana selon les plus fortes activités hydrodynamiques enregistrées au niveau de la baie de Bejaia et Jijel .....	78

Figure 51 : cartes des vitesses de courant orbital de la baie d'El-Aouana selon la plus faible activité hydrodynamique enregistrée au niveau de la baie de Bejaia et Jijel (vent Est) .....	78
Figure 52 : cartes d'énergie des vagues de la baie d'El-Aouana selon les plus fortes activités hydrodynamiques enregistrées au niveau de la baie de Bejaia et Jijel (vent ouest) .....	79
Figure 53: cartes d'énergie des vagues de la baie d'El-Aouana selon la plus faible activité hydrodynamique enregistrée au niveau de la baie de Bejaia et Jijel (vent Est) .....	79
Figure 54 : représentation vectorielle de propagation d'énergie des vagues.....	79

## Liste des tableaux :

<b>Tableau 1 :</b> Caractéristiques des zones d'études.....	39
<b>Tableau 2 :</b> Direction du vent dominante, mensuelle et annuelle enregistré entre avril 2010 et avril 2015.a Bejaia .....	57
<b>Tableau 3 :</b> Vitesse du vent moyenne, mensuelle et annuelle enregistré dans une période de 10 ans niveau de Bejaia par l'ONM.....	57
<b>Tableau 4 :</b> Vitesse du vent maximal, mensuelle et annuelle enregistré dans une période de 10 ans niveau de Bejaia par l'ONM.....	57
<b>Tableau 5 :</b> Vitesse du vent moyenne, mensuelle et annuelle enregistré dans une période de 10 ans niveau de d'Alger par l'ONM.....	71
<b>Tableau 6 :</b> Direction du vent dominante, mensuelle et annuelle enregistré entre avril 2010 et avril 2015 à Alger (Alger-Port. Windfinder) .....	71

## Liste des acronymes :

A : Amplitude de la vague

$\vec{c}$  : vitesse de phase de la vague

$\vec{c}_g$  : Vitesse de groupe

$C_\sigma$  : vitesse de transfert de densité d'action des vagues en fréquence

$C_\theta$  : Vitesse de transfert angulaire de densité d'action des vagues

$C_f$  : Coefficient de frottement au fond

$\vec{e}_k$  : Le vecteur unitaire.

$E_c$  : L'énergie cinétique

$E_p$  : L'énergie potentielle

$F_m$  : Forçage du au vent

$F_r$  : Forçage résiduel

$g$  : Constante gravitationnelle

$h$  : Profondeur d'eau moyenne

$H$  : Hauteur (crête à creux) de la vague

$H_0$  Hauteur de la vague au large

$H_s$  : Hauteur significative des vagues au large

$K$  : Nombre d'onde de la vague

$K_m$ : Kilomètres.

$N$  : Densité spectro-angulaire d'action des vagues

ONM: Office National de la Météo

$P$  : La pression

$p$ : La masse volumique

$S$  : Terme (source et puit) dans l'équation de conservation de la densité spectro-angulaire d'action des vagues

SWAN: Simulating Waves Near Shore

$t$  : le temps

$T$  : La période

$U_r$  : Courant de retour

$\beta$  : Pente locale du fond

$\delta$  : masse volumique

$\lambda$  : Longueur d'onde de la vague

$\eta$  : Cote de la surface libre

$\omega$  : Pulsation de la vague

$\Omega$  : vitesse angulaire de rotation terrestre

$\Phi$  : La latitude

$\sigma$  : Fréquence relative de la vague

$\tau$  : contrainte de frottement

$\theta$  : Incidence des vagues (par rapport à la normale à la cote)

## Liste des équations :

<b>Equation 1</b> : Propagation de l'onde $\vec{c}$ ou vitesse de phase.....	24
<b>Equation 2</b> : L'énergie potentielle de la houle par rapport au niveau de repos.....	24
<b>Equation 3</b> : L'énergie cinétique de la houle .....	24
<b>Equation 4</b> : L'énergie totale de la houle.....	25
<b>Equation 5</b> : Mouvement horizontal suivant Y .....	34
<b>Equation 6</b> : Mouvement horizontal suivant Y.....	34
<b>Equation 7</b> : Equation de continuité.....	34
<b>Equation 8</b> : Equation de conservation de la densité spectrale de l'action de la vague.....	34
<b>Equation 9</b> : la vitesse du courant orbital au fond.....	35



# Table des Matières

## Table des matières :

Introduction : .....	19
Chapitre 1 : hydrodynamisme marin .....	22
1.1- La marée .....	22
1.2- La houle.....	22
1.1.1- Mode de formation des vagues et des houles .....	23
1.1.2- Caractéristique de la houle.....	23
1.1.3- L'énergie de la houle.....	24
1.3- Les courants.....	25
1.3.1- Caractéristiques des courants.....	25
1.3.2- Les forces qui interviennent dans la génération des courants.....	26
1.3.3- Le courant général (Circulation générale) .....	27
1.3.4- Les courants côtiers .....	28
1.3- Les interactions houle-courants.....	29
1.4- Hydrologie du Bassin Algérien.....	30
Chapitre 2 : Modélisation numérique hydrodynamique .....	32
2-1- Le principe des modèles numériques hydrodynamiques.....	33
2-2- Equations de base de la modélisation des courants et des vagues.....	33

# Table des matières

2-3- Présentation du modèle SWAN .....	34
2-1 Paramètres physiques résolus par Swan.....	36
Chapitre 3 : Zone d'étude .....	37
3-1- Limitation des zones d'études.....	38
3-1-1 - Zones modélisée pour la validation du modèle SWAN.....	38
3-2- Zone modélisée pour le classement des zones à forte potentiel énergétique.....	40
Chapitre 4 : Préparation des données et mode de représentation des résultats.....	41
4-1- Le choix de la source des données bathymétrique .....	42
4-2- Préparation des données d'enter (Input data) .....	44
4.2.1- Préparation des grilles d'entrées (input grid data) .....	44
4.2.2- La préparation de la grille bathymétrique .....	45
4.2.3- Préparation des grilles du niveau de la mer et des courants.....	46
4.2.4- Les conditions de frontières .....	49
4-3- preparation du fichier de commande (.swn).....	49
4.4- Création d'une interface pour le texte des commandes Swan.....	50
4.5- Programmation d'une extension de traitement et d'affichage des résultats.....	52
4.7- Mode d'utilisation du modèle Swan.....	54

## Table des matières

Chapitre 5 : Evaluation et validation du modèle SWAN.....	55
5-1- Etude des effets des données d'entrer sur les données de sortie.....	56
5-1-1- Résultats et Discussions :.....	59
5-2- Mode de fonctionnement de la commande des conditions limites.....	70
5-2-1- Résultats et discussions .....	71
5-3- Conclusion.....	73
Chapitre 6 : Classification des zones à forte potentielénergétique.....	75
6-1- Les conditions modélisées.....	77
6-2 - Résultats et discussions.....	78
Conclusion générale .....	81
Références bibliographique.....	84
Annexes .....	88



# Introduction

# Introduction :

Actuellement plus 60% de la population Algérienne est installés à moins de 150 Km de la côte. Cette forte concentration de population près du littoral, est en relation avec des activités économiques considérables dans divers secteurs (MAGNAN.A, 2009). Comme le secteur de la pêche et l'aquaculture, et le secteur énergétique qui regroupe les activités offshores, et dans certains pays les énergies marines renouvelable. De plus, les échanges par voies marine sont de plus en plus importants. La connaissance de ce système littoral constitue donc la préoccupation majeure de la communauté scientifique dans l'intérêt du développement économique.

La connaissance des facteurs hydrodynamiques est un moyen essentiel dans toutes les études des milieux marins. L'étude expérimentale in-situ de l'hydrodynamique marine est une tâche très complexe (CASTELLE.B, 2004). Les tempêtes, Les variations bathymétriques rapides et le problème de corrosion, font que l'installation et les maintenances des capteurs sont rigoureuses et très coûteuse.

Aujourd'hui, de nombreux modèles numériques hydrodynamiques ont été développés, la simulation numérique est devenue l'un des outils principaux dans l'étude du comportement hydrodynamique marin. Dans notre travail on s'est posé deux questions de base :

-Comment peut-on rapprocher les résultats de la modélisation numérique de la réalité ?

-Peut-on classer les zones côtières selon leur potentielle énergétique en utilisant les modèles numériques ?

La présente étude consiste est un essai de répondre sur les questions précédentes en utilisant le code Swan. Le modèle Swan permet d'obtenir des estimations sur les caractéristiques des vagues dans les zones côtières, en prenant en considération l'ensemble des facteurs modificateurs, dont le courant, et les anomalies du niveau de la mer. Pour cela nous avons développé la méthodologie suivante :

- Comprendre le mode de fonctionnement du modèle numérique Swan.
- Etude d'effet des différentes données d'entrer sur les résultats du modèle de Swan

Mais on s'est pas arrêté à cette partie de maîtrise de SWAN et l'étude de ces cas limites nous nous sommes intéressées à :

- Développer un outil qui facilite le remplissage des commandes Swan.
- Développer un outil de représentation des résultats de sortie de SWAN.

Comme application principale nous nous sommes intéressées à :

- Réaliser une classification des zones à fort potentiel énergétiques.

Ce mémoire est organisé en six chapitres ; dont le premier fait l'objet d'une description générale de l'hydrodynamisme marin et ses principaux composantes, la marée la houle et les courants.

Le second chapitre, fournit une description de la modélisation numérique et du principe de fonctionnement des modèles numériques hydrodynamiques avec une présentation du modèle numérique Swan à la fin du chapitre.

Le troisième chapitre est consacré à une présentation des zones d'étude choisies et de leur caractéristique.

Le quatrième chapitre est réservé à une description détaillée sur les données d'entrée utilisées dans la modélisation ; leurs sources, les étapes de leur préparation et les étapes de création des grilles, et à la fin de ce chapitre, une représentation d'un outil utilisé pour le remplissage du texte de commande de Swan qu'on a créé à partir de l'Excel, ainsi qu'une représentation d'une extension ArcGIS qu'on a programmé pour la représentation des résultats de sortie de Swan.

Le cinquième chapitre, est consacré à une évaluation et une validation du modèle numérique Swan. Dans ce chapitre on va représenter les résultats d'un test de fonctionnement du modèle Swan par rapport aux données d'entrée et par rapport à différentes zones d'étude. On va représenter aussi le résultat d'un autre test de fonctionnement de la commande des conditions limites, recommandés par Swan. Ce test nous permet de bien comprendre le fonctionnement du modèle Swan pour le bon choix des paramètres à attribuer dans le cadre de notre étude de classification des zones à fort potentiel énergétiques.

Dans le dernier chapitre, on a abordé notre étude concernant la classification des zones à fort potentiel énergétiques en utilisant le modèle numérique Swan, et en se basant sur les remarques et les conclusions tirées dans le chapitre 5.

On termine ce travail, par une conclusion générale dans laquelle nous synthétisons l'ensemble des résultats et des remarques observées au cours de ce travail.



# **Chapitre 1 : Hydrodynamisme Marin**

## **Chapitre 1 : Hydrodynamisme marin**

L'hydrodynamique littorale est le résultat d'inter actions complexes entre états de mer, courants et niveaux d'eau. La compréhension de ces phénomènes hydrodynamiques est par ailleurs nécessaire à la gestion des zones côtières du fait de leur rôle dans le transport sédimentaire, le transport de larves et polluants, et le risque qu'ils représentent pour les activités nautiques. Si les phénomènes d'interaction entre l'état de la mer et des courants uniforme sur la verticale sont désormais assez bien connus, plusieurs effets observés semblent être intimement liés à la forte variation du courant sur la verticale, en particulier dans la zone de déferlement, avec le mélange horizontal induit par le cisaillement vertical (SVENDSEN, et al., 1994), ou la concentration en surface de courants opposés aux vagues (ARDHUIN, 2005), mais aussi sur le plateau continental (LENTZ, et al., 2008), avec la formation de sous-courants.(BENNIS.A, et al., 2010).

### **1-1- La marée :**

Les marées ont une cause fondamentalement astronomique puisqu'elles résultent de l'effet direct des forces de gravitation exercées par la lune et le soleil sur l'hydrosphère marine. Mais elles subissent aussi, par un phénomène de résonance, l'influence de la forme des bassins océaniques et elles sont encore modifiées à l'approche des côtes par la topographie des fonds marins et le tracé des rivages. (PASKOFF, 2010)

Dans les côtes algériennes, l'amplitude de la marée n'est pas importante, le marnage est de l'ordre de 20 à 30 cm en pleine lune et de 5 à 15 cm en nouvelle (BERKENNOU,N. 2012). Vue que le marnage est très faible, les conditions de marée n'ont pas été prises en considération dans notre cas d'étude.

### **1-2- La houle:**

La surface de la mer présente généralement une suite indéfinie d'ondulations parallèles presque identiques qui se propagent de façon sensiblement uniforme vers le rivage. On appelle houle cet ensemble d'ondulations ou de vagues.

De nombreuses et diverses théories mathématiques ont été établies pour expliquer et calculer la houle régulière. Mais la surface de la mer est beaucoup plus compliquée que celle décrite par la théorie.' La houle réelle résulte d'un ensemble d'oscillations diverses qui chacune

individuellement s'apparente à la houle théorique. La houle est une oscillation qui n'intéresse que la partie superficielle du fluide. Elle se propage sans déformation tant que la profondeur est grande ; A l'approche du rivage ou des ouvrages artificiels sa Propagation est modifiée par réfraction, diffraction, réflexion ou déferlement.(BONNEFILLE.R, 1992)

### **1-2-1- Mode de formation des vagues et des houles :**

Les vagues sont des perturbations de la surface de l'eau qui donne naissance à un train d'ondes stationnaires (la Houle). Généralement, c'est le vent qui est à l'origine des vagues. Lorsque le vent commence à souffler au-dessus d'une étendue marine calme, il se forme une couche turbulente dans l'air au-dessus de la surface. La pression atmosphérique, à cette interface eau-air, n'est plus uniforme mais présente des fluctuations, dans le temps et dans l'espace. La surface de l'eau, comme si elle était soumise à l'action d'une multitude de petits pistons indépendants, commence à se déformer : elle devient plus "rugueuse". La turbulence de l'air en est augmentée et donc aussi, le couplage entre atmosphère et océan. Si le vent reste constant suffisamment longtemps, le phénomène se stabilise au bout de plusieurs heures: les vagues atteignent en un point une hauteur limite qui dépend de la force du vent et du fetch, c'est à dire la distance sur laquelle le vent exerce son action en amont de ce point, dans la direction d'où il souffle. On parle alors d'un état de mer complètement développé. Ce phénomène complexe de transfert de l'énergie de l'atmosphère vers l'océan a donné lieu à de nombreux travaux théoriques et à des modèles de prévisions. (DAMYS,M.G et GAUTHIER. 1981)

### **1-2-2- Caractéristique de la houle**

La houle est une onde de gravité qui se propage à la surface des océans. La Figure II.5 montre la schématisation d'un champ de vagues et les différents paramètres qui nous Permettent de le caractériser. L'onde a une hauteur  $H$  ( $H = 2A$ , où  $A$  est l'amplitude), Une période  $T$ , une longueur d'onde  $\lambda$ , un nombre d'onde  $k$  (avec  $k = 2\pi/\lambda$ ) et se propage dans une profondeur d'eau moyenne  $h$  a une vitesse  $c$ . On note  $\eta(x, t)$  la cote de la surface libre.

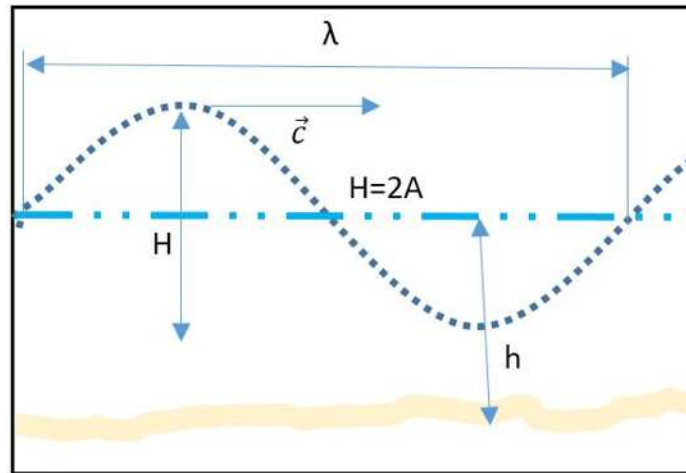


Figure 1 : Représentation des paramètres caractéristique des vagues

En milieu côtier, le caractère non linéaire des vagues les rend difficiles à appréhender. Toutefois, en première approximation, la théorie linéaire (ou développement de Stokes au premier ordre, ou houle d'Airy) permet de décrire la dynamique des vagues en zone côtière. On obtient alors la vitesse de propagation de l'onde  $\vec{c}$  ou vitesse de phase :

$$\vec{c} = \frac{\omega \vec{k}}{k} = \sqrt{\frac{g}{k} \tanh(kh)} \cdot \vec{e}_k \quad (1)$$

Avec  $\vec{e}_k = \frac{\vec{k}}{k}$  le vecteur unitaire.

Cette équation montre que les vagues sont dispersives. En effet, les vagues les plus longues (faible nombre d'onde  $k$ ) se propagent plus rapidement que les vagues courtes. (CASTELLE.B, 2004)

### 1-2-3- L'énergie de la houle:

L'énergie de la houle s'évalue par longueur d'onde et unité de largeur. Elle est la somme, d'une part de l'énergie potentielle par rapport au niveau de repos :

$$E_p = \int_0^L \rho g \frac{\zeta^2}{2} dx = \frac{1}{16} \rho g H^2 L \left( 1 - \frac{\pi^2 H^2}{2L^2} \right) \quad (2)$$

Et d'autre part de l'énergie cinétique :

$$E_c = \int \frac{1}{2} \rho V^2 dx dz = \frac{1}{2} \rho \int V^2 \frac{\partial(x.z)}{\partial(x_0.z_0)} dx_0 dz_0 = \frac{1}{16} \rho g H^2 L \left( 1 - \frac{\pi^2 H^2}{2L^2} \right) \quad (3)$$

L'énergie totale est :

$$E = E_P + E_C = \frac{1}{8} \delta g H^2 L \left( 1 - \frac{\pi^2 H^2}{2L^2} \right) \quad (4)$$

Avec :

E : L'énergie totale

E<sub>c</sub> : L'énergie cinétique

E<sub>p</sub> : L'énergie potentielle

δ: masse volumique

g : force de gravité

H : profondeur de la mer au repos

L : longueur d'onde

(BONNEFILLE.R, 1992)

### **1-3- Les courants:**

Le courant marin est un déplacement des masses d'eau dans une direction donnée et avec une certaine vitesse. Plusieurs causes contribuent à former les courants marins : Les gradients de température et de densité des eaux, les vents qui frotte la surface de la mer, les marées, et d'autres phénomènes naturels comme les séismes.

La mer Méditerranée est connue par son excès d'évaporation par rapport aux apports fluviaux et aux précipitations, ceci est responsable d'une baisse de niveau de la mer estimée à 1m/an , ce déficit est compensé par un flux entrant d'eau atlantique, par le détroit de Gibraltar. Ces eaux au fur et à mesure de leur progression vers l'est, elles se « méditerranisent » le long des côtes algériennes, d'où l'appellation du courant algérien. (BACHARI.F, 2009)

#### **1-3-1- Caractéristiques des courants :**

Le courant marin est caractérisé par trois éléments principaux, sa vitesse sa direction et sa température.

La vitesse du courant en milieux naturel pouvant être modifiée par une combinaison de facteurs tels que : l'effet du vent sur la surface libre, la houle, la turbulence et la bathymétrie.(MAGANGA.F, 2011).Concernant La direction des courants marins, elle dépend de plusieurs facteurs, dont la direction du vent, la direction de la houle, la bathymétrie, la pression atmosphérique, la force de Coriolis, ainsi que la répartition de température et de salinité des eaux ect...

**1-3-2- Les forces qui interviennent dans la génération des courants :**

Les courants marins à l'échelle régionale, résultent des influences de la circulation à l'échelle océanique ainsi que les forçages locaux, principalement les conditions hydrométéorologiques, Et l'action des houles et de leurs déferlements à la cote.

On peut répartir les forces qui interviennent dans la génération des courants en deux type de force, les forces externes et les force interne.

Les forces externes sont des agents principaux de génération des courant et des vagues, parmi ces forces on a principalement la force du vent, et la force de pression.

Le vent est une force génératrice de la houle, le vent est également un facteur moteur des courants côtiers. Selon la théorie d'Eckman, un vent uniforme et constant provoque, en surface, le déplacement des masses d'eau par friction. (BRIERE.C, 2009).

La vitesse de surface et le transport des masses d'eau ont une composante fortement liée à l'action du vent. L'observation à l'échelle globale ou locale des informations de vent implique une connaissance sur les mouvements de la surface océanique. Le courant de d'origine crée par l'action du vent est plus ou moins fort selon la durée et l'intensité du vent soufflant en surface. (DANILO.C, 2009)

Concernant les force de pression, Les échanges thermodynamiques et mécaniques, et les mouvements qu'ils induisent dans l'océan comme dans l'atmosphère, génèrent des variations de pression atmosphérique et océanique, qui vont « organiser » la circulation des deux fluides. la pression océanique en un point (pression hydrostatique) représente le poids de la colonne d'eau au-dessus d'une surface en profondeur prise comme référence ; elle dépend de la densité et donc de la température, de la salinité et bien sûr de la hauteur de la colonne d'eau. Les variations du niveau de la surface de la mer que mesurent les satellites sont une représentation précise du champ de pression océanique. (VOITURIEZ.B, 2012).

À proximité des côtes, des élévations ou des abaissements du niveau marin se rencontrent suite à l'action d'entraînement dû au vent. On peut également rencontrer ce genre de situation ailleurs à cause des effets de pression atmosphérique exercée par l'atmosphère. Il apparaît donc une pente de surface qui provoque des courants appelés « courants de pente». (DOGLIOLI,A.M. et al., 2014)

Concernant les forces internes, elles se caractérisent principalement dans la force de gravité

La gravité  $g$  s'exerce à la verticale et n'a donc pas de composante horizontale. Sa valeur varie légèrement en fonction de la latitude et de l'immersion. Mais pour les calculs du courant géostrophique, elle peut être considérée comme constante :  $g = 9.80 \text{ m.s}^{-2}$ . La force exercée par la gravité sur une parcelle d'eau de masse  $m$  est  $F_g = m.g$ . (DANIAULT.N, et al., 2005)

La force de gravité ne s'exerce que dans la direction verticale et ne peut pas accélérer les courants horizontalement. Elle ne joue un rôle important que pour les mouvements verticaux, par exemple lors des phénomènes de convection. (DOGLIOLI, 2012)

En plus de ces forces interne et externe, on peut ajouter un troisième type de forçage qui sont les forces modificatrices, ces forces sont principalement la force de Coriolis et les forces de frottement.

**Le facteur de Coriolis  $f$  est définie par la formule suivante :**

$$f = 2\Omega \sin \varphi \text{ et } f\theta = 2\Omega \cos \varphi.$$

(Deux fois la vitesse de rotation du plan tangent).

La composante horizontale de l'accélération de Coriolis est perpendiculaire au courant, dirigée à droite du mouvement dans l'hémisphère nord, à gauche dans l'hémisphère sud (à cause du changement de signe de  $\varphi$ ). (DANIAULT.N, et al., 2005)

Par rapport aux forces de frottement, le vent transmette leurs énergies cinétiques aux eaux de surface frottement qui dépend de la viscosité de l'eau.

Les particules d'eau en déplacement en surface ou en profondeur entraînent les particules eau sous-jacente par action de frottement qui dépend de la viscosité de l'eau, cette transmission de mouvement se répète de couche en couche en diminuant progressivement l'énergie cinétique. (BELY.P, 2004)

### **1-3-3- Le courant général (Circulation générale) :**

La circulation générale de surface est gouvernée, globalement par la force de Coriolis.

Toutes les masses d'eau (eau atlantique, AW et eau méditerranéenne MWs) qui circulent à l'échelle du bassin méditerranéen tendent à suivre, dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, les isobathes à leur propre niveau et à décrire, dans les deux bassins, des gyres quasi

permanentes de quelques dizaines de Km d'épaisseur et de quelques milliers de Km de long, le long de la pente continentale (Figure. 6) (MILLOT.C, et al., 2004)

**1-3-4- Les courants côtiers :**

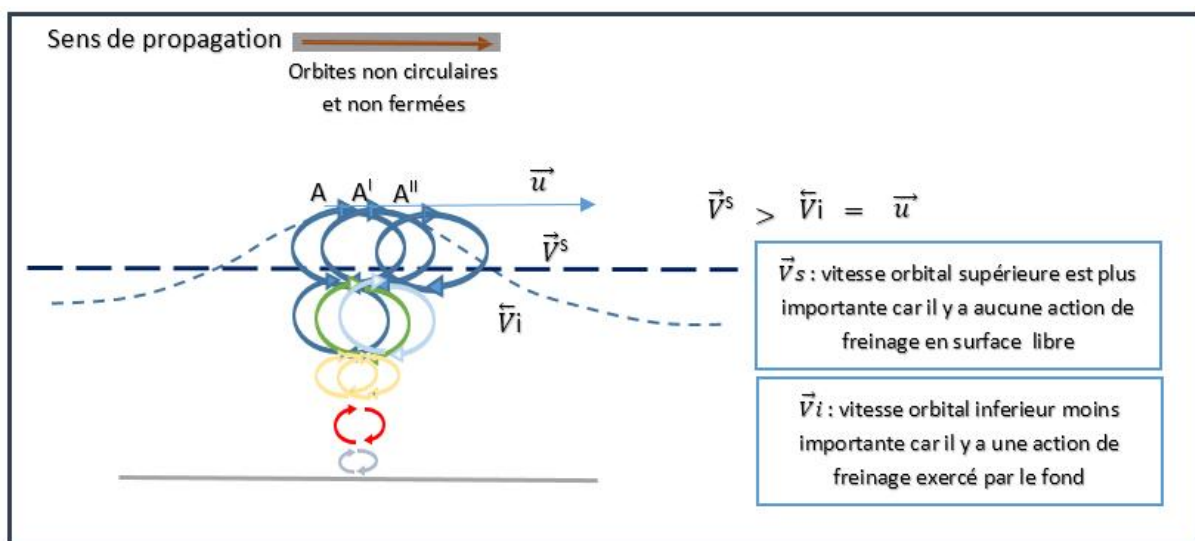
Dans les régions côtières, les courants sont d'une autre nature que ceux qui se développent en pleine mer. Les grands courants océaniques agissent peu dans les faibles profondeurs qui caractérisent les abords des continents où les courants sont surtout engendrés par la marée et les vagues.

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

Les courant côtier existe sous différente forme qui dépend à son mode de formation.

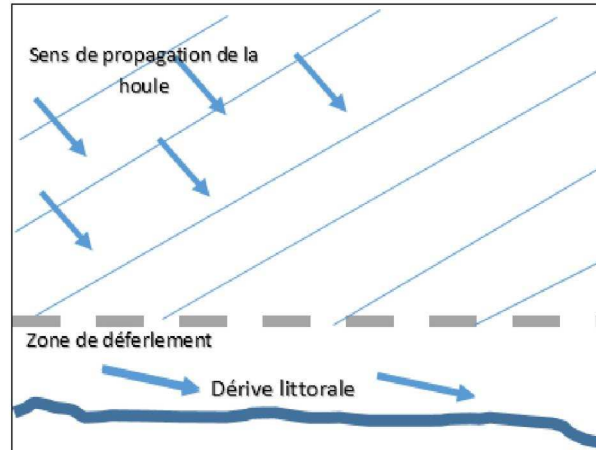
Les courants qui sont intéressants pour la compréhension de l'évolution des littoraux sont les courants engendrés par les vagues. (PASKOFF.R, 2010).

La présence des fonds marins exerce u frottement sur le mouvement orbital des particules d'eau et déforme de ce fait leur trajectoire (circulaire a elliptique). De plus la composante  $V_s$  devient supérieur a  $V_i$ , la résultante s'exprime par un déplacement des particules d'eau dans le sens de la propagation et génère un courant que l'on appelle courant orbital ou d'oscillation ( $\vec{U}$ ). Toutefois en période de tempête, la direction du courant orbital peut s'inverser. (GUILCHIER.A, 1979).



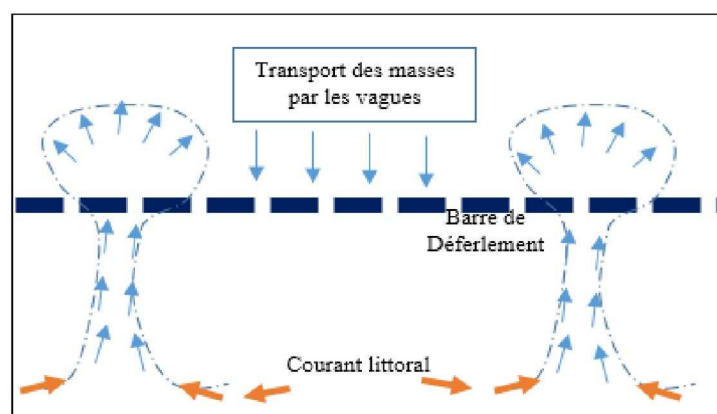
**Figure 2:** Propagation du mouvement oscillatoire engendrer par la houle

De plus lorsque la houle se déferle avec une certaine obliquité par rapport au rivage, elle donne naissance à un Courant parallèle au rivage dans le sens est celui de la composante suivant le rivage de la célérité des vagues. Ce courant est appelé, le courant littoral. Il est localisé dans la zone comprise entre le déferlement et la côte (Figure 2), (MIHOUBI.M. K, 2013)



**Figure 3 :** Description de la formation des courants littoraux

L'obliquité de la houle et la morphologie du littoral son aussi à l'origine de formation d'un courant très puissant appeler le courant de retour (courant de compensation ou 'undertow'). Il correspond au flux d'eau, maximal près du fond orienté dans la direction opposée de la propagation des houles. Equilibrant l'apport de masse vers la plage, il est maximal dans la zone de déferlement et présente une allure décroissante vers le large jusqu'en dehors de la zone de surf. Il est responsable de l'érosion des côtes et de la formation des barres sableuses parallèles au trait de côte. (Figure 4) (TAMTARE.T, 2013)

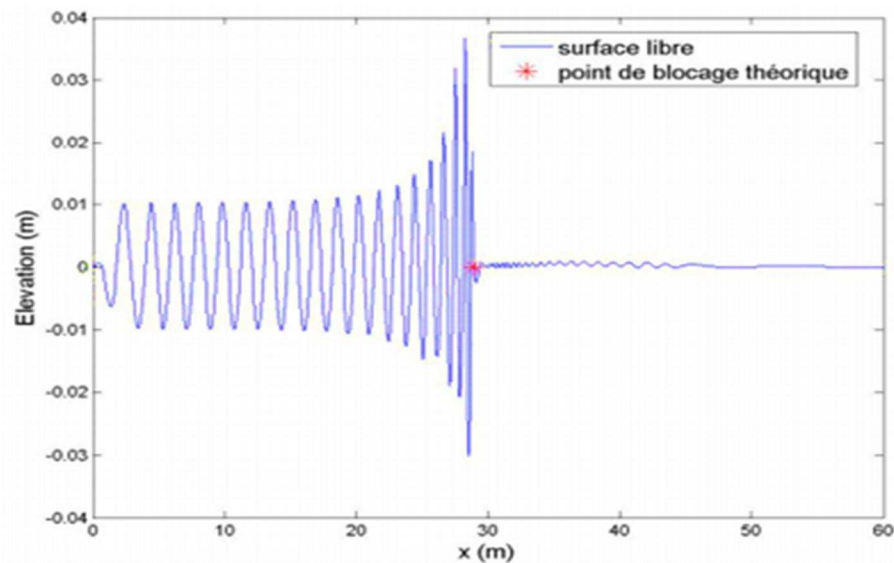


**Figure 4 :** Description de la formation des courants de retour (rip current)

#### 1-4- Les interactions houle-courants :

Un travail expérimental réalisé par M. LE BOULLUEC et al, sur les interactions houle-courant a permis de mettre en évidence d'une part l'impact de la superposition d'une houle et d'un courant sur le profil vertical de l'écoulement moyen, et d'autre part l'effet du courant sur le calcul de la hauteur de la houle à partir de capteurs de pression sur le fond. (GUINOT, et al., 2007).

La figure 8 montre l'élévation de la surface libre (sans la composante stationnaire due au courant)



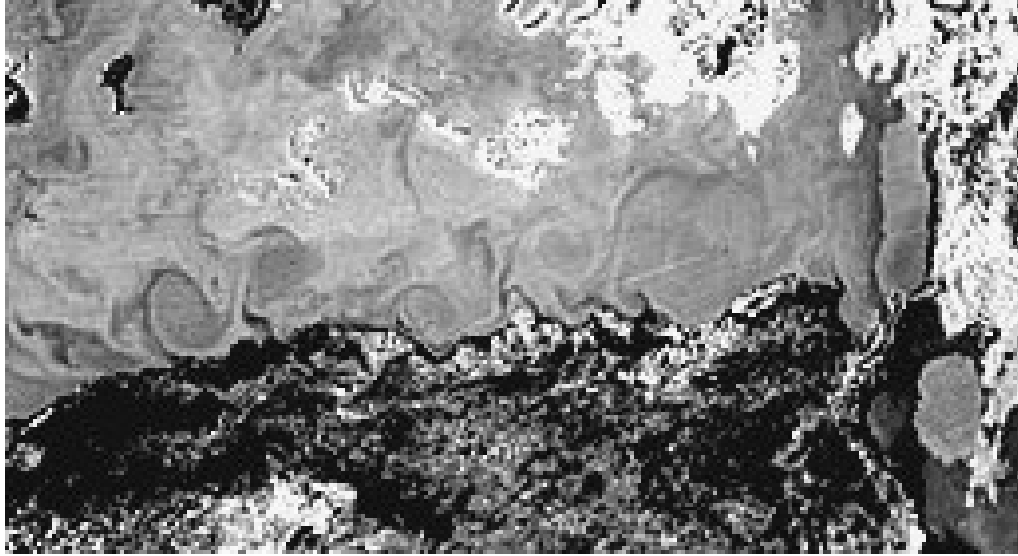
**Figure 5 :** Vagues bloquées par un courant opposé (GUINOT.F, et al., 2008)

#### 1-5- Hydrologie du Bassin Algérien :


Le bassin algérien constitue une zone clé pour la circulation générale dans la Méditerranée occidentale (PUILLAT, et al., 2002), un réservoir où l'eau d'origine atlantique s'accumule avant de s'écouler vers le nord et vers l'Est.

Le courant algérien correspondant au flux de l'eau atlantique modifiée (MAW) le long du talus algérien où ses caractéristiques sont particulières, est initialement un courant côtier (aux alentours de 0°) de quelques dizaines de km de large et quelques centaines de km d'épaisseur. Ce courant est instable car il génère deux types de phénomènes à méso-échelle observés de ~ 0° à 8°E. La plupart du temps, il engendre des séries de tourbillons relativement peu importants et peu profonds qui n'ont pas de conséquences significatives sur la circulation des masses d'eau.

Cependant, ce courant forme, occasionnellement, de larges méandres qui ont des conséquences dramatiques sur la circulation de ces masses d'eau (MILLOT.C, et al., 2004).



**Figure 6 :** Image satellitaire MODIS; Dynamique des eaux de surface dans le bassin Algérien (BACHARI.Nour.el.islam, 2013)



# **Chapitre 2:** **Modélisation Numérique** **Hydrodynamique**

## Chapitre 2 : Modélisation numérique hydrodynamique

Les modèles hydrodynamiques sont des outils essentiels pour l'analyse de la circulation océanique. Ils permettent de calculer les variables pronostiques de l'océan dont la température, la salinité, les vitesses des courants et l'élévation de la surface libre. Ils permettent aussi de calculer des variables diagnostiques telles que l'énergie cinétique, la masse volumique et la verticité. Le développement de nouveaux schémas numériques (schéma d'advection, discrétisations temporelle et spatiales...), de nouveaux schémas de fermeture de la turbulence, et de nouvelles conditions aux frontières ouvertes reste nécessaire.

Les performances des modèles numériques dépendent, entre autres, des données issues des observations in situ et des données de télédétection. Sans parler pour l'instant d'assimilation, ces données permettent d'initialiser les modèles et de calculer des coefficients essentiels à la paramétrisation numérique. La comparaison des données numériques et des observations permet de tester les résultats des modèles et, en contrepartie, de mieux comprendre des phénomènes locaux observés en mer. (KERSALÉ.M, 2013)

### 2-1- Le principe des modèles numériques hydrodynamiques :

Les modèles numériques hydrodynamiques est un ensemble d'équations, qui décrivent le comportement de l'élément liquide, et des substances en solution ou en suspension qui forme un système aujourd'hui insoluble dans le cas général. Pour utiliser ce système, on devra effectuer un certain nombre de simplifications relatives à la géométrie des bassins, et à la forme des côtes, ou bien des hypothèses qui concernent les lois physiques et se traduiront dans l'expression même des équations. Moyennant un nombre de simplifications et d'hypothèses assez considérable, on pourra effectuer une résolution analytique, mais l'intérêt présenté par cette solution s'en trouvera fortement limité. (SALOMON.J.C, et al., 1981).

### 2-2- Les équations de base de la modélisation des courants et des vagues :

Les équations résolues par le modèle sont les équations primitives, c'est-à-dire les équations de Navier-Stokes, compte tenu de l'hypothèse hydrostatique et de l'approximation de Boussinesq. L'application de la conservation de la quantité de mouvement donne les deux équations suivantes, en coordonnées cartésiennes:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{1}{\delta_0} \frac{\partial p}{\partial x} + 2\Omega v \sin\Phi = F_m(u) \quad (5)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{1}{\delta_0} \frac{\partial p}{\partial y} + 2\Omega u \sin\Phi = F_m(v) \quad (6)$$

L'hypothèse hydrostatique donne:

$$\frac{\partial p}{\partial z} + g\delta = 0$$

Où  $u$ ,  $v$  et  $w$  sont les composantes zonale, méridienne et verticale de la vitesse  $U$ ,  $\Omega$  la vitesse angulaire de rotation terrestre et  $\Phi$  la latitude.  $F_m$  est un opérateur qui permet de paramétrer les tensions de Reynolds,  $p$  la pression,  $\rho$  la masse volumique et  $g$  est l'accélération gravitationnelle. L'application de la conservation de la masse (équation de continuité) pour un fluide incompressible donne :

$$\text{div}U = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (7)$$

. (LAUGIER.M, et al., 1994).

### 2-3- Présentation du modèle SWAN :

Le modèle SWAN (SimulatingWavesNearshore) (BOOJ, et al 1999) (version4041) est un modèle numérique qui permet d'obtenir des estimations des caractéristiques des vagues dans les zones côtières, pour des conditions de vent, courant et bathymétrie connus. Le modèle est basé sur l'équation de conservation de la densité d'action des vagues. SWAN est exécuté en mode troisième génération, stationnaire et bidimensionnel. (MOUAKKIR, et al., 2008) Les paramètres de sortie SWAN utilisés dans ce travail sont la hauteur significative, le courant orbital, et la force des vagues.

SWAN est issu du modèle HISWA développé dans le même laboratoire (Holthuijsen et al., 1989). Le modèle, qui prend en compte le déferlement bathymétrique, a été testé, à la fois dans la zone de déferlement et en dehors, par de nombreux auteurs (Ou et al, 2002; Cheung et al, 2003; Castelle et al,2006).

L'équation de conservation de la densité spectrale de l'action de la vague est résolue par:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial(CxN)}{\partial x} + \frac{\partial(CyN)}{\partial y} + \frac{\partial(C\sigma N)}{\partial \sigma} + \frac{\partial(C\theta N)}{\partial \theta} = \frac{S}{\sigma} \quad (8)$$

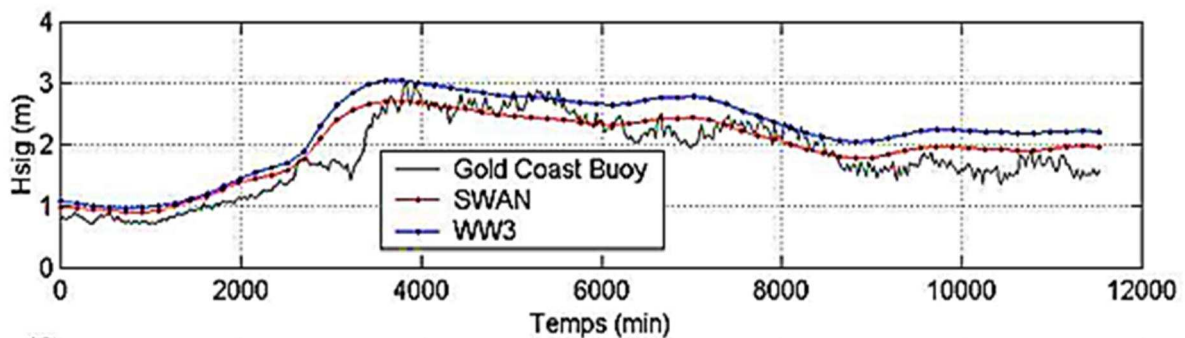
Où  $x$  et  $y$  sont les coordonnées cartésiennes horizontales,  $t$  est le temps,  $\theta$  est la direction de propagation de vague suivant chaque composant,  $C_x$ ,  $C_y$ ,  $C_\sigma$  sont des constantes de propagation de la viscosité,  $\sigma$  la fréquence relative de la vague,  $N$  est la densité spectre-angulaire d'action des vagues et  $S = S(\sigma, \theta, x, y, t)$  correspond à la somme des termes source et termes puits.  $S(\sigma, \theta, x, y, t)$  contribue à la dissipation ou à la génération de densité d'action des vagues.

SWAN propose aussi le calcul de la vitesse orbitale près du fond en sortie du modèle. Si on pose l'hypothèse d'une houle monochromatique, équivalente de hauteur  $h$  la vitesse orbitale au fond et de période égale à celle du pic. l'équation suivante est donnée par:

$$U_b = \frac{\pi \text{ hrms}}{\sqrt{2T\rho} \sinh\left(\frac{2\pi h}{L}\right)} \quad (9)$$

Le modèle Swan s'étale sur tout le spectre de la houle en fréquences et en direction ( $0^\circ$ - $360^\circ$ ). Par conséquent, le champ des vagues propage dans toutes les directions d'une manière simultanée et les interactions peuvent être modélisées.

SWAN a été validé après une comparaison des résultats de WW3 et de la bouée du Gold CoastSeaway. (Figure 8). L'intérêt du SWAN par rapport aux modèles globaux tels que WW3 réside dans sa précision sur des maillages allant jusqu'à  $20 \times 20$  m, et surtout pour les régions côtière de très faible profondeur, jusqu'à la zone de déferlement.



**Figure 7 :** Séries temporelles des conditions de houle ( $H_{sig}$ ) archivées du modèle WW3 au large, simulées par SWAN ( $H_{sig}$ ) au point  $153.26$  E/  $27.57$  S et enregistrées à la bouée du Gold CoastSeaway ( $H_{sig}$ ) pour la période du 23/01/05 au 30/01/05

**3-2-1 Paramètres physiques résolus par Swan**

Le modèle SWAL est capable de résoudre plusieurs paramètres physiques essentiels dans la compréhension du comportement hydrodynamique de la zone modélisée. Parmi ces paramètres :

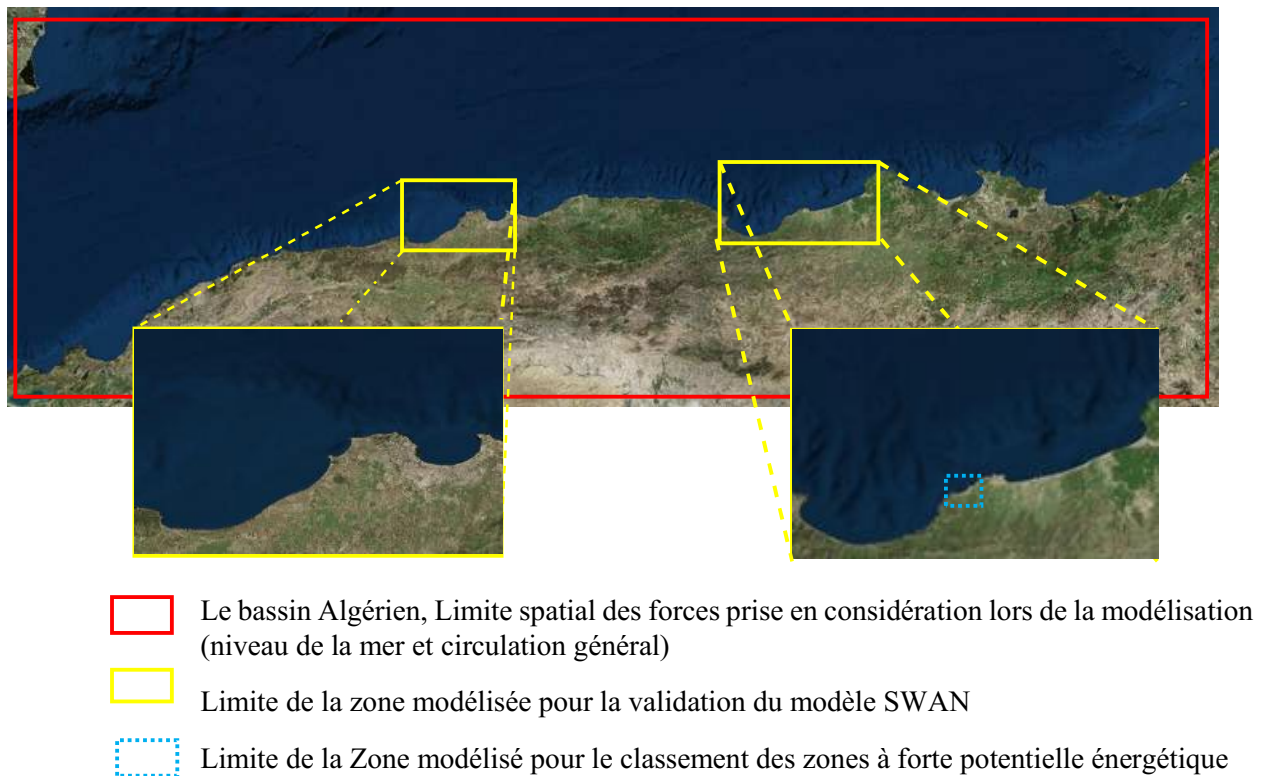
- La réfraction sur un fond de profondeur variable et/ou un courant variable dans l'espace
- Le shoaling induit par des profondeurs et courants variables
- La génération de houle due au vent
- La dissipation par whitecapping
- La dissipation par déferlement
- la dissipation par frottement sur le fond (3 formulations sont possibles, JONSWAP, Collins, Madsen et al.)
- Les interactions vague/vague non-linéaires (quadruplets et triades)
- Le blocage des vagues par le courant.

## **Chapitre 3 : Zones d'Etude**

## Chapitre 3 : zones d'étude

### 3-1- Limitation des zones d'études:

Nos études concernant la modélisation numérique des paramètres hydrodynamique, pour la validation du modèle Swan et l'utilisation de ces résultats pour le classement des zones à forte potentiel énergétique, ont été effectuées au niveau du bassin algérien, plus précisément dans la baie de Bejaia et de Jijel à l'Est du bassin algérien et la baie d'Alger au centre. La figure 8 montres les différentes limites de notre zone d'étude.



**Figure 8 :** Limitation des zones d'études. (Image satellitaire de global mapper ; imagerie world)

#### 3-1-1- Zones modélisée pour la validation du modèle SWAN:

Le choix de ces zones d'étude a été effectué par apport à leur caractéristique morphologique, et climatique différente, ce qui nous permet d'évaluer le fonctionnement du modèle Swan avec différente données d'entrer, des résolutions différentes, et des conditions différentes.

Tableau 1 : Caractéristiques des zones d'études

	La baie de Jijel	La baie de Bejaia	La baie d'Alger
Positionnement	Située à l'Est de la côte algérienne entre les longitudes Est : de 5°46'0.51"E à 6°15'56.43" E et les latitudes Nord : de 37°1'32'' N à 36°48'10.20" N.. Elle est délimitée par la baie de Bejaia à l'Ouest et la baie de Skikda à l'Est.	Située à l'est de la côte algérienne entre les longitudes Est : de 5°4'46.13"E à 5°35'24.83"E et les latitudes Nord : de 36°46'42.25"N à 36°38'8.36"N. Elle est délimitée par deux caps, le cap carbone à l'Ouest et le cap ElAouana à l'Est.	Située au centre de la côte algérienne entre les longitudes Est : de 03°01'00" E à 03°14'30" E et les latitudes Nord : de 36°44'30" N à 36°49'15" N. Elle est délimitée par deux caps, La Pointe Pescade (Rais Hamidou) à l'Ouest et le cap Matifou (Tamentfoust) à l'Est ainsi que par la Méditerranée occidentale au Nord.
morphologie	<p>Une baie très ouverte, avec une superficie approximative de l'ordre de 330 Km<sup>2</sup></p> <p>Le linéaire côtier de la baie de Jijel s'étend sur 59 km avec plus de 80 % de plage.</p> <p>La partie ouest de la baie de Jijel est caractérisé par la présence d'une grande dune sous-marine, plus précisément au large du port de djen-djen. Dans la partie Est la pente et plus régulière avec la présence de plusieurs fosse sous-marine</p>	<p>Elle a une forme semi-circulaire, avec un rayon d'environ 42 km et une superficie approximative de l'ordre de 513 Km<sup>2</sup></p> <p>Le linéaire côtier de la baie de Bejaia s'étend sur environ 62 km. La moitié Est de la baie est constituée de côte rocheuse et de falaise, tandis que la partie ouest présente un linéaire côtier sableux. Concernant sa morphologie sous-marine, la moitié Est, est caractériser par une pente plus raide que la partie ouest, ainsi le plateau continental dans la partie ouest se prolonge jusqu'à plus de 7km loin des cote</p>	<p>Elle a une forme semi-circulaire, avec une superficie approximative de l'ordre de 185 Km<sup>2</sup></p> <p>la côte se conforme à la distribution des unités géologiques continentales. Le plateau s'ouvre au NNE sur 19 Km de la pointe Pescade au cap Matifou et présente un tracé régulier. Le rivage s'étend sur environ 31 Km dont 22 de côte basse constituées de dunes et de trottoirs à algues construits en dalle comme à l'Est de Bordj El Kiffane. (MAOUCHE, 1987)</p>
sédimentologie	Pour le golfe de Jijel proprement dite, les sables et sablons siliceux	Leclaire (1972) met en évidence dans le golfe de Bejaia trois	Leclaire (1972) établit la carte de la couverture sédimentaire de la baie et les

	tapissent tout le fond du golfe. A ces sables succèdent dans la partie centre du golfe sous forme d'une bande étroite les boues argilo-siliceuses, et dans la partie est les vases silico-calcaires.	faciès principaux : les sables et les sablons siliceux, les vases et les boues, la roche (Fig. 31). Les sables et sablons siliceux occupent tout le fond du golfe, de la côte jusqu'à 30-40 m de profondeur	principaux faciès identifiés sont les sables et sablons siliceux, les vases et boues, le faciès rocheux, les sables et graviers calcaires
climat	La région de Jijel est caractérisée par un climat tempéré, avec un été chaud, un hiver doux et humide, elle est l'une des zones les plus arrosées en Algérie.(BELMEDREK.S, 2001) Les vents dominants soufflent généralement de la mer vers le continent (NNW - SSE).	Le climat de la wilaya est de type continental avec un hiver frais et un été chaud  Les vents dominante souffle généralement du secteur Est en été et d'un secteur Est en Hiver	Alger est caractérisé par un été chaud et sec. Et un hiver doux et humide les vents de secteur NE sont dominants et les vents de secteurs S-SE sont surtout observés en automne et en hiver.

### 3-1-2- Zone modélisée pour le classement des zones à forte potentiel énergétique :

Concernant le choix de la zone d'étude pour le classement des zones à fort potentiel énergétique, on a choisis la baie d'el-Aouana. Située entre les deux baies de Bejaia et de Jijel, cette zone est caractérisée par la présence de trois îles, d'un port de pêche, ainsi que plusieurs enrochements qui régissent largement sur le comportement hydrodynamique l'intérieur de la baie. Ainsi elle regroupe plus de 4,5 km de linéaire côtier sableux.



Figure 9 : Image satellitaire de la baie de EL-Aouana, Jijel (imagerie Word; global mapper).



## **Chapitre 4 : Préparation des données et mode de représentation des résultats**

## Chapitre 4 : Préparation des données et mode de représentation des résultats

### 4-1- Le choix de la source des données bathymétrique :

Le choix de la source bathymétrique, a été effectué après une comparaison entre deux sources de données bathymétriques gratuites (open source), dont les données bathymétriques GEBCO, et celles du logiciel de navigation maritime OpenCPN.

Afin de pouvoir comparer ces deux sources, on a élaboré la carte bathymétrique de chaque source de données (figure 10 et figure 11).

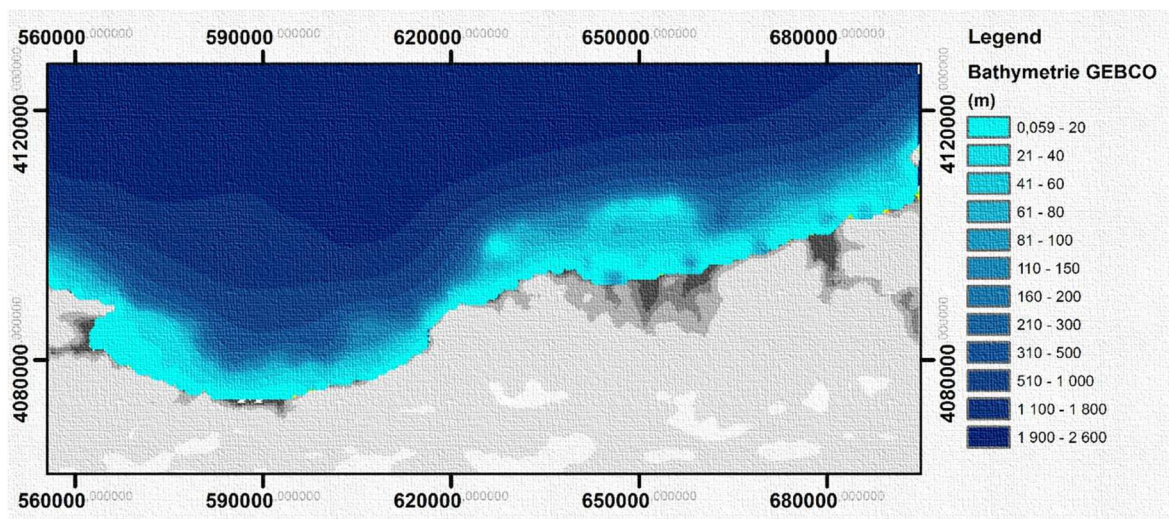


Figure 10 : Carte bathymétriques de la baie de Bejaia et Jijel réaliser à partir des données

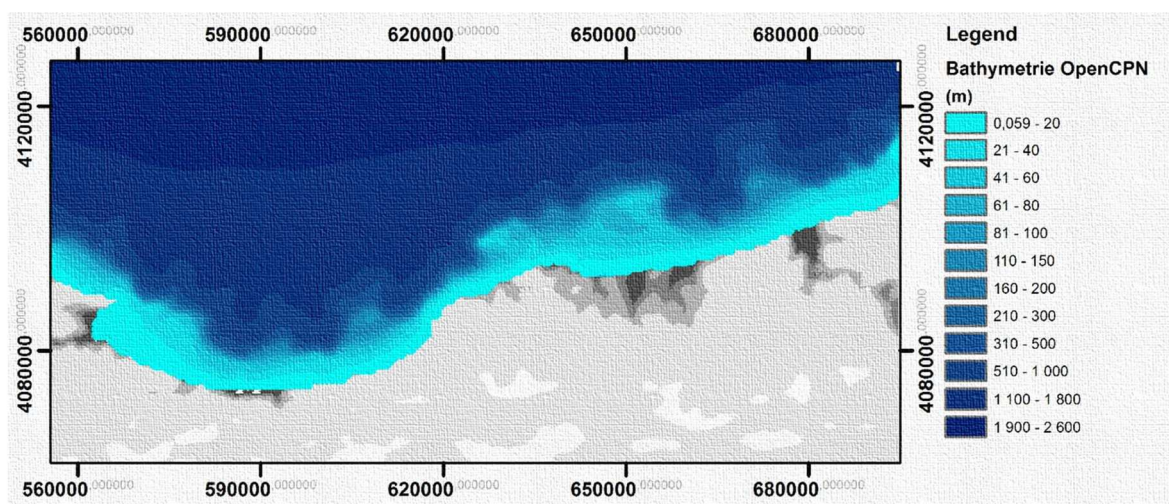


Figure 11: Carte bathymétriques de la baie de Bejaia et Jijel réaliser à partir des données

Au niveau de la carte bathymétrique des données GEBCO, on remarque la présence de plusieurs anomalies au niveau de la baie de Jije, où on trouve une série de fosses de 100m de profondeur, le long de la cote est Jijelienne. Par contre la carte bathymétrique issue des données d'OpenCPN, ne présente aucune anomalie.

Les données d'OpenCpn ont été collectées à partir des Sondages, effectués à partir des navires connectés à une base données lors de la navigation. Les cartes d'OpenCpn sont les mêmes cartes utilisées par le logiciel professionnel de navigation Maxsea zéro.

Les données de GEBCO sont des grilles bathymétrique mondiaux avec un espacement de 30 secondes d'arc, généré en combinant mesures de profondeur du navire qualité a été contrôlée avec une interpolation entre des points de sondage guidées par les données gravimétriques obtenues par satellite.

Afin de comparés les résultats de la modélisation numérique, en utilisant ces deux sources bathymétriques, on a réalisé un test de modélisation selon les conditions annuelles moyennes du vent

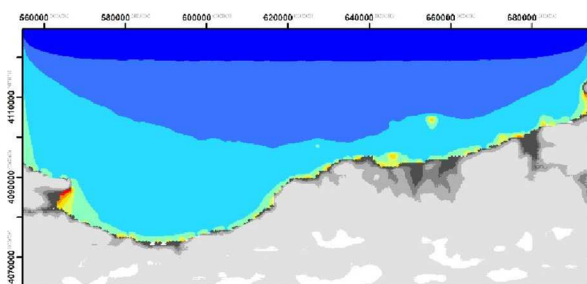


Figure 12 :Cartes des hauteurs significatives de la baie de Bejaia et Jijel dans les conditions du vent annuelle moyenne dans la direction dominante ouest avec une bathymétrie GEBCO

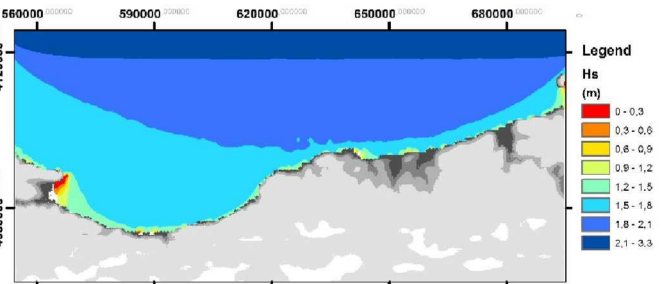


Figure 13 : Cartes des hauteurs significatives de la baie de Bejaia et Jijel dans les conditions du vent annuelle moyenne dans la direction dominante ouest avec une bathymétrie OpenCPN

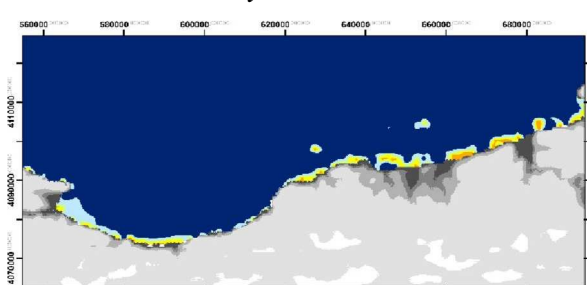


Figure 14 : cartes des vitesses des courants orbitaux de la baie de Bejaia et Jijel dans les conditions du vent annuelle moyenne dans la direction dominante ouest avec une bathymétrie GEBCO

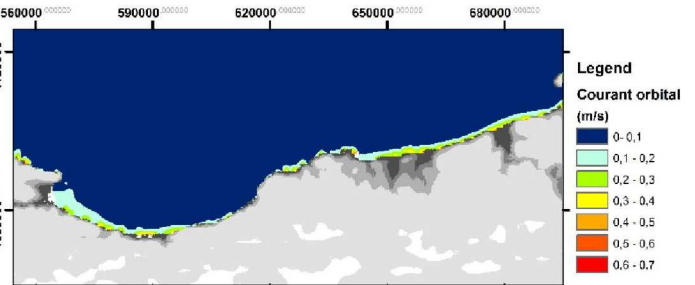


Figure 15 : cartes des vitesses des courants orbitaux de la baie de Bejaia et Jijel dans les conditions du vent annuelle moyenne dans la direction dominante ouest avec une bathymétrie OpenCPN

A partir de ces cartes on remarque que :

- Les résultats obtenus sont totalement différents.

- Au niveau de la baie de Jijel la variation est très remarquable.
- Ces variations sont plus importantes au niveau des zones présentant des anomalies bathymétriques dans les données GEBCO.

La fiabilité des données bathymétrique est très nécessaire d'ors d'une modélisation numérique du comportement hydrodynamique, il est donc important de bien choisir la source de données bathymétriques.

Cette comparaison et ces tests, montrent que les données bathymétriques d'OpenCPN sont plus fiables que celle de GEBCO qui présente de fortes anomalies qui modifie largement les résultats de la modélisation.

#### **4-2- Préparation des données d'enter (Input data) :**

Les données utilisées dans la modélisation hydrodynamique on utilisant le modèle Swan sont les suivants :

- 1- La bathymétrie obtenue extrait des données fournies par OpenCPN 4.0 programme de navigation maritime similaire à MaxSea Zero.
- 2- La vitesse du vent moyenne mensuelle mesurée dans une durer de 10 ans. Obtenue de l'office national algérien de la météo O.N.M.
- 3- La direction du vent dominante mensuelle et annuelle, résultat d'une observation entre 04/2010 - 04/2015

Ces données statistiques sont fournies par le site commercial des données climatique (<http://fr.windfinder.com>)

- 4- Les Anomalies de niveau de la mer, des données obtenues à partir du portail de référence de l'altimétrie, l'AVISO+.
- 5- La grille des Vitesses du courant Géostrophique. Selon des données obtenues à partir du portail de référence de l'altimétrie, l'AVISO+.

##### **4.2.1- Préparation des grilles d'entrées (input grid data) :**

Les grilles spatiales qui doivent être définies par l'utilisateur sont :

- une grille spatiale des calculs.
- des grille (s) spatial d'entrée pour la bathymétrie, champ courant, niveau d'eau, le frottement et le vent (chaque grille d'entrée peut différer des autres)
- un ou plusieurs grids spatial de sortie sur lequel l'utilisateur reçoit les données de sortie de SWAN.

Le frottement de vent et de fond n'exigent pas une grille s'ils sont uniformes au-dessus du centre d'intérêt.

#### 4.2.2- La préparation de la grille bathymétrique :

Pour L'interpolation des données et la création d'une grille régulière on a utilisé le logiciel Surfer, selon la procédure suivante. Voire (figure 16) :

- 1- On utilise la commande "grid data".
- 2- On sélectionne notre fichier des données (.xls), qui doit se trouver dans notre répertoire de travail crée au paravent et qui contient tous les fichiers de SWAN.
- 3- Une fenêtre va apparaitre et nous demande de sélectionner les colonnes correspondantes à X, Y et Z, et nous demande aussi de choisir les dimensions de la maille (spacing) et le nombre de maille suivant l'axe des X et l'axe des Y.
- 4- on change le type du fichier de sortie en format (.dat) pour pouvoir copier les résultats librement.
- 5- Après avoir fixé les paramètres de la grille et défini le dossier de sortie, on clique sur ok
- 6- Une grille en format (.dat) sera créé.

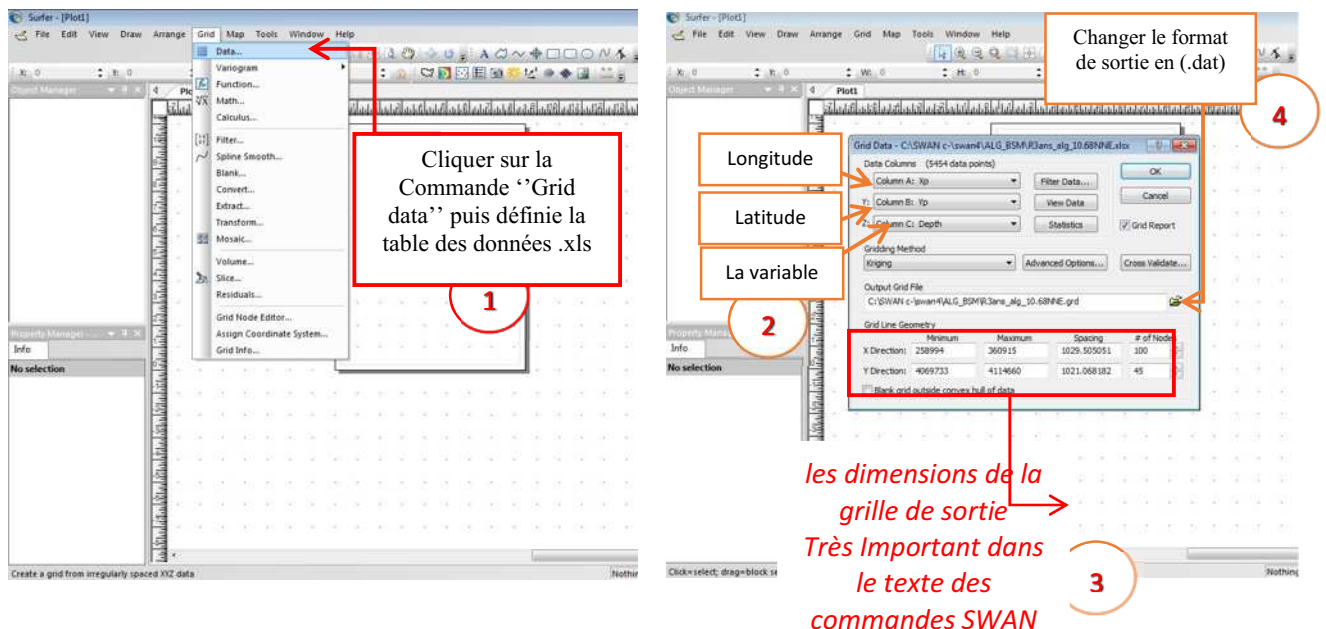


Figure 16 : Les étapes de la création d'une la grille régulière par interpolation à l'aide de surfer

- 7- On transporte les données crée dans le fichier (.dat) dans une feuille de calcul Excel, puis on fait un tri croissant de la colonne des longitudes, puis un tri décroissant de la colonne des latitudes, et on fais copier la colonne des variation bathymétrique vers une feuille .txt on remplaçant les virgules par des points.
- 8- Cette feuille sera enregistrée en format (.txt) dans le dossier de travail (dossier d'exécution de Swan)

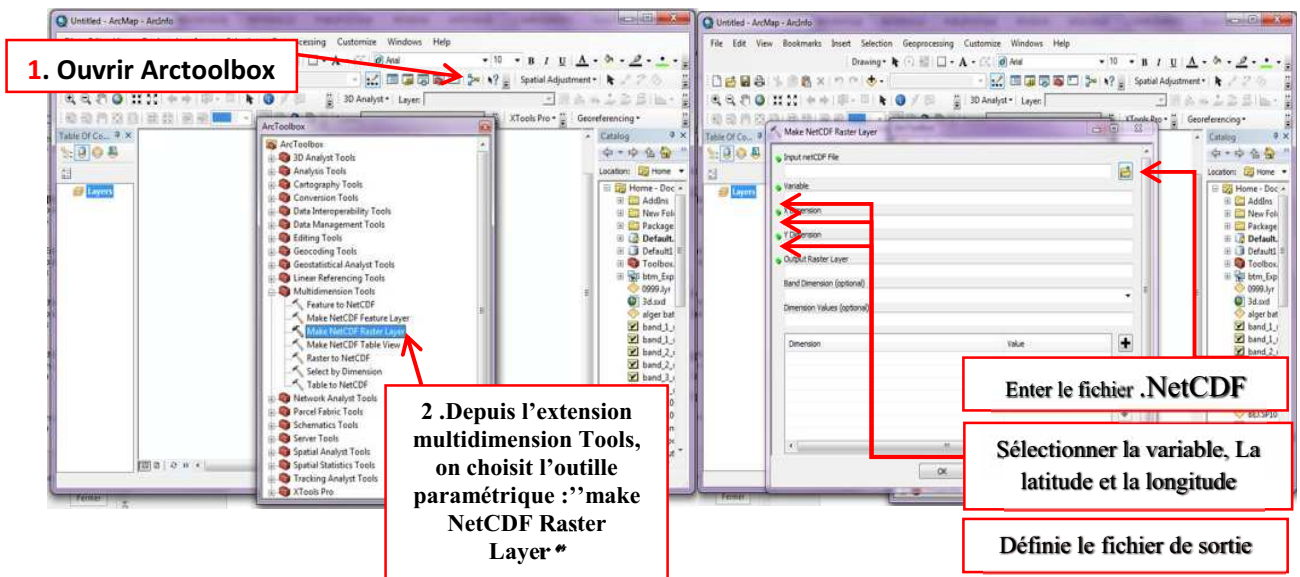
**4.2.3- Préparation des grilles du niveau de la mer et des courants.**

Les données altimétriques et ceux des courants, ont été fourni par le portail de référence dans altimétrie l'AVISO+ , qui fusionne des données altimétriques de Topex/Poseidon et d'ERS depuis 1992.

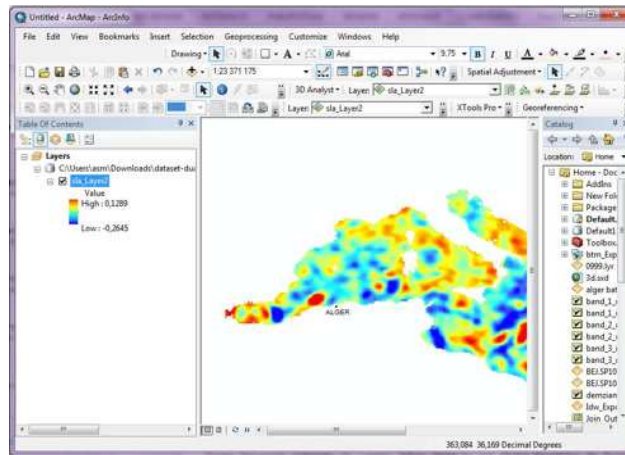
On a d'abord inscrit sur le site web d'AVISO+ [www.aviso.altimetry.fr](http://www.aviso.altimetry.fr), puis on a envoyé une demande d'accès aux données du niveau de la mer enregistré au niveau de la méditerranée depuis 1993, on précisant clairement notre objectif.

Après que notre demande, a été acceptée, on nous a envoyé un pseudo et un mot de passe d'accès à la base de données en format netcdf(.nc).

Les fichiers netcdf en été exécuté et transformer en forme raster en utilisant l'outil de commande Multidimensionnel dans le logiciel d'information géographique ArcGIS 10 (logiciels SIG). **(Figure 17)**



**Figure 17 :** Les étapes d'exécution des données en format netCDF avec le logiciel de d'information géographique ArcGIS 10



**Figure 18 :** Résultats d'exécution du fichier de donnée du niveau de la mer (.NetCDF) sur ArcGIS10

A partir du fichier raster crée par des données NetCDF du courant général et du niveau de la mer, on a fait extraire les données en format texte numériques en utilisant l'extension Vertical Mapper et l'extension CoordinateExtractor inclut dans le logiciel MapInfo 7. Selon la procédure suivante :

- Enregistrer l'image obtenue par ArcGIS a partir des données NetCDF en format .Tiff géoréférencée .
- Ouvrir l'image par MapInfo
- Cree une table (x,y,z)
- Ajouter sur la carte un nuage de points et attribuer la valeur du niveau de la mer ou des courants correspondant à chaque point suivant la légende présenté par un gradient de couleur.
- Utiliser "Vertical Mapper, pour l'extraction des point et leur séparation de la carte
- Utiliser L'extension CoordinateExtractor pour attribuer les coordonnées géographiques à chaque point.
- On utilisant l'outil d'exportation de données on fait exporter la table des données crée en formats texte

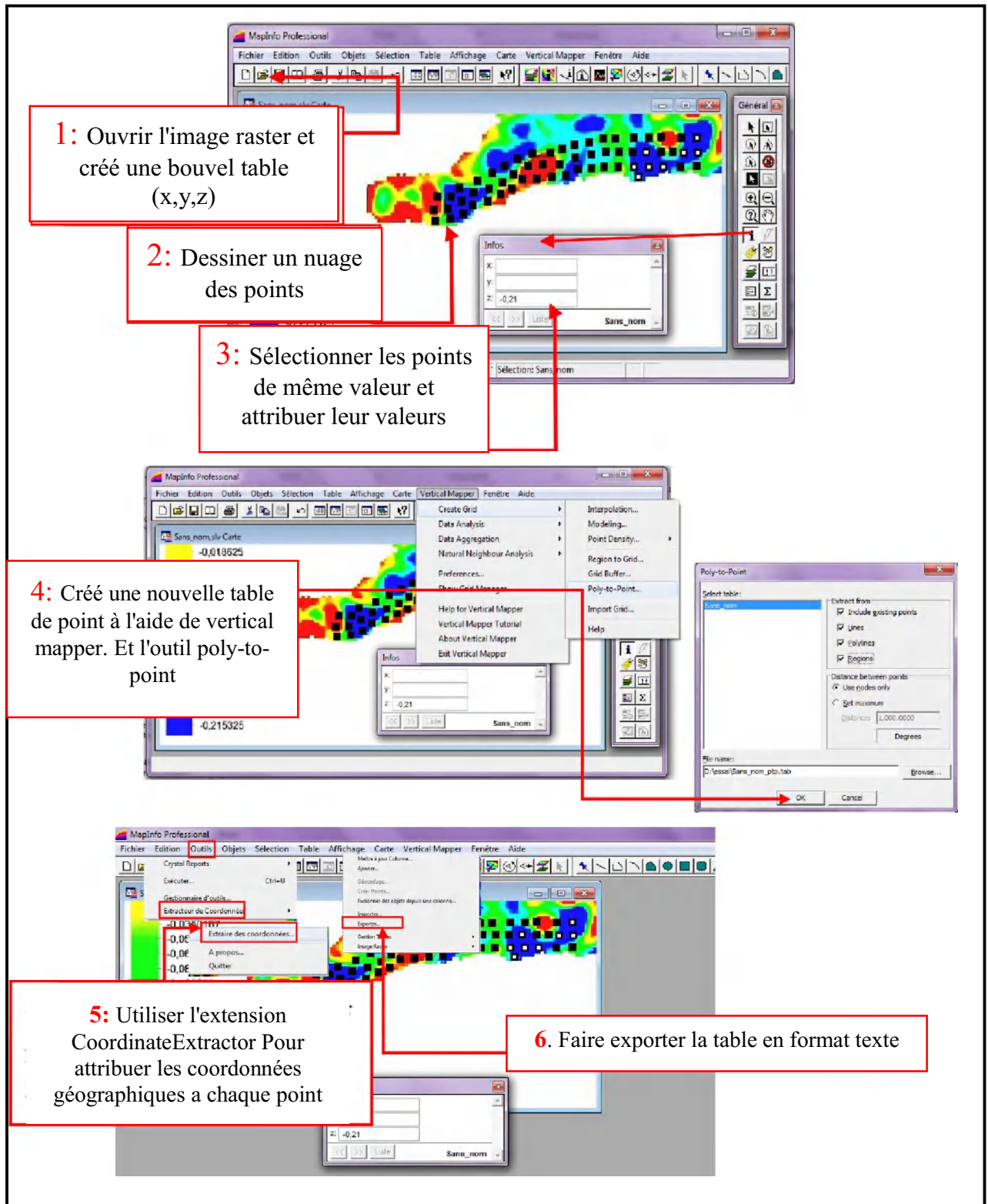


Figure 19 : Procédure d'extraction des données numérique à partir d'un fichier raster avec MapInfo.

A partir des fichiers texte créés on a transféré les données numériques (Latitude, longitude, V<sub>e</sub> et U, et Le niveau de la mer) dans une feuille Excel, afin de créer les grilles de niveau de la mer et les grilles des courants, à l'aide du logiciel Surfer 11, suivant la même procédure utilisée pour la création de la grille bathymétrique. (Figure 16)

#### **4.2.4- Les conditions de frontières :**

Les frontières de la grille informatique spatiale de calcul sont soit terre ou mer. Dans le cas de la terre il y a aucun problème ; la terre ne produit pas des vagues et dans SWAN elle absorbe toute l'énergie entrante des vagues. Mais dans le cas d'une frontière de l'eau il peut y avoir des problèmes.

Souvent aucun état de vague n'est connu le long d'une telle frontière, et le SWAN suppose alors que la vague n'entre pas dans le secteur, et que les vagues peuvent partir du secteur librement. Ces prétentions peuvent contenir évidemment des erreurs qui propagent dans le modèle. Ces frontières doivent donc être choisies suffisamment loin du secteur où des calculs fiables sont nécessaires ainsi qu'ils n'affectent pas les résultats informatiques. Les vagues à ces frontières peuvent être estimés avec un certain degré de fiabilité.

Pour cela on a réalisé deux modélisations pour chaque zone, la première a été faite pour estimer les caractéristiques des vagues au niveau des frontières sans condition de frontière, la deuxième a été une modélisation avec une ouverture des frontières d'entrée de la houle estimée par la première modélisation.

#### **4.3- Préparation du fichier commande (.SWN):**

Les conditions de modélisation, ainsi que les données d'entrée et de sortie du modèle et leurs unités, doivent être définies dans un texte de commande selon un langage spécifique à SWAN (voir annexe), ce texte doit être écrit dans un fichier de format (.swn) fourni avec le code source téléchargé de SWAN. (Figure 20)

```

ans_juil_oustalgw - Notepad
File Edit Format View Help
PROJECT 'MODELISATION' '111'
'OUEST'
$
SET -0.12 0 0.05 200 1 9.81 1027 NAUTICAL
$
MODE STAT
$
COORDINATES CARTesian
$
CGRID REGular -199682.9036 3910796.003 0 454040.0936 168648.548 182 169 CIRCle 36 0.033 0.33 24
$
INPgrid BOTtom REGular -199682.9036 3910796.003 0 182 169 2494.725789011 997.92040236686 EXCVAl -999.000
$
INPgrid WLEVel REGular -199682.9036 3910796.003 0 182 169 2494.725789011 997.92040236686 EXCVAl -999.000
$
INPgrid VX REGular -199682.9036 3910796.003 0 182 169 2494.725789011 997.92040236686 EXCVAl -999.000
$
INPgrid VY REGular -199682.9036 3910796.003 0 182 169 2494.725789011 997.92040236686 EXCVAl -999.000
$
INPgrid WX REGular -199682.9036 3910796.003 0 303 208 1498.4821570957 1499.4944423077
$
INPgrid WY REGular -199682.9036 3910796.003 0 303 208 1498.4821570957 1499.4944423077
$
READinp BOTtom 1.0 'BTMALGOUEST.txt'
$
READinp WLEV 1.0 'gridsealevelouest1_7_04.txt'
$
READinp CURrent 1.0 '3CrUV_ALGOUEST_1_7_04.txt'
$
READinp WInd 1.0 'GRIDWINDOUEST.txt'
$
WIND 4 22
$
BOUND SHAPespec JONswap 3.3 PEAK DSPR DEGREes
$
$BOUNdspec-> SIDE < South > | CLOCKwise | CONSTant | | PAR [hs] [per] [dir]
$
BOUN SIDE W CLOCKwise CON PAR 1.5 2.8 22 30
$
SETUP
$
DIFFRACTION 1 0 0 1
$-----OUTPUT-----
$
FRame 'RBEJ2' -199682.9036 3910796.003 0 454040.0936 168648.548 182 169
$
TABLE 'RBEJ2' HEADER '3final300515' xp yp Depth hs Per WLEN dir ubot URMS VEL tdir DSPR DISSIP QB force TRANSP HSWELL
$
COMPUte
$
STOP
<

```

Figure 20 : Texte des commandes et des paramètres (.swn)

#### 4.4- Création d'une interface pour le texte des commandes Swan:

Vue le nombre important des variables présentes dans le fichier de commande et vue la difficulté qu'on a trouvé l'ors du remplissage des textes de commande pour chaque condition modélisée, on a donc créé un formulaire en utilisant l'outil informatique Excel.

Ce formulaire est une interface en forme de tableau, connecté avec une autre feuille texte sur laquelle les données remplies seront écrites automatiquement en respectant l'ordre et les règles et le langage recommandés lors du remplissage des commandes demandées par SWAN (figure 21).

INTERFACE DES COMMANDES - S.W.A.N			
COMMANDES D'ENTRER		COMMANDES DE SORTIE:	
PROJET : ' nomdeprojet'	'Decembre'	les parametre de la grille du niveau de la mer	
Titre1':	'la baie de Bejaia'	Xmin grill du niveau de la mer	554584.9996
Titre2':	'Vmax24DIR270'	Ymin grille du niveau de la mer	4060929.895
Niveau de la mer:		0 largeur de la grille selon X(Xmax-Xmin)	139916.6528
rho (kg/m3):		1027 longueur de la grille selon Y(Ymax-Ymin)	66716.993999
Type de coordonnee :	CART	Nbr de maille suivant X	175
Xmin de la grill informatique:	554584.9996	Nbr de maille suivant y	83
Ymin de la grille informatique:	4060929.895	nom du fichier.txt de la grille du niveau de la mer:	'BtmBejSP800.txt'
largeur de la grille selon X(Xmax-Xmin)	139916.6528	les parametre de la grille des courants	
longueur de la grille selon Y(Ymax-Ymin)	66716.993999	Xmin de la grill des courants	554584.9996
Nbr de maille suivant X		Ymin de la grille des courants	4060929.895
Nbr de maille suivant y		largeur de la grille selon X(Xmax-Xmin)	139916.6528
largeur de la maille (spacing x)	799.5237303	longueur de la grille selon Y(Ymax-Ymin)	66716.993999
longueur de la maille (spacing y)	803.8192048	Nbr de maille suivant X	175
nom du fichier.txt de la grille bathymetrique:	'BtmBejSP800.txt'	Nbr de maille suivant y	83
vitesse du vent:	24	nom du fichier.txt de la grille bathymetrique:	'BtmBejSP800.txt'
direction du vent:	270	output :	
orientation de frontiere ouverte (N.S.E.W) 1:	w	NOM DE LA GRILLE:	'be_jan.m'
Hs a la limite 1:	6	NOM DU FICHIER DE SORTIE:	'De.c.max.BEJ.W'
periode a la limite 1:	6	<b>REMARQUE:</b>	
direction de spectre de la houle a la limite 1:	270	1- Les titre et les noms des fichiers doivent être écrits entre guillemet anglais, '...'	
orientation de frontiere ouverte (N.S.E.W) 2:		précédé d'un espace	
Hs a la limite 2:		2-apres le remplissage du tableau on doit faire copier le text des resultats	
periode a la limite 2:		obtenue dans la feuille des resultats dans le fichier d'execution ".SWN"	
direction de spectre de la houle a la limite 2:			

Feuille 1

```

Project 'MODELISATION' '111'
'OUEST'
$
SET -0.12 0 0.05 200 1 9.81 1027 NAUTICAL
$
MODE STAT
$
COORDINATES CARTesian
$
CGRID REGular -199682.9036 3910796.003 0 454040.0936 168648.548 182 169 CIRCle 36 0.033 0.33 24
$
INPgrid BOTtom REGular -199682.9036 3910796.003 0 182 169 2494.725789011 997.92040236686 EXCVAl -999.000
$
INPgrid WLEVel REGular -199682.9036 3910796.003 0 182 169 2494.725789011 997.92040236686 EXCVAl -999.000
$
INPgrid VX REGular -199682.9036 3910796.003 0 182 169 2494.725789011 997.92040236686 EXCVAl -999.000
$
INPgrid VY REGular -199682.9036 3910796.003 0 182 169 2494.725789011 997.92040236686 EXCVAl -999.000
$
$INPgrid WX REGular -199682.9036 3910796.003 0 303 208 1498.4821570957 1499.4944423077
$
$INPgrid WY REGular -199682.9036 3910796.003 0 303 208 1498.4821570957 1499.4944423077
$
READInp BOTtom 1.0 'BTMALGOUEST.txt'
$
READInp WLEV 1.0 'gridsealevelouest1_7_04.txt'
$
READInp CURrent 1.0 '3CrUV_ALGOUEST_1_7_04.txt'
$
$READInp WInd 1.0 'GRIDWINDOUEST.txt'
$
WIND 4 22
$
BOUNd SHAPespec JONswap 3.3 PEAK DSPR DEGRees
$
$BOUNdspec-> SIDE <South > | CLOCKWise | CONStant | | PAR [hs] [per] [dir]
$
BOUNd SIDE W CLOCKWise CON PAR 1.5 2.8 22 30
$
SETUP
$
DIFFRACTion 1 0 1
$-----OUTPUT-----
$
FRAMe 'RBEJ2' -199682.9036 3910796.003 0 454040.0936 168648.548 182 169
$
TABLE 'RBEJ2' HEADER '3final300515' xp yp Depth hs Per WLEN dir ubot URMS VEL tdir DSPR DISSIP QB force TRANSP HSWELL
$
COMPute
$
STOP
    
```

Feuille 2

Figure 21 : Les deux feuilles connecter du formulaire de commande crée avec Excel.

### **4-5- Programmation d'une extension de traitement et d'affichage des résultats**

Les résultats obtenus en sortie du modèle SWAN ont été représentés en forme de carte réalisée à partir du logiciel de cartographie ArcGis.

Afin de représenté les résultats des différentes conditions modélisées, pour différente zones d'études, il est apparu nécessaire de programmer une extension de traitement et d'affichage des résultats obtenue en sortie de SWAN.

A l'aide de l'outil de programmation intégrer sur ArcGIS (python scripte) on a programmé une extension qu'on a nommé. "SWAN view".

Cette extension fonctionne selon les étapes suivant :

- 1- Affichage des données du tableau de résultats de sortie SWAN en forme de point géoréférencés.
- 1- Lancer une interpolation Kringing fixe pour chaque paramètre mesuré dans le tableau des résultats.
- 2- Transformer les résultats de l'interpolation en forme raster
- 3- Extraire et enregistrer les fichiers raster créés pour chaque résultat dans un dossier qu'on spécifie pour chaque table des résultats, à partir de cette fenêtre (**Figure 22**).

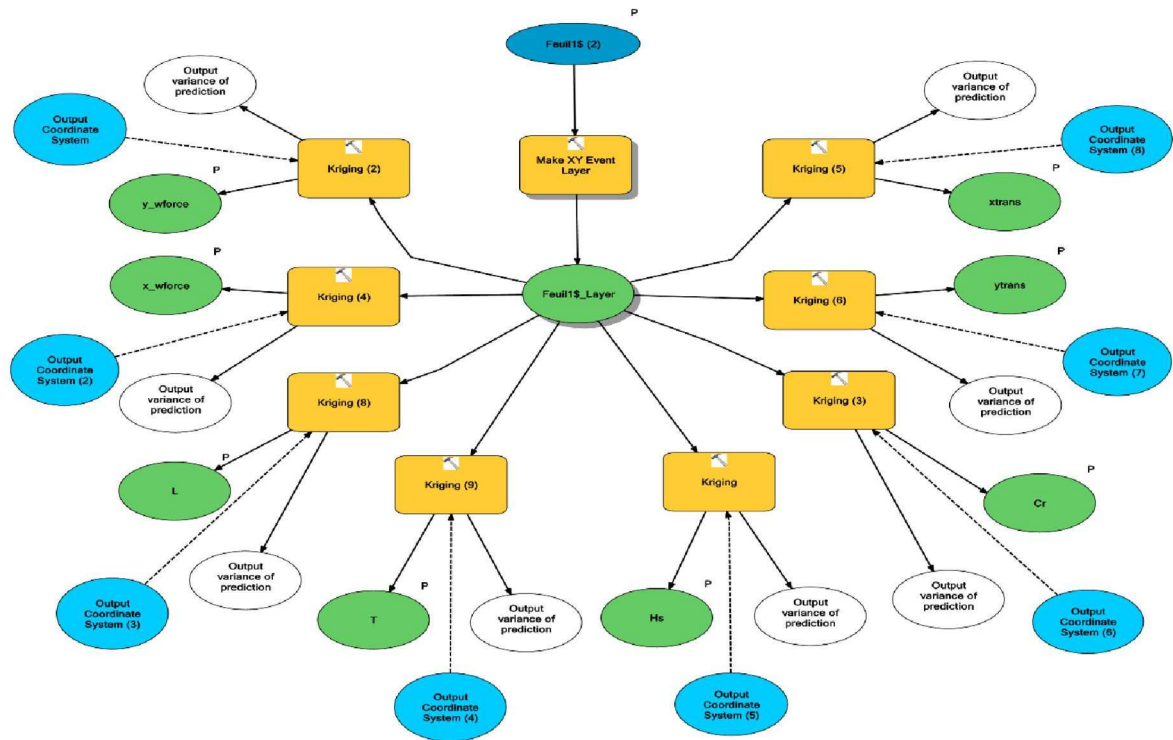


Figure 22: Model de l’extension “SWAN View” pour les représentations graphique des résultats de sortie du modèle numérique SWAN sur ArcGis.

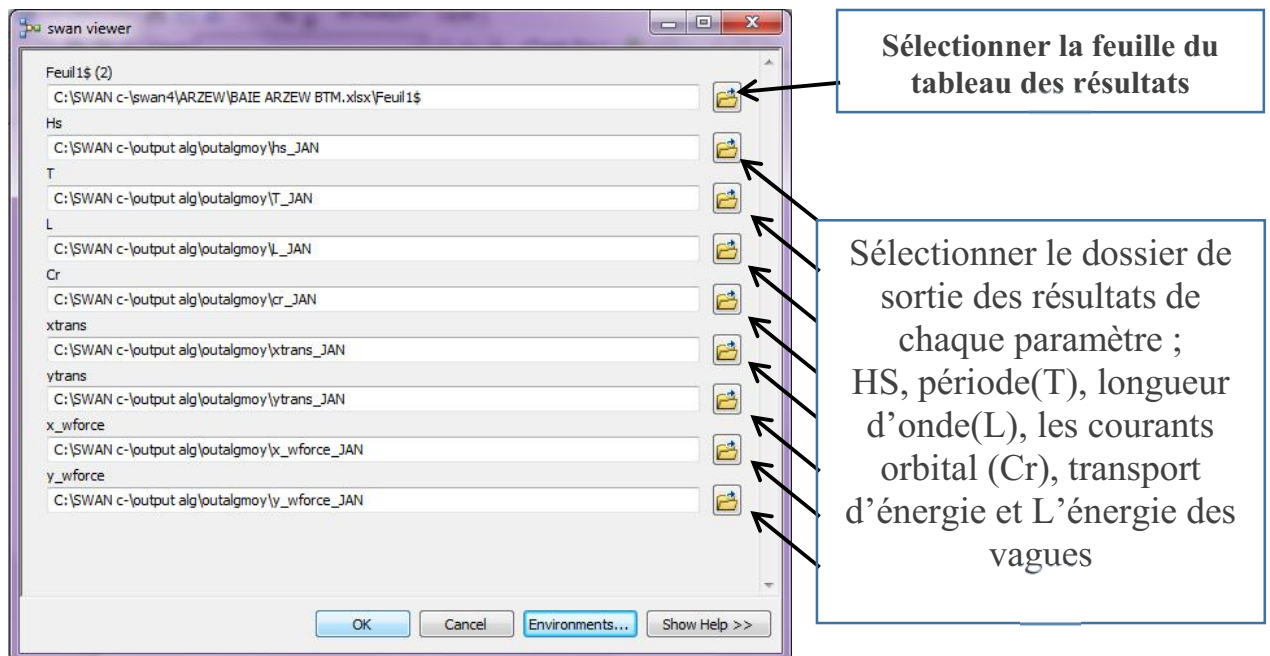


Figure 23: l’extension “Swan viewer ” de représentation graphique des résultats de sortie du modèle numérique SWAN.

4-6- Mode d'utilisation du modèle Swan :

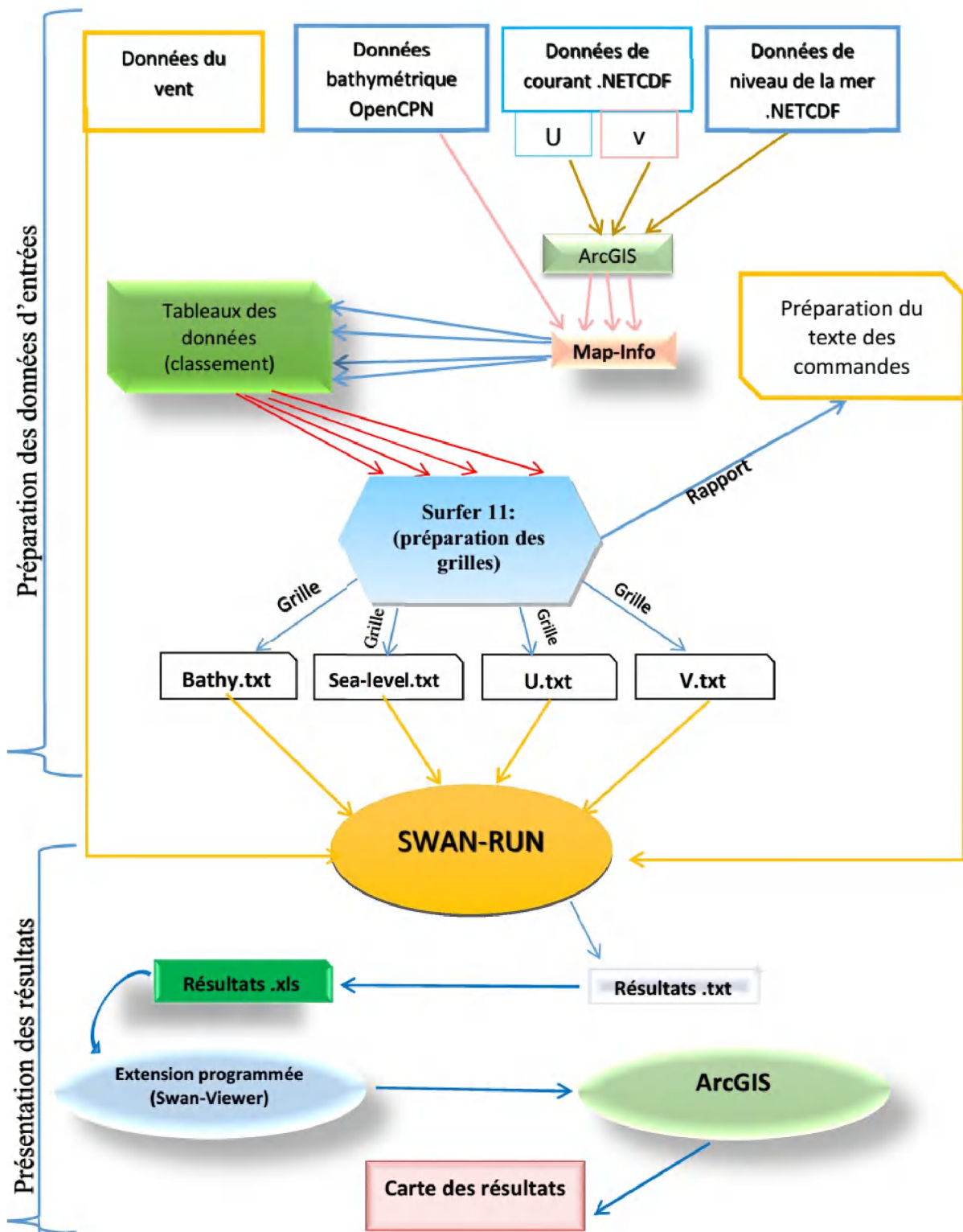


Figure 24 : Mode d'utilisation du modèle Swan

**Chapitre 5 :**  
**Evaluation et Validation Du Modèle**  
**SWAN**

## Chapitre 5 : Evaluation et validation du modèle SWAN

Le modèle Swan est constitué d'un ensemble d'équation physique complexe principale, connectée avec d'autre équation secondaire, ces équation secondaire mesure les forces modificatrices du comportement de la houle, dont l'action des courant, ça vitesse et ça direction, les variations du niveau de la mer, et la force de frottement.

La pris en considération de ces facteurs par le modèle dépend directement des données d'entrer de ces derniers. Swan est capable de modéliser les caractéristiques spatiales de la houle, rien en intégrant trois données principale, la bathymétrie, la vitesse du vent et la direction du vent. Mais Les résultats obtenue dans ce cas seront très loin de la réalité.

Afin de savoir si le modèle prend en considération ces facteur modificatrice dans ces équations, et déterminer sans importance, on a réalisé plusieurs modélisations hydrodynamiques, au niveau de la baie de Jijel et de la baie de Bejaia, ces modélisations ont été effectués selon différente condition, et avec différentes données d'enterre.

D'autre part Swan nous permet d'introduire les caractéristiques physiques de la houle entrante aux limites de la grille de calcul. Cette commande peut jouer un rôle très important dans la modélisation de la houle dans les zones côtières.

Pour tester le fonctionnement de cette commande on a réalisé une autre modélisation à haute résolution au niveau de la baie d'Alger. Les conditions limites à l'entrée de la baie d'Alger, ont été obtenue après une première modélisation qui englobe les deux baie d'Alger et Bou Ismail, jusqu'à la zone des abysses, afin de pondre en considération la modification que rencontre la houle avant son arrivée à l'entrée de la baie d'Alger.

### 5-1- Etude des effets des données d'entrée sur les données de sortie:

Pour étudier l'effet des données d'entrer sur les résultats de la modélisation par le modèle SWAN, on a réalisé plusieurs modélisations hydrodynamiques au niveau de la baie de Jijel et de la baie de Bejaia.

Ces modélisations ont été effectués selon différente condition, et avec différentes données d'enterre

#### Condition 1 :

Selon les directions du vent dominant mensuel, enregistrées dans une durée de 5ans, du mois d'avril 2010 au mois d'avril 2015 (Tableau 2) et selon une vitesse du vent moyenne mensuel et annuel enregistré dans une durée de 10 ans. (Tableau 3).

Niveau de la mer =0

**Tableau 2 : direction du vent dominante, mensuelle et annuelle enregistré entre avril 2010 et avril 2015.a**  
Bejaia

Direction dominante mensuelle													
Mois	Janv	Fevr	Mars	Avri	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Octo	Nove	Dec	Moyenne Annuel
Direction dominante (dégrée)	270	270	270	90	90	90	90	90	90	270	270	270	90

**Tableau 3 : vitesse du vent moyenne, mensuelle et annuelle enregistré dans une période de 10 ans niveau de Bejaia par l'ONM**

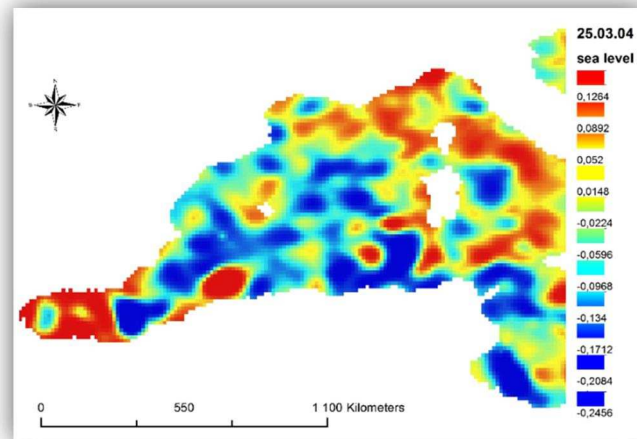
Moyenne mensuelle													
Mois	Janv	Fevr	Mars	Avri	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Octo	Nov	Dec	Moyenne Annuelle
Vitesse du vent (m/s)	10,2	10,1	9,5	9,6	8,6	8,5	8,1	8,3	8,9	9,2	10,1	10,6	9,3

**Tableau 4 : vitesse du vent maximal, mensuelle et annuelle enregistré dans une période de 10 ans niveau de Bejaia par l'ONM**

Vitesse du vent maximal (mensuelle)													
Mois	Janv	Fevr	Mars	Avri	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Octo	Nov	Dec	Max Annuelle
Vitesse du vent (m/s)	30	27	28	25	28	23	22	24	29	30	27	24	30

**Condition 2 :**

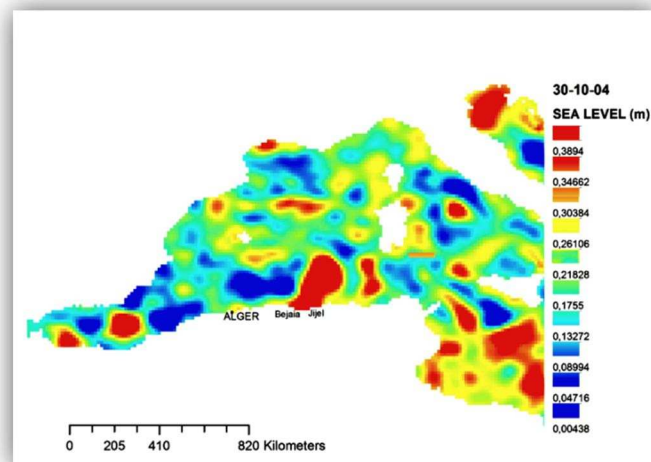
Modélisation dans le cas d'une élévation minimale absolue du niveau de la mer, observé au niveau de la baie de Bejaia et Jijel le 25.03.2004 (Figure 25), et avec les vitesses annuelle moyenne et maximal du vent (Tableau 2 et 3 )



**Figure 25 :** Cartes d'anomalies du niveau de la mer obtenue à partir des données altimétriques du 25.03.2004 de Aviso+

### Condition 3 :

Une modélisation dans le cas d'une élévation maximale absolue du niveau de la mer, observée au niveau de la baie de Bejaia et Jijel le **30.10.2004** (Figure 26), et avec les vitesses annuelles moyenne et maximal du vent (Tableau 1 et 2)



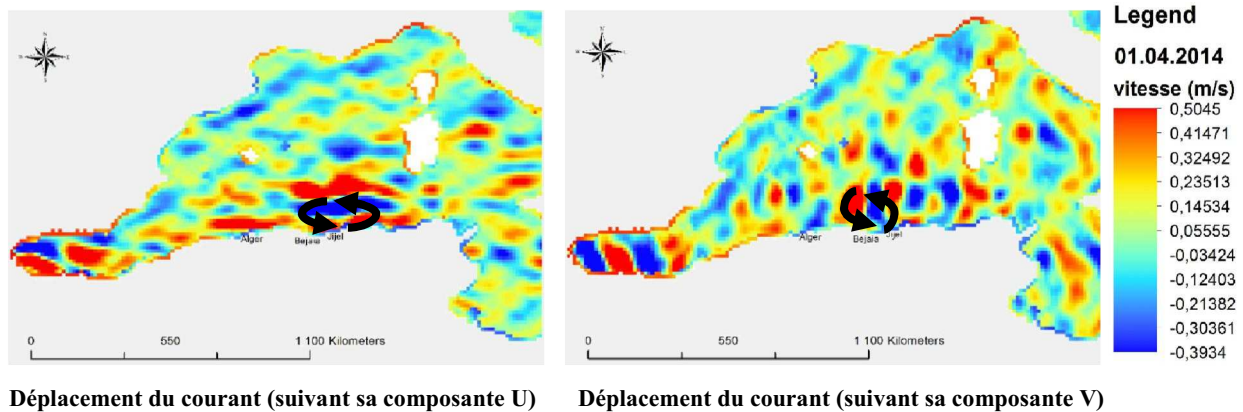
**Figure 26 :** Cartes d'anomalies du niveau de la mer obtenue à partir des données altimétriques du 30.10.2004 d'Aviso+

### Condition 4 :

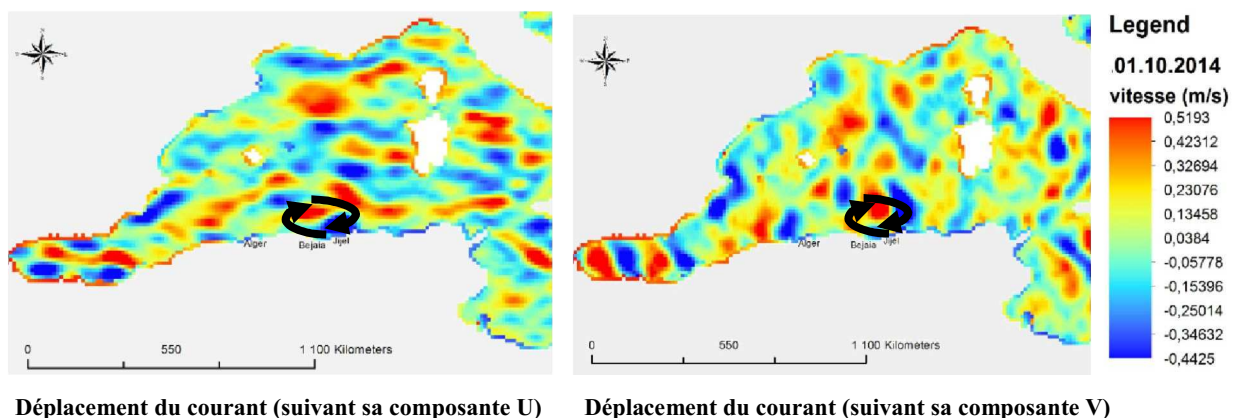
Une modélisation hydrodynamique avec intégration de la grille des courants généraux observés le 1-4-2014 (Figure 27), avec une grille d'élévation minimum du niveau de la mer (Figure 25), et dans les vitesses annuelles du vent, moyennes et maximales.

**Condition 5 :** Une modélisation hydrodynamique avec intégration de la grille des courants généraux observés le 1-4-2014 (Figure 27). Avec une grille d'élévation maximale du niveau de la mer (Figure 26). Et avec les vitesses annuelles du vent, moyennes et maximales.

**Condition 6 :** Une modélisation avec intégration de la grille des courants généraux observés le 1-10-2014 (Figure 28), avec une grille d'élévation minimale du niveau de la mer, et avec les vitesses du vent annuelles, moyennes et maximales.



**Figure 27 :** Carte du champ de circulation générale du bassin méditerranéenne occidental du 01.04. 2014.extrait des données NetCDF télécharger depuis le site de référence altimétrique de AVISO+



**Figure 28 :** Carte de la circulation générale du bassin méditerranéenne occidental du 01.10.2014.extrait des données NetCDF télécharger depuis le site de référence altimétrique de AVISO+

Les conditions 4, 5, et 6 ont été choisis afin de déterminer le comportement hydrodynamique de la houle, dans le cas de présence des données de courant général, et dans le cas d'un inversement directionnel de ce dernier ou d'un déplacement des gires.

### 5.1.1- Résultats et Discussions :

Ces tests de modélisation ont été effectués afin de comprendre le mode de fonctionnement du modèle Swan avec différente données d'entrer, de différente forme, selon plusieurs conditions et au niveau de deux baie avec une morphologie différente.

- **Condition 1 :** Selon les directions du vent dominant mensuel, enregistrés dans une durée de

5ans, du mois d'avril 2010 au mois d'avril 2015 (Tableau 2) et selon une vitesse du vent moyenne mensuel et annuel enregistré dans une durée de 10 ans. (Tableau 3).

**La hauteur significatif de la houle (condition mensuelle)**

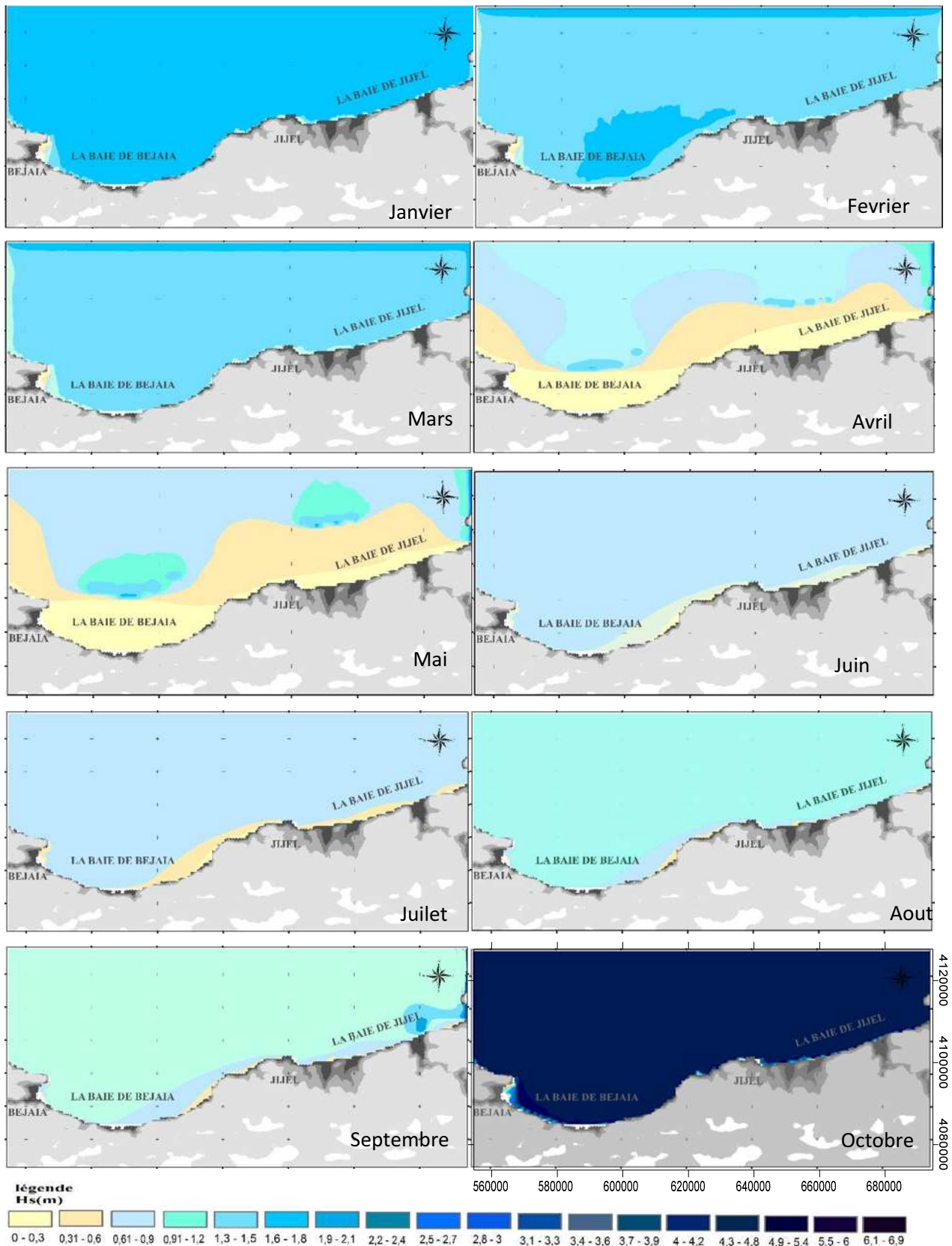




Figure 29: Cartes des hauteurs significatives de la houle au niveau de la baie de Bejaia et la baie de Jijel Résultats de la modélisation numérique du modèle SWAN selon des conditions du vent mensuelle

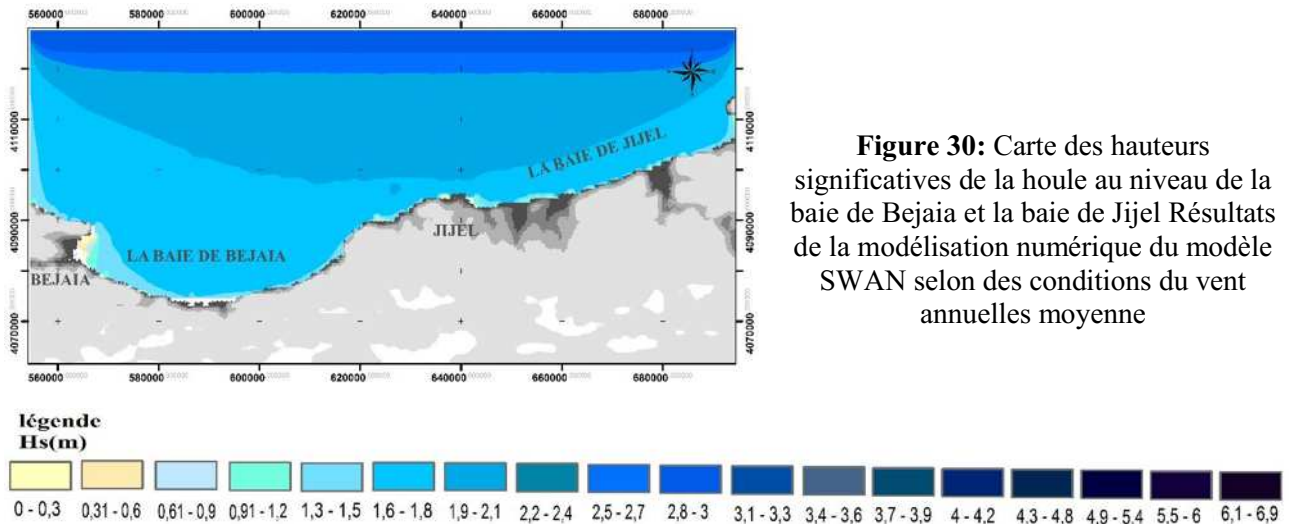


Figure 30: Carte des hauteurs significatives de la houle au niveau de la baie de Bejaia et la baie de Jijel Résultats de la modélisation numérique du modèle SWAN selon des conditions du vent annuelles moyenne

Les résultats de la modélisation mensuelle du comportement de la houle au niveau de la baie de Bejaia et Jijel ont montré que :

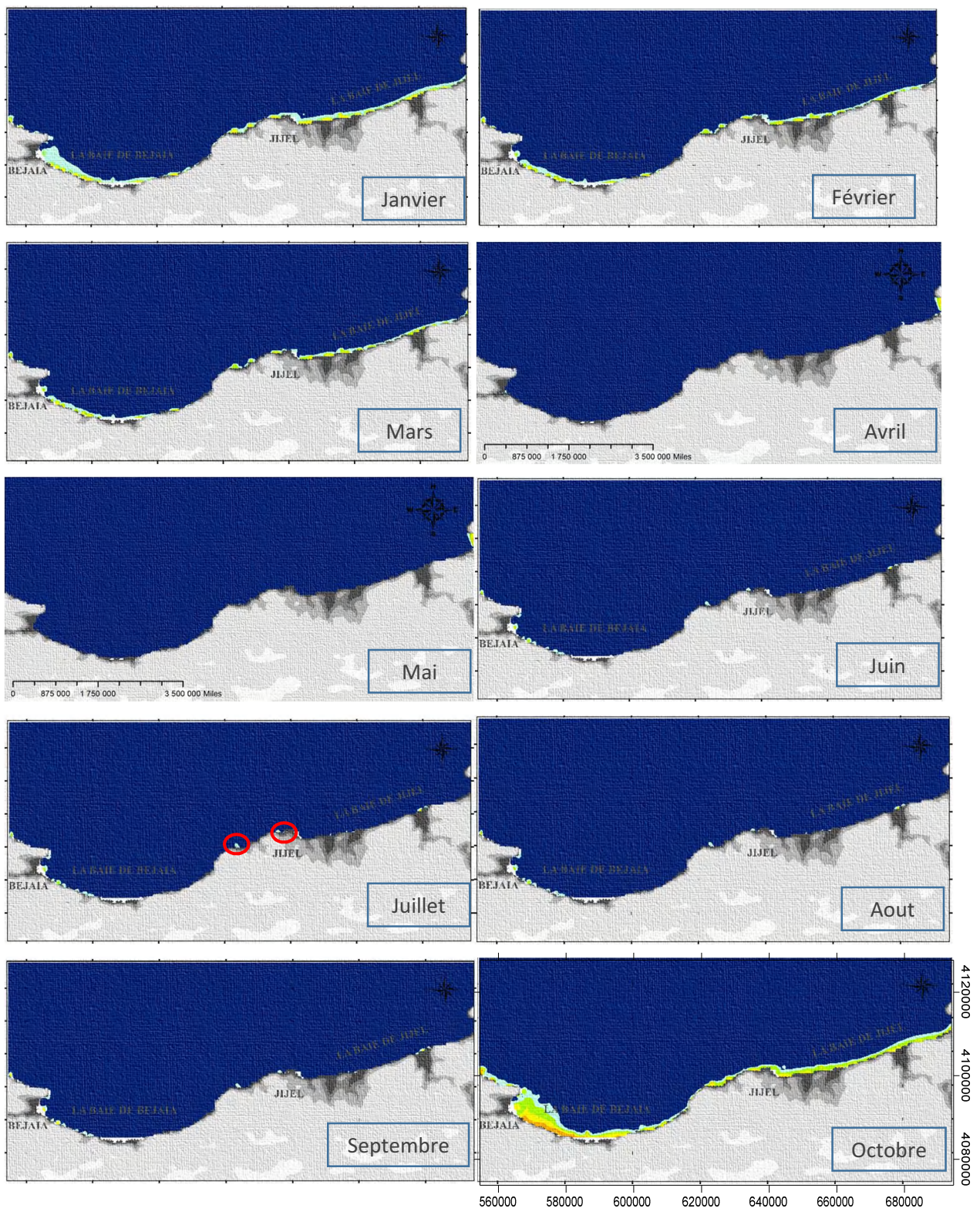
La variation des hauteurs significatives de la houle, suit un régime saisonnier avec une intensité maximale en période hivernale et une très faible intensité remarquée dans la saison du printemps.

Avec des vents de secteur ouest, on remarque une atténuation progressive de la houle dans la partie ouest de la baie de Bejaia, ainsi cette situation est inversée à l'intérieur de la baie avec les vents de secteur Est qui sont généralement plus faible. Ce renversement de répartition d'énergie, n'a pas été remarqué au niveau de la baie de Jijel vue quelle est plus ouverte.

Dans les parties Est des deux baies la houle atteint la cote avec une amplitude maximale dans le cas d'un vent de secteur ouest.

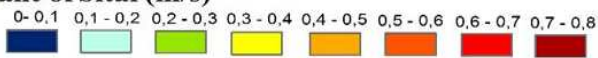
Les hauteurs maximales des vagues au niveau des deux baies, sans enregistrer en mois de décembre, avec un vent de secteur Ouest, la houle atteint la cote est avec 2,5 à 3 mètre d'amplitude.

Résultats des courants orbitaux (d'oscillation) :

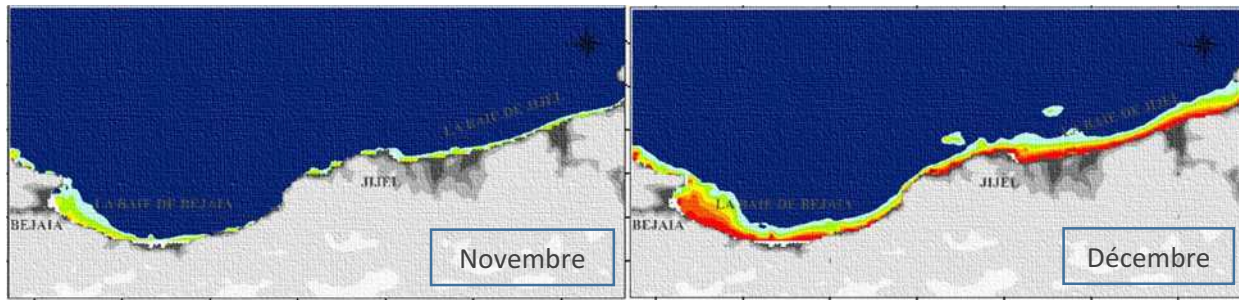


Legend

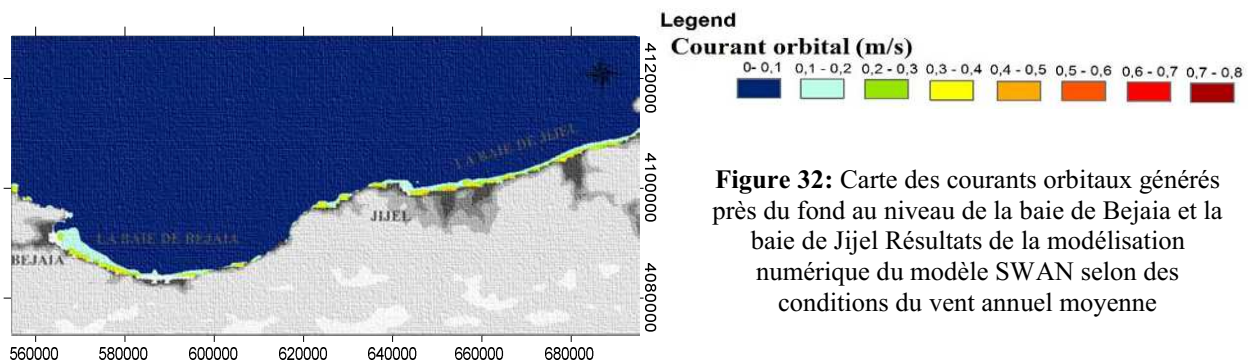
Courant orbital (m/s)



○ Zone active



**Figure 31:** Cartes des courants orbitaux générés près du fond au niveau de la baie de Bejaia et la baie de Jijel Résultats de la modélisation numérique du modèle SWAN selon des conditions du vent mensuelle



**Figure 32:** Carte des courants orbitaux générés près du fond au niveau de la baie de Bejaia et la baie de Jijel Résultats de la modélisation numérique du modèle SWAN selon des conditions du vent annuelle moyenne

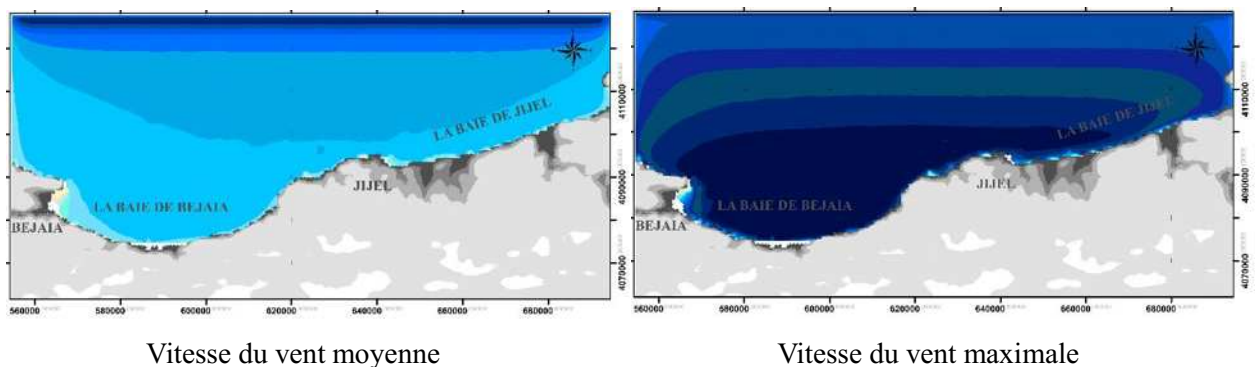
A partir de ces résultats, on remarque la présence des courants orbitaux le long de la cote en période d’automne et en hiver.

Dans la période qui varie entre le mois de mars et septembre, où l’état de la mer est plus calme, on peut distinguer les zones les plus touchées par les courants orbitaux que génère la houle le long des côtes, ces zones marquent les plus grandes vitesses en période hivernale, et on peut considérer ces zones comme des zones actives le long de l’année.

**Condition 2 :** Modélisation dans le cas d’une élévation minimale absolue du niveau de la mer, observée au niveau de la baie de Bejaia et Jijel le 25.03.2004 (Figure 25), et avec les vitesses annuelle moyenne et maximal du vent (Tableau 2 et 3)

**Résultats :**

- **La hauteur significative de la houle :**

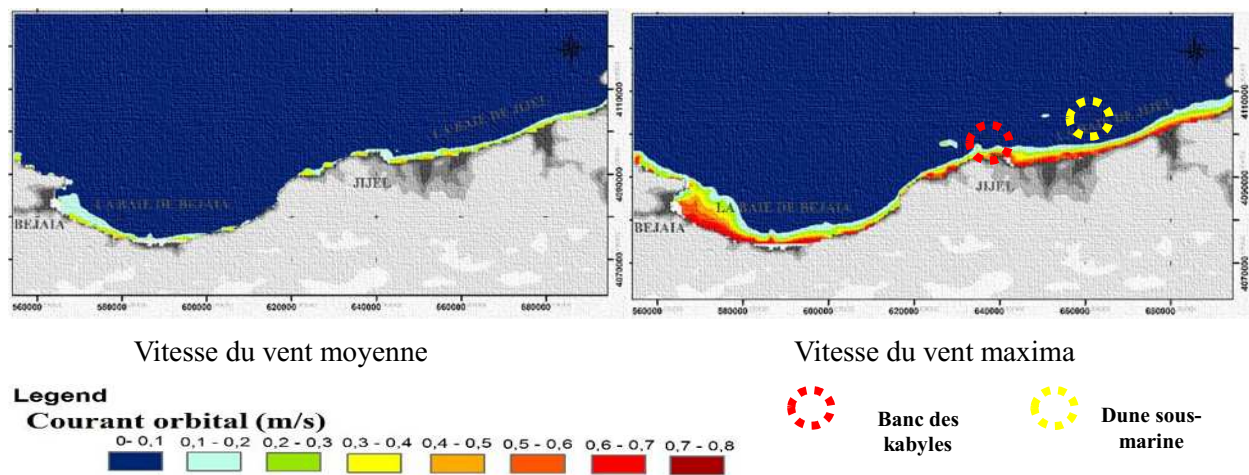


**Figure 33:** Cartes des hauteurs significatives de la houle au niveau de la baie de Bejaia et la baie de Jijel Résultats de la modélisation numérique par le modèle SWAN selon des conditions du vent annuelle moyennes et maximales, et avec un niveau de la mer absolu

Les résultats de la modélisation, dans le cas d'un niveau de la mer absolu de -25cm, ont montré que :

- La variation des hauteurs significatives de la houle est nulle, par rapport aux résultats obtenus dans le cas d'une absence d'anomalie de niveau de la mer (figure 30), sauf dans les zones de très faible profondeur près de la côte, ou on remarque une légère diminution.
- Concernant les résultats obtenus dans le cas d'une vitesse du vent maximale, on remarque une grande augmentation dans les hauteurs significatives de la houle qui dépasse les 6 mètre, et qui atteint sans maximum à l'intérieur de la baie de Bejaia, tandis qu'au niveau de la baie de Jijel, on observe plus clairement une répartition variée des amplitudes de la houle, le long de la côte du a la morphologie de la baie.

**- Les Courants Orbitaux :**



**Figure 34:** Cartes des courants orbitaux générés près du fond au niveau de la baie de Bejaia et la baie de Jijel Résultats de la modélisation numérique par le modèle SWAN selon des conditions du vent annuelles moyennes et maximales, avec un niveau de la mer absolu

Les résultats des courants orbitaux observés dans le cas d'une vitesse du vent annuelle moyennes, avec un niveau de la mer absolu de -25cm, n'ont montré aucune variation par rapport aux résultats observés, dans le cas d'absence d'anomalie du niveau de la mer (figure 32).

Concernant les résultats obtenus avec un vent annuel maximal, on remarque une présence de courant le long de la cote, avec une vitesse qui dépasse les 0,7 m/s, ces courants sont observés avec de très grande vitesse au tour des écueils sous-marine du banc des kabyle et au niveau des dunes sous-marine à l'est de la baie de Jijel, ces zone constitue donc un passage dangereux pour les navires.

La répartition de ces courants dépend à la fois; des hauteurs significatives de la houle et de la bathymétrie.

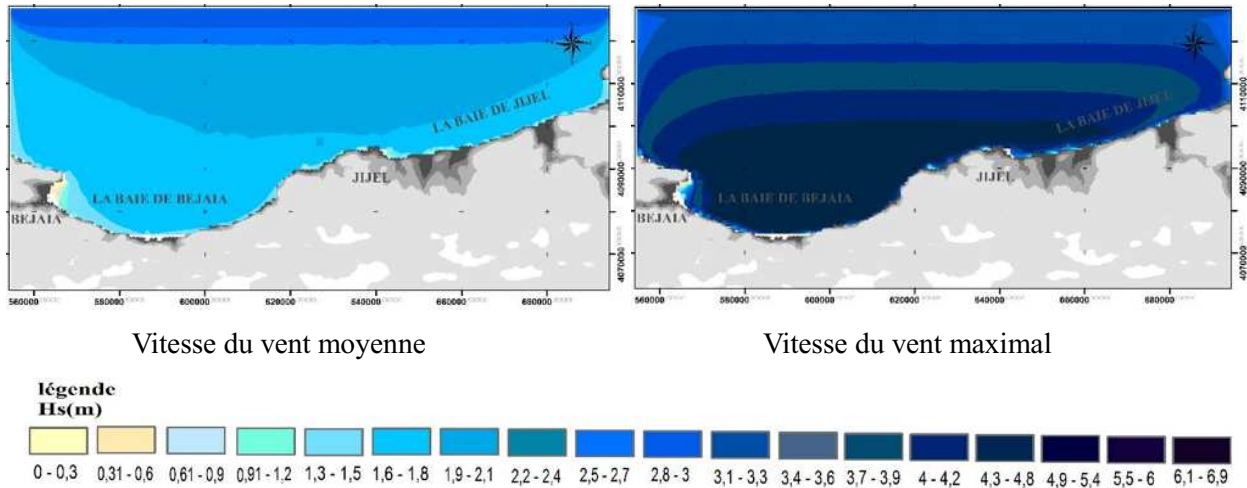
**Condition 3 :**

Une modélisation dans le cas d'une élévation maximale absolue du niveau de la mer,

observée au niveau de la baie de Bejaia et Jijel le 30.10.2004 (Figure 26), et avec les vitesses du vent annuelles moyenne et maximal (Tableau 2 et 3).

**Résultats :**

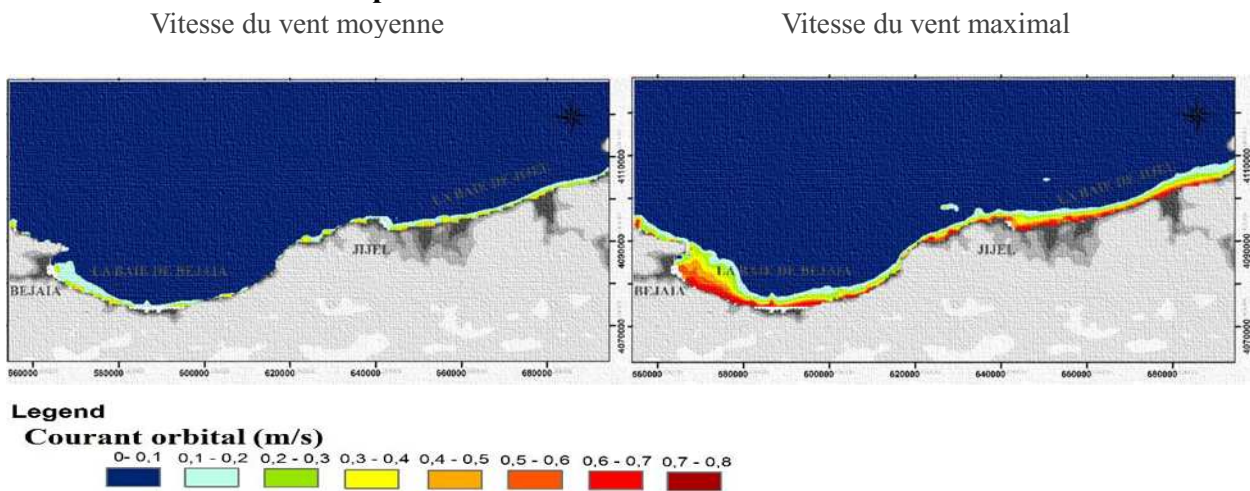
- **La hauteur significative de la houle :**



**Figure 35:**Cartes des hauteurs significatives de la houle au niveau de la baie de Bejaia et la baie de Jijel Résultats de la modélisation numérique par le modèle SWAN selon des conditions du vent annuelles moyennes et maximales, avec un niveau de la mer absolu de 45cm.

Les résultats des hauteurs significatifs de la houle, observer avec un niveau de la mer absolue de 45cm, par rapport aux résultats enregistrées avec un niveau de la mer de -25cm, montre une très légère variation dans les zones à faible profondeur.

**Les courants orbitaux près du fond :**



**Figure 36:**Cartes des courants orbitaux générés près du fond au niveau de la baie de Bejaia et la baie de Jijel Résultats de la modélisation numérique par le modèle SWAN selon des conditions du vent annuelles moyennes et maximales, avec un niveau de la mer absolu de 45cm.

Contrairement aux résultats des hauteurs significatives de la houle, ces résultats montrent bien une variation par rapport aux résultats des courants modélisée dans le cas d'une élévation

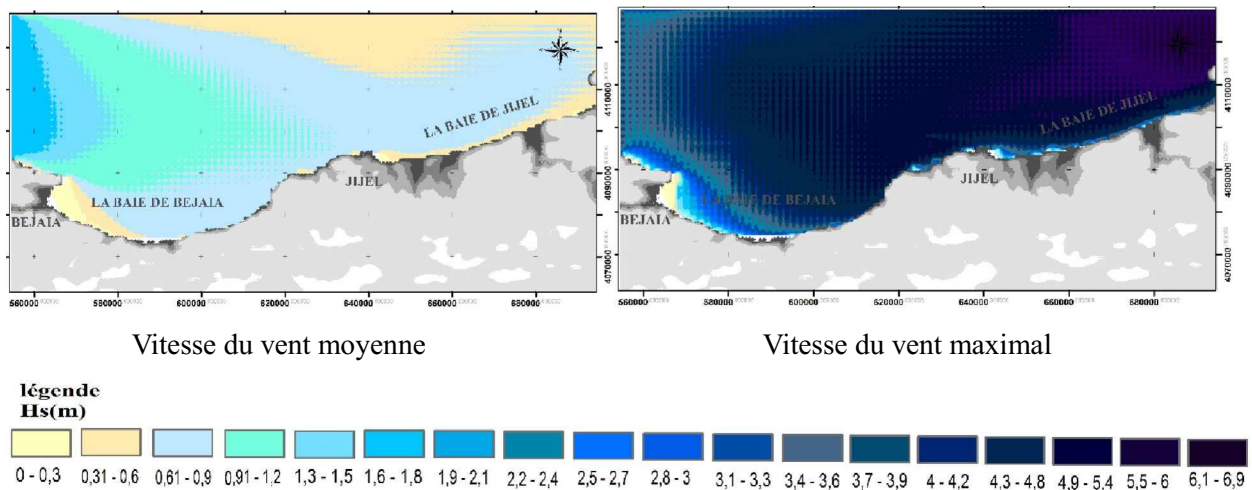
du niveau de la mer de -25cm, ou on a remarqué des courants plus forts et qui dépasse les 0,7 m/s.

**- Conclusion :**

Ces résultats montrent l'importance des données du niveau de la mer dans la modélisation numérique, et confirme que le modèle SWAN prend en considération la variation du niveau de la mer absolu dans ces calculs.

**Condition 4 :**

Une modélisation hydrodynamique avec intégration de la grille des courants généraux observés le 1-4-2014 (Figure 27), et avec une grille d'élévation minimum du niveau de la mer (Figure 25), et avec les vitesses du vent annuelles, moyennes et maximales.



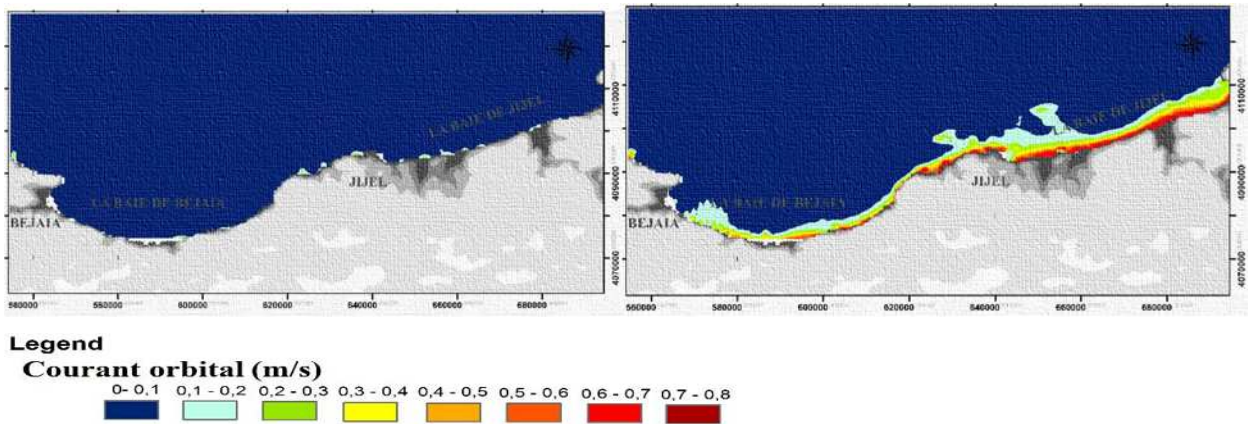
**Figure 37:**Cartes des hauteurs significatives de la houle au niveau de la baie de Bejaia et la baie de Jijel Résultats de la modélisation numérique par le modèle SWAN selon des conditions du vent annuelles moyennes et maximales, avec intégration de la grille du niveau de la mer minimal et la grille courant général de secteur Ouest

À partir des résultats des Hs, issus en intégrant les données du niveau de la mer sous forme d'une grille régulière, et une autre grille régulière des courants généraux d'un secteur ouest, on observe une variation très remarquable par rapport aux résultats obtenues avec des données absolues de niveau de la mer, et en absence des courants.

**- Conclusion :**

Swan prend en considération l'effet du courant sur la houle, cela se traduit par une variation remarquable au niveau des hauteurs significatives de la houle.

Cette variation, peut atteindre jusqu'à 1m de différence au niveau des résultats des hauteurs significatives des vagues.

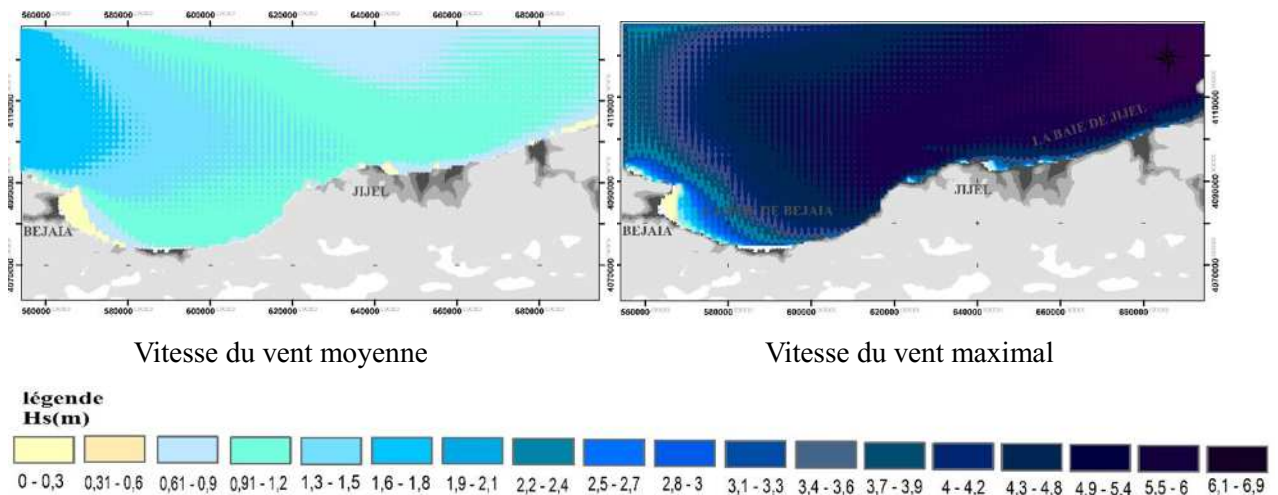


**Figure 38:**Cartes du courant orbital généré près du fond au niveau de la baie de Bejaia et la baie de Jijel Résultats de la modélisation numérique par le modèle SWAN selon des conditions du vent annuelles moyennes et maximales, avec intégration de la grille du niveau de la mer minimal et la grille courant général de secteur Ouest

Les résultats des courants orbitaux observés en intégrant la grille des courant comme données d’entrés, ont aussi montrés une diminuées par rapport aux résultats obtenues avec des données absolues de niveau de la mer, et en absence des courants généraux, ce résultat est en rapport directe avec la diminution des hauteurs significatif de la houle.

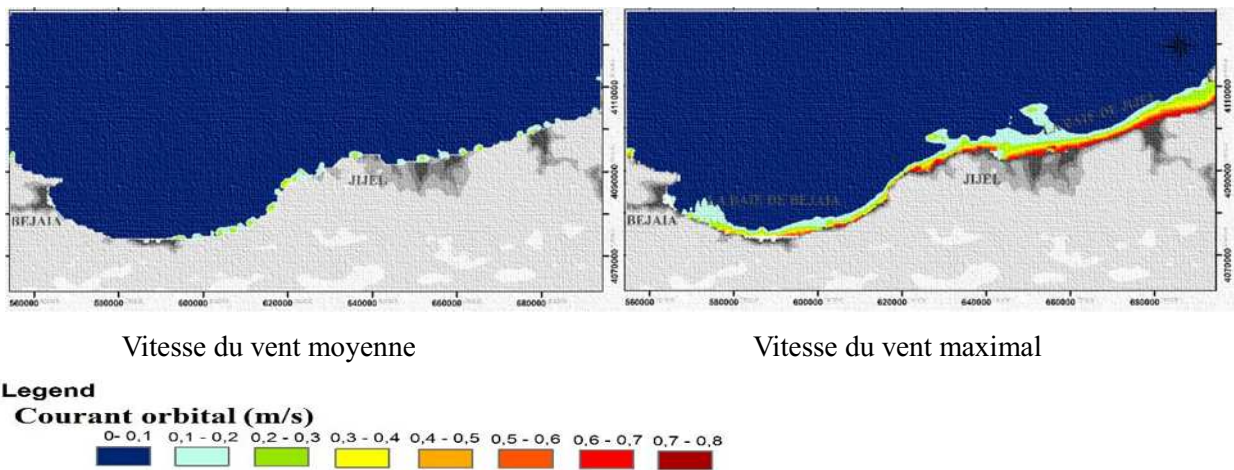
**Condition 5 :**

Une modélisation hydrodynamique avec une intégration de la grille des courants généraux observés le 1-4-2014 (Figure 27), et avec une grille d’élévation maximale du niveau de la mer, avec des vitesse du vent annuelles ,moyennes et maximales.



**Figure 39:**Cartes des hauteurs significatives de la houle au niveau de la baie de Bejaia et la baie de Jijel Résultats de la modélisation numérique par le modèle SWAN selon des conditions du vent annuelles moyennes et maximales, avec intégration de la grille du niveau de la mer maximal et la grille courant général de secteur Ouest

Ces résultats montrent que les hauteurs significatives n’ont pas subies de grande variation dans le cas d’un changement de la grille du niveau de la mer, sauf dans les zones de très faible profondeur, près de la cote ou on remarque une légère augmentation.



**Figure 40:** Cartes du courant orbital généré près du fond au niveau de la baie de Bejaia et la baie de Jijel Résultats de la modélisation numérique par le modèle SWAN selon des conditions du vent annuel moyennes et maximales, avec intégration de la grille du niveau de la mer maximale et la grille courant général de secteur Ouest

### Conclusion :

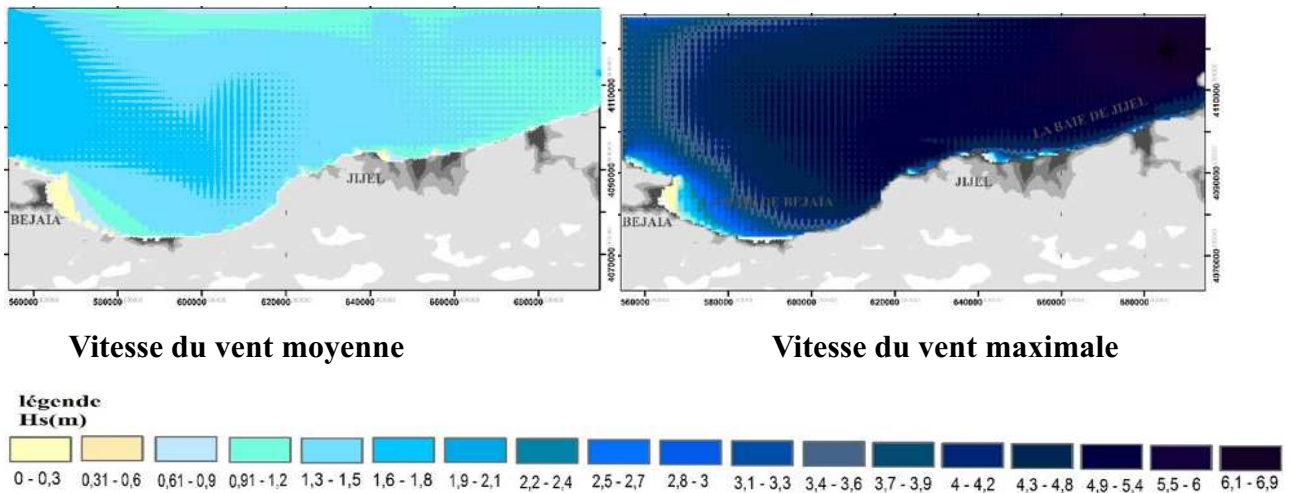
Les résultats obtenus par SWAN, en intégrant les données de niveau de la mer en forme de données absolue, et ceux obtenue avec une intégration des données de niveau de la mer en forme de grille régulière, sont largement différent, ce qui confirme l'importance des grilles de données de niveau de la mer dans la modélisation numérique du comportement hydrodynamique côtier.

Ainsi, en intégrant des données de courant général au niveau de la zone modélisée, avec les données des anomalies du niveau de la mer en forme de grille, les résultats seront plus proches de la réalité.

### Condition 6 :

Une modélisation hydrodynamique, avec intégration de la grille des courants généraux observés le 1-10-2014 (Figure 28), avec une grille d'élévation minimale du niveau de la mer, et avec les vitesse du vent annuelles, moyennes et maximales (Tableau 4).

Cette condition a été choisie afin d'observer les variations que peut provoquer un changement directionnel du courant général, sur les caractéristiques de la houle, et dans quelle direction du courant général, on peut enregistrer les plus fortes amplitudes de la houle.



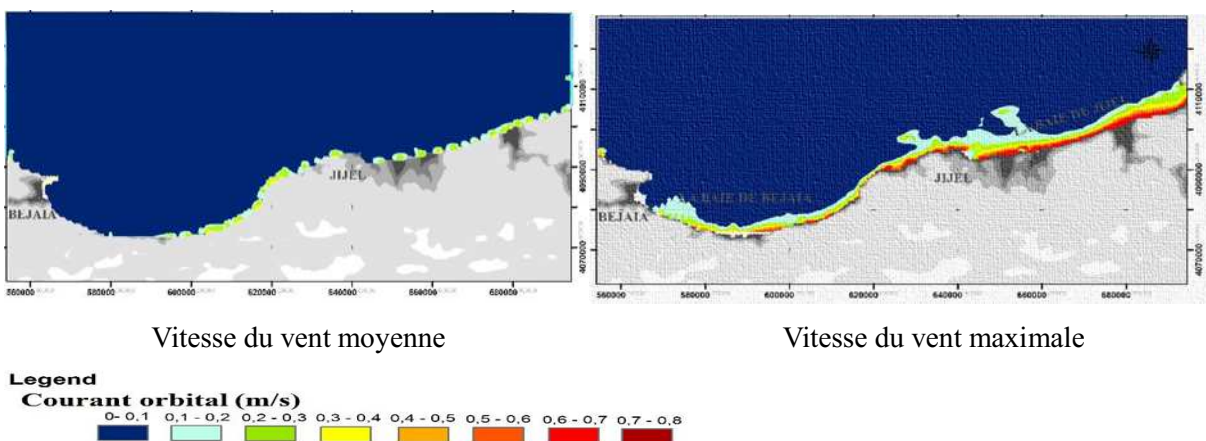
**Figure 41:**Cartes des hauteurs significatives de la houle au niveau de la baie de Bejaia et la baie de Jijel Résultats de la modélisation numérique par le modèle SWAN selon des conditions du vent annuelles moyennes et maximales, avec intégration de la grille du niveau de la mer minimal et la grille courant général de secteur Est.

Après avoir changé la grille de données d’entrer des courant généraux de secteur ouest du 01.04.2014, par une grille de courants d’un secteur Est du 01.10.2014, on a observé une variation remarquable dans les hauteurs de la houle.

Les hauteurs significatives observées au niveau de la baie de Bejaia, dans le cas d’une présence d’un courant (de secteur Est) sont plus forts que celles observées dans le cas d’un courant de secteur ouest.

**- Conclusion :**

La vitesse du courant général et sa direction, joue un rôle important dans la modification des comportements de la houle selon les résultats du modèle SWAN.



**Figure 42:**Cartes du courant orbital généré près du fond au niveau de la baie de Bejaia et la baie de Jijel Résultats de la modélisation numérique par le modèle SWAN selon des conditions du vent annuel moyennes et maximales, avec intégration de la grille du niveau de la mer minimale et la grille courant général de secteur Est.

Les variations des vitesses des courants orbitaux observés sont proportionnelles aux variations des hauteurs significatives de la houle.

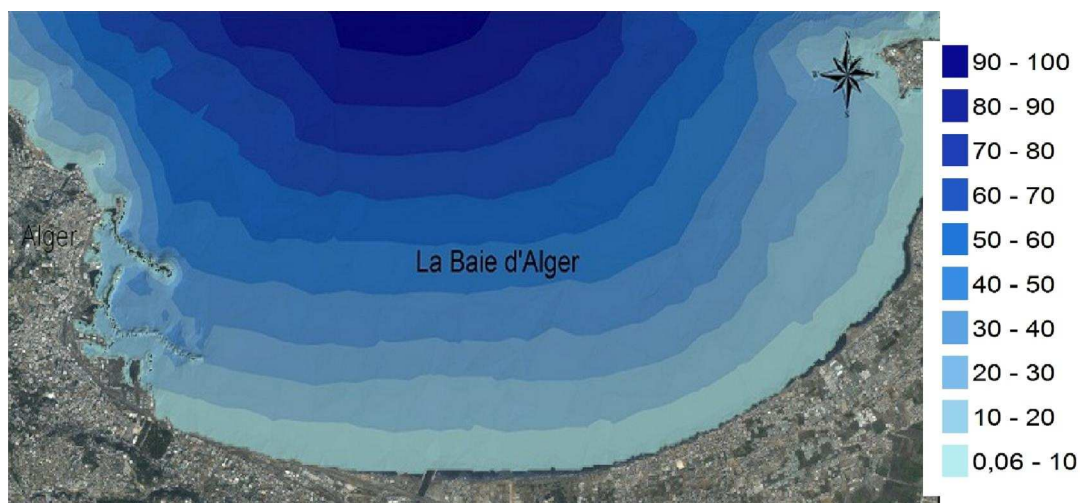
- **Conclusion :**

La formule utilisée pour la mesure des courants orbitaux (formule 10) ne prend pas en considération la présence d'autre type de courant, ce qui fait que tous les variations observées pour les vitesses des courants orbitaux sont proportionnelles aux variations des hauteurs significatives de la houle.

**5-2- Mode de fonctionnement de la commande des conditions limite:**

On a réalisé plusieurs modélisations à faible résolution, englobant en premier lieu les deux baies, Alger et Bou Ismail, dont la limite nord de la grille commence au niveau des abysses.

A partir des résultats obtenus, on a prélevé les caractéristiques de la houle entrant au niveau de la baie d'Alger, afin de déterminer les conditions limites, pour la modélisation hydrodynamique à haute résolution de la baie d'Alger.



**Figure 43 :** Carte bathymétrique de la baie d'Alger

**Les Condition modélisé :**

Selon une vitesse moyenne annuelle, enregistrer dans une période de 10 ans par l'ONM (**Tableau 4**).

Selon les directions du vent dominant annuel (NNE) enregistrés dans une durée de 5ans, du mois d'avril 2010 au mois d'avril 2015.

Selon les conditions limite tirée des résultats de la modélisation selon les conditions 6(figure 41)

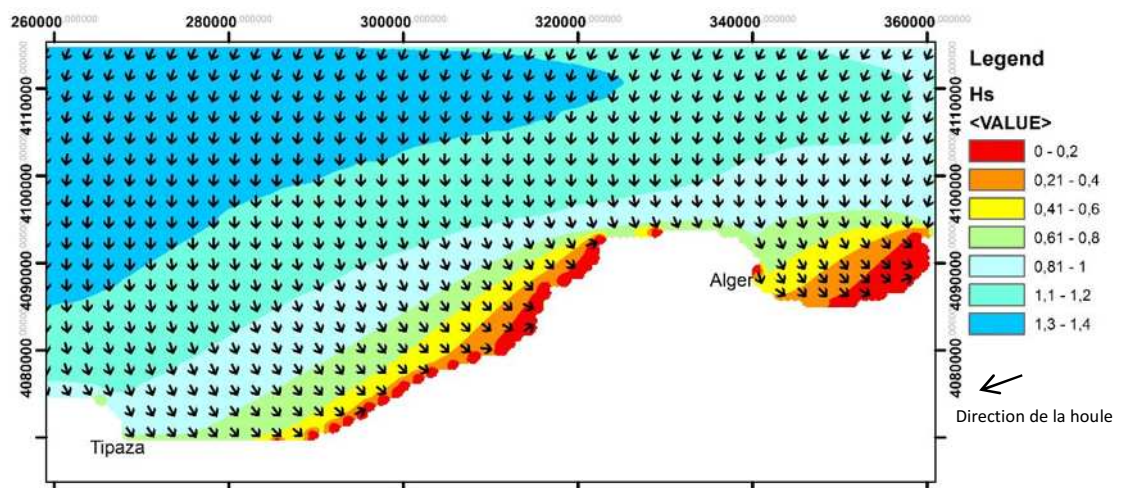
**Tableau 5 : vitesse du vent maximal, mensuelle et annuelle enregistré dans une période de 10 ans niveau d'Alger par l'ONM**

Vitesse du vent Moyenne mensuelle													
Mois	Janv	Fevr	Mars	Avri	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Octo	Nov	Dec	Moyenne Annuelle
Vitesse du vent (m/s)	10.1	10.5	10.8	11.4	10.9	11.3	11.1	10.8	10.8	10.3	10.3	9.9	10.7

**Tableau 6 : direction du vent dominante, mensuelle et annuelle enregistré entre avril 2010 et avril 2015 à Alger (Alger-Port. Windfinder)**

Direction du vent dominante													
Mois	Janv	Fevr	Mars	Avri	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Octo	Nov	Dec	Moyenne Annuelle
Vitesse du vent (m/s)	SW	W	SSW	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE	WSW	SSW	NNE

5.2.1- Résultats et discussions

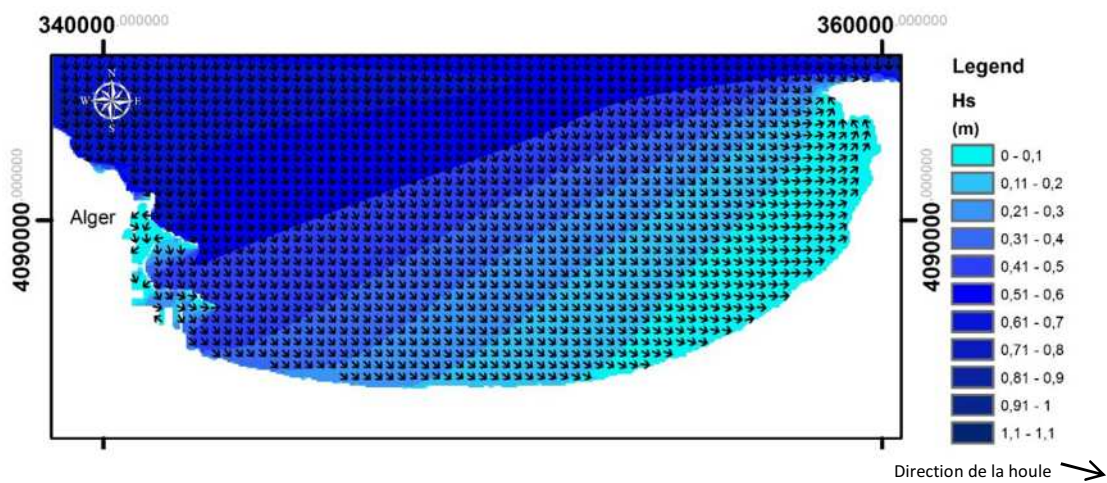


**Figure 44 :** Cartes des hauteurs significatives de la houle au niveau de la baie d'Alger et de BouIsmaïl, Résultats de la modélisation numérique par le modèle SWAN selon des conditions du vent annuelle moyennes

A partir de cette carte, on remarque que la houle du large venant du secteur NNE, subit une réfraction avant l'entrée de la baie d'Alger et dérive plus ou moins vers l'Est.

En utilisant les conditions limites de la houle à l'entrée de la baie d'Alger, avec les mêmes vitesses du vent annuelles moyennes, soufflant dans la direction dominante NNE, on a réalisé

une modélisation à haute résolution (50m), et les résultats ont été représentés dans les cartes suivantes.



**Figure 45 :** Cartes des hauteurs significatives de la houle au niveau de la baie d'Alger, Résultats d'une modélisation numérique par le modèle SWAN (résolution 50m) selon des conditions du vent annuelle moyennes

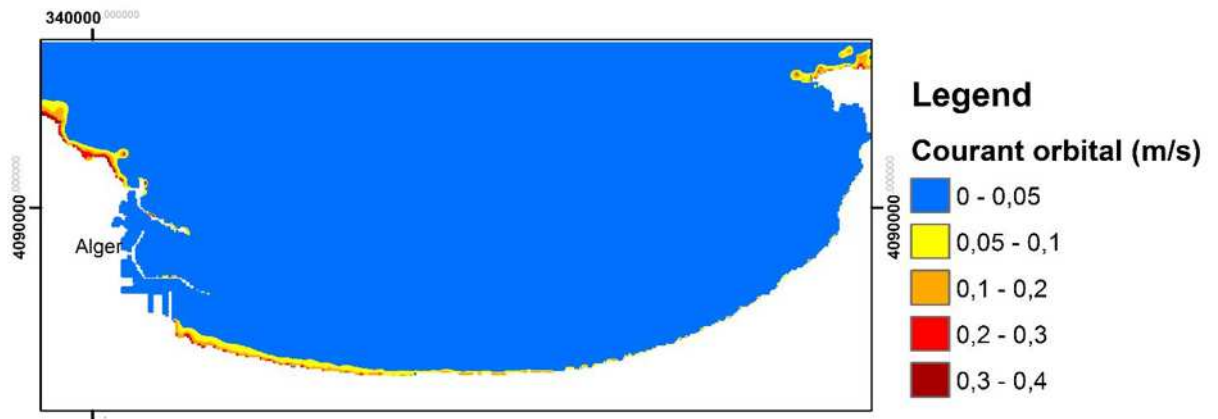
Selon ces résultats, Les condition limite introduit dans la grille de calcul ont été pris en considération lors de la modélisation.

Une modélisation directe de la baie d'Alger sans condition de limite, donne des résultats qui dépendent totalement de la direction du vent et de sa vitesse, sans pondre en considération les modifications que subis la houle avant d'atteindre la baie, à cause des phénomènes de diffraction et de réfraction, et l'action des courants généraux ainsi que les variations du niveau de la mer.

Il est donc très nécessaire de bien définir les conditions de frontière avants chaque modélisation à petite échelle avec le modèle SWAN.

Cette carte montre aussi bien la réfraction de la houle qui dévie vers la côte Est de la baie en diminuant progressivement son amplitude.

Sachant que le vent caractérisé dans cette modélisation vient du NNE, on peut conclure qu'à l'échelle de la baie d'Alger, les vents n'ont de grande influence sur la direction de la houle, sa direction a été conditionnée dans les limites ouvertes de la grille. La morphologie sous-marine est donc le facteur principal qui influence sur sa direction par les phénomènes de réfraction et de diffraction.



**Figure 46 :** Cartes des vitesses des courants orbitaux de la houle au niveau de la baie d'Alger, Résultats d'une modélisation numérique par le modèle SWAN (résolution 50m) selon des conditions du vent annuelle moyennes

La carte des vitesses moyennes des courants orbitaux, montre la présence d'une forte activité courantométrie à l'ouest de l'Oued el Harrach, au niveau des "Sablettes" Hussein-dey, une zone côtière qui connaît de forte érosion, et dans laquelle plusieurs aménagements lourds ont été réalisés pour la protection d'une infrastructure très importante dont la route nationale 11. Ces résultats peuvent aussi valider le bon fonctionnement de la commande des condition limite (**BOUNDspec**) et la nécessiter de son utilisation pour que les résultats soient le plus proche possible de la réalité.

### 5-3- Conclusion:

La modélisation de la baie d'Alger, nécessite une grande précision dans la détermination des conditions limites introduites au modèle Swan.

La houle entrant au niveau de la baie, subit plusieurs modifications dans ses caractéristiques et dans sa direction, avant d'atteindre les limites ouvertes de la baie. La connaissance de ces modifications est essentielle pour une modélisation haute résolution des comportements hydrodynamique à l'intérieur d'une baie.

Une modélisation à grande échelle de la baie d'Alger, et de son entourage jusqu'à la profondeur de génération de la houle, nous a permis de déterminé les caractéristiques de la houle aux limites de la baie d'Alger.

Les facteurs modificateurs du comportement de la houle en plus de la bathymétrie sont: les courants et les variations du niveau de la mer. Les données de ces dernières sont très nécessaires pour la modélisation numérique hydrodynamique.

Pour notre étude de classement des zones à forte potentielle énergétique, on doit définir les conditions limites de notre zone d'étude à partir d'une première modélisation à grande échelle qui englobe la zone d'étude et son entourage jusqu'à la zone des abysses, et ce avec la pris en considération des facteurs modificatrice du comportement de la houle, dont les courant les variations du niveau de la mer et la morphologie sous-marine.



**Chapitre 6 :**  
**Classification des Zones à Fort**  
**Potentiel Energétique**

## **Chapitre 6 : Classification des zones à fort potentiel énergétique**

L'énergie des vagues, de même qu'un grand nombre de sources d'énergie renouvelable, a pour origine l'énergie solaire. Pour expliquer comment l'énergie solaire se transforme en énergie mécanique, nous pouvons comparer notre planète à une machine thermodynamique, gigantesque et très complexe qui utilise deux fluides : l'eau des océans et l'air atmosphérique. (Damy, et al., 1981)

Au niveau de la zone côtière, les vagues sont omniprésentes, avec une énergie très considérable qui dépasse largement l'énergie éolienne. L'énergie des vagues offre une importante ressource brute en énergie. C'est l'une des plus denses parmi les énergies renouvelables.

Les zones côtières n'e sont pas dotées du même potentiel énergétique, la répartition de cette énergie hydrodynamique dépend de plusieurs facteurs, dont la morphologie littorale.

Il existe plusieurs instruments de mesure institue, qu'on peut effectuer pour le calcul de cette énergie, mais son utilisation reste très chère très difficile et dure trop longtemps et encore elle tolère un certaine pourcentage d'erreur.

La simulation numérique du comportement hydrodynamique, reste donc le moyenne de mesure le moins couteux et le plus rapide ainsi la modélisation hydrodynamique nous permet de simuler l'état de La mer selon diffèrent condition climatique probable.

Pour la classification des zones à fort potentielle énergétique, on a eu recours à la modélisation numérique hydrodynamique en utilisons le modèle numérique SWAN.

La zone d'étude choisie est la baie d'ElAouana; située entre la baie de Jijel et celle de Bejaia Cette baie est caractérisée par la présence de trois îles, ainsi que plusieurs enrochements qui régisse largement le comportement hydrodynamique à l'intérieur de la baie. Ainsi elle regroupe plus de 4,5 km de linéaire côtier sableux, et cette zone a été classée comme une zone active selon les résultats de la modélisation mensuelle de la baie de Bejaia et de Jijel, (Figure 29 et 31)



**Figure 47 : Image satellitaire de la baie de ELAouana, Jijel**

### **6-1- Les conditions modélisées :**

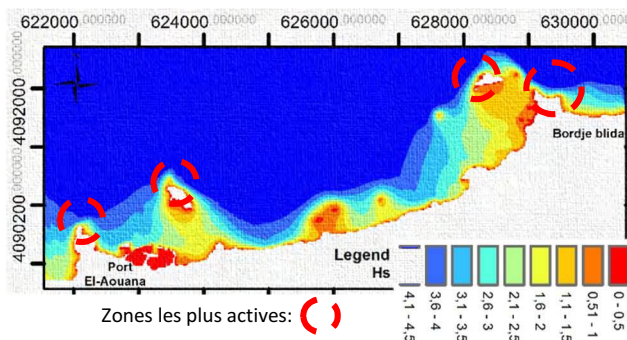
Deux tests de modélisation à haute résolution (20 m) ont été effectués :

La première modélisation a été effectuée avec une vitesse du vent maximal, observé dans une période de 10 ans par l'ONM, et selon une direction ouest, avec les conditions limite prélevée à partir des résultats de la modélisation à grand échelle de la baie de Jijel et de Bejaia, modélisé en prenant en considération les données de courant générale et celle des anomalies du niveau de la mer. (Figure 41)

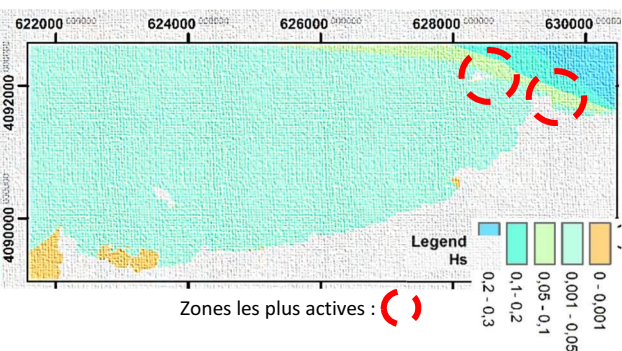
La deuxième modélisation a été effectuée selon les conditions du vent moyennes du mois de juin, vue que ce mois-ci, selon les résultats de la modélisation mensuelle au niveau de la baie de Bejaia et Jijel (figure 29) représente le mois le plus calme de l'année. Ainsi les conditions limites de la baie d'ELAouana ont été tirées à partir de la carte des hauteurs significatives du mois de juin.

Ces deux conditions modélisées, seront utilisées pour déterminer les zones de fort potentiel énergétique. Ainsi ils nous permettent de quantifier l'énergie maximale et minimale par unité de surface que reçoivent ces zones le long de l'année.

## 6-2- Résultats et discussions



**Figure 48:** cartes des hauteurs significatives au Niveau de la baie d'El-Aouana selon les plus fortes activités hydrodynamiques enregistrées au niveau de la baie de Bejaia et Jijel (vent ouest)

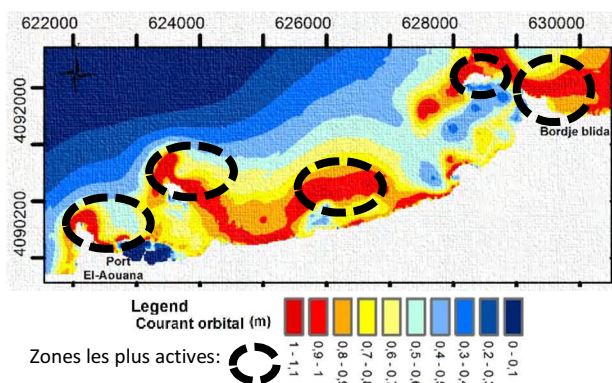


**Figure 49 :** cartes des hauteurs significatives au Niveau de la baie d'El-Aouana selon la plus faible activité hydrodynamique enregistrée au niveau de la baie de Bejaia et Jijel (vent Est)

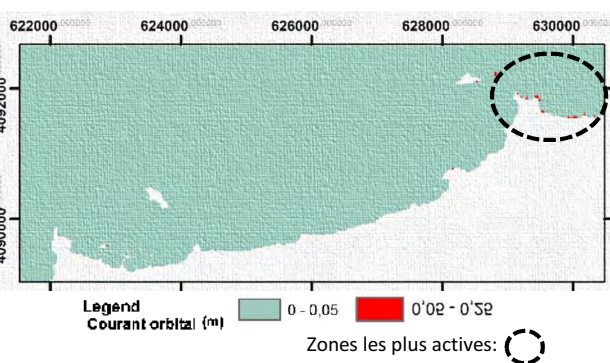
A partir de ces deux cartes, on a sélectionné les zones littorales qui reçoivent les plus hautes amplitudes de la houle, ces zones peuvent être qualifiées de zones très actives.

On remarque que seulement deux zones ont été marquées sur les deux cartes à la fois. Cela limite notre recherche dans ces deux zones

Afin de bien limiter notre zone de recherche, on a réalisé deux cartes représentant les résultats du courant orbital (figure 52 et 53), et On a sélectionné les zones qui marquent les plus grandes vitesses du courant.



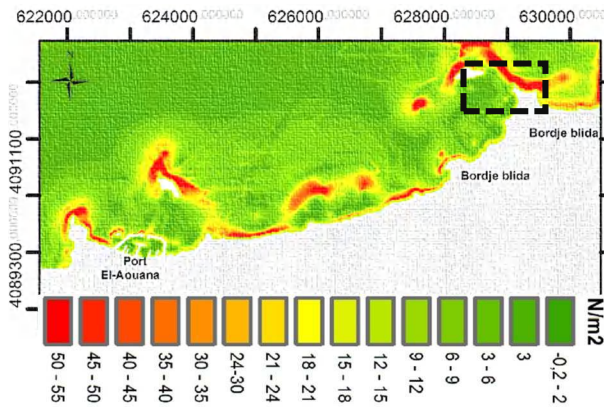
**Figure 50 :** cartes des vitesses de courant orbital de la baie d'El-Aouana selon les plus fortes activités hydrodynamiques enregistrées au niveau de la baie de Bejaia et Jijel (vent



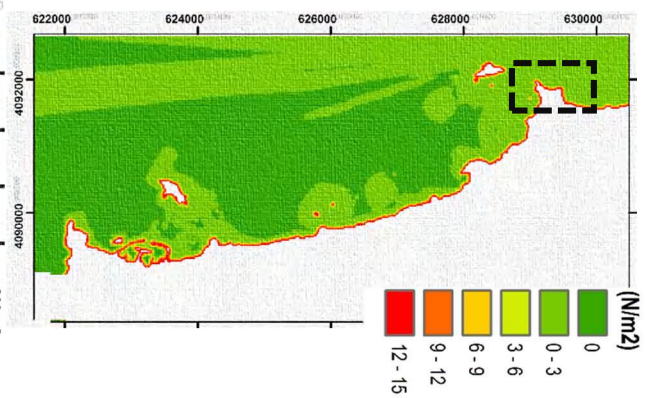
**Figure 51 :** cartes des vitesses de courant orbital de la baie d'El-Aouana selon la plus faible activité hydrodynamique enregistrée au niveau de la baie de Bejaia et Jijel (vent Est)

Cette fois ci une seule zone a été sélectionnée au niveau des deux cartes à la fois. Ce qui nous permet de faire une première sélection de la zone les plus dynamiques.

Afin de confirmer ce choix, et de quantifier l'énergie que cette zone reçoit par unité de surface on a réalisé deux cartes de répartition d'énergie à l'intérieur de la baie d'ElAouana en (N/m<sup>2</sup>).



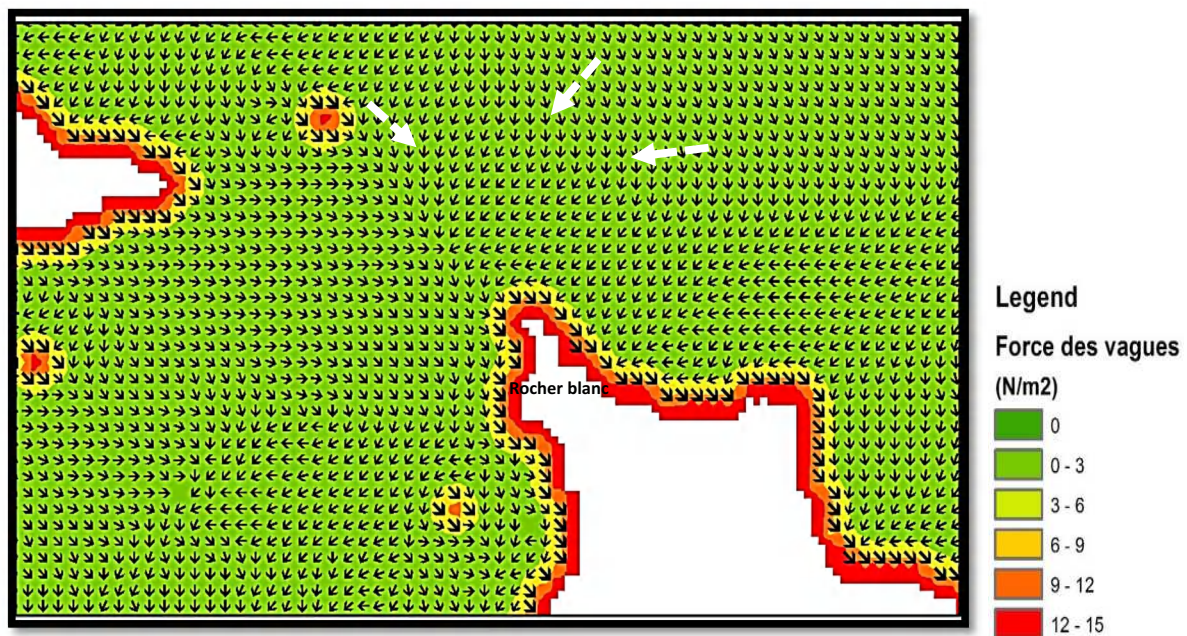
**Figure 52 :** cartes d'énergie des vagues de la baie d'El-Aouana selon les plus fortes activités hydrodynamiques enregistrées au niveau de la baie de Bejaia et Jijel (vent ouest)



**Figure 53:** cartes d'énergie des vagues de la baie d'El-Aouana selon la plus faible activité hydrodynamique enregistrée au niveau de la baie de Bejaia et Jijel (vent Est)

La zone sélectionnée a base des résultats précédents, reçoit une énergie très importante de 50 N/m<sup>2</sup> dans le cas des conditions du vent maximal. Par contre dans le cas des conditions du vent minimal elle ne dépasse pas 15N/m<sup>2</sup>

. Vu qu'il est impossible d'observer clairement sur la carte, les zones à forte énergie le long de la baie en mer calme, on a réalisé un zoom au niveau de la zone sélectionnée, avec une représentation vectorielle du comportement directionnel des forces des vagues. (figure56).



**Figure 54 :** représentation vectorielle de propagation d'énergie des vagues

Selon ces résultats on remarque une convergence des forces des vagues convergent vers le cap du rocher blanc. Cela peut provoquer une amplification de l'énergie au niveau du cap et faire de ce dernier un point de très forte potentialité d'énergie houlomotrice.

**Conclusion:**

Ces derniers résultats nous permettent de classer le cap est de la baie d'el Aouana (rocher blanc) comme une zone de fort potentiel énergétique, avec une dynamique omniprésente.

Cette zone peut être classée comme une zone dangereuse à la baignade, dangereuse à la navigation, et surtout une station optimale pour la reproduction d'énergie houlomotrice, avec une activité omniprésente.

La simulation numérique représente un outil très pratique dans l'étude et le classement des zones à fort potentiel énergétique.

L'utilisation des modèles numériques pour cette étude nécessite une bonne définition des conditions au limite de la zone modélisée.

## **Conclusion générale**

### Conclusion générale :

La résolution analytique des équations hydrodynamiques est pratiquement impossible. Pour cette raison le recours à la modélisation numérique de plus en plus est devenu l'alternative la plus utilisée. Plusieurs logiciels sont développés pour des applications différentes. Dans notre cas nous avons choisi le logiciel SWAN pour l'étude de l'hydrodynamique côtier.

L'un des phénomènes les plus importants à observer est la dissipation d'énergie des vagues après de la côte, la houle atteignant la côte avec des intensités différentes et qui dépend de différents facteurs, dont principalement la morphologie de la côte, le vent et les courants. Les tests de modélisation effectués avec le modèle Swan au niveau des deux baies de Jijel, Bejaia et Alger nous ont permis de tirer plusieurs remarques :

- L'équation de base pour la mesure des courants orbitaux ne tient pas compte de la présence des autres courants. Les variations observées pour les vitesses des courants orbitaux sont proportionnelles aux variations des hauteurs significatives de la houle.
- Les résultats obtenus par SWAN, en intégrant les données de niveau de la mer en forme de données absolues, et ceux obtenus avec une intégration des données de niveau de la mer en forme de grille régulière, sont largement différents.
- La vitesse du courant général et sa direction jouent un rôle important dans la modification des comportements de la houle.
- En intégrant des données de courant général au niveau de la zone modélisée avec les données des anomalies du niveau de la mer en forme de grille, les résultats seront plus proches de la réalité.
- La modélisation à petite échelle nécessite une grande précision dans la détermination des conditions limites introduites au modèle Swan.
- La houle entrant au niveau de la baie subit plusieurs modifications dans ses caractéristiques physiques et dans sa direction avant d'atteindre la côte. La connaissance de ces modifications est essentielle pour une modélisation haute résolution des comportements hydrodynamiques.

Ces conclusions nous ont permis de répondre à la première question de la problématique posée.

On doit définir les conditions limites de notre zone d'étude à partir d'une première modélisation à grande échelle, qui englobe la zone d'étude et son voisinage jusqu'à la zone de génération de la houle, en considérant les facteurs modificateurs du comportement de la houle.

Le modèle Swan nous a permis de classer les zones côtières selon leur potentielle énergétique. La comparaison des résultats selon le facteur vitesse du vent maximal et vitesse minimale nous a permis de classer les zones les plus dynamiques. Nous avons remarqué que le cap Est de la baie (le rocher blanc) est la zone la plus active au niveau de la baie d'el-Aouana.

Comme conclusion générale, l'utilisation d'un LOGICIEL spécialisé en hydrodynamique est la présentation des phénomènes étudiés par rapport à une grille. Les performances des modèles numériques, dépendent essentiellement des données d'entrée et de la résolution spatiale de la grille de calcul. La comparaison et l'observation des données de sortie après plusieurs modélisations numériques nous a permis de tester les commandes du modèle et de comprendre des phénomènes locaux observés en mer.

Ce travail m'a permis d'approfondir mes connaissances dans le domaine de la modélisation numérique hydrodynamique. Durant ce travail j'ai réussi à maîtriser le modèle numérique Swan avec toutes ces fonctionnalités (en mode stationnaire et en mode non stationnaire), et de programmer une extension ArcGIS qui permet de représenter facilement tous les résultats de sortie de Swan en format raster. Cette étude m'a aussi permis de découvrir de nouvelles sources de données opensource, de bathymétrie, des courants, et des anomalies du niveau de la mer.

Je note que dans ce travail j'ai pu voir l'intérêt des modules enseignés dans notre école.

## Références Bibliographiques

## Références bibliographiques :

1. **Ardhuin, F. (2005)**. Etat de la mer et dynamique de l'océan superficiel, mémoire d'habilitation à diriger des recherches, Université de Bretagne Occidentale, 318 p
2. **BACHARI, H.F. (2009)**. *Modélisation et cartographie de la pollution marine et de la bathymétrie à partir de l'imagerie satellitaire*, these de doctorat, Université du val de marne Paris XII, 257p.
3. **BACHARI, N.E.I. (2013)**. Apport des images MODIS pour observer le fonctionnement du milieu marin le long de la côte Algérienne. Publication, pp. 45-52.
4. **BAKALEM, A. (2008)**. Contribution à l'étude des peuplements benthiques du plateau continental algérien, These de doctorat, USTHB, 670p.
5. **BELMEDREK, S. (2001)**. *Granulométrie et minéraux lourds des sables dunaires et de plage des secteurs de Oued Zhour et de Béni Bélaïd*, these de Magister, Université Mentouri-Constantine.
6. **BENNIS, A. et al. (2010)**. Modélisation couplée vagues-courant développements avec MARS3D et WAVEWATCH III, XI èmes Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civi, Editions Paralia CFL, 24p
7. **BELY, P. et al (2004.)**. *Deux cent cinquante réponses aux questions du marin curieux*, *Le gerfaut*, 325p
8. **BONNEFILLE, R. (1992)**. *Cours d'hydraulique maritime*, 3ème édition, 208p.
9. **BRIERE, C. (2009)**. *Etude de l'hydrodynamique d'une zone côtière anthropisée l'embouchure de l'Adour et les plages adjacentes d'Anglet*, these doctorat, Université de PAU et des Pays de l'Adour. 257p.
10. **CASTELLE, B. (2004)**. Modélisation de l'hydrodynamique sédimentaire au-dessus des barres sableuses soumises à l'action de la houle, These doctorat, UNIVERSITE BORDEAUX I, 344p.
11. **DAMYS, M.G et GAUTHIER. (1981)**. *Production d'énergie à partir de la houle*, Ifremer, 187p.
12. **Daniault, N. (2005)**. Océanographie Physique pour l'École Navale. Université de de Bretagne Occidentale, Brest. 99p
13. **DANILO, C. (2009)**. *Evaluation des courants de surface océanique au moyen d'un radar à ouverture synthétique*. these doctorat, HAL., 248p
14. **DOGLIOLI. (2012)**. *Dynamique Océanique*, cours, univ-mrs. 109p.
15. **DOGLIOLI. (2014)**. *Notes de Cours et Travaux Dirigés de Dynamique des Océans*. 119p.

16. **ERRAHMANI,D.T. (2009).** *Etude de la pollution et de la géochimie par les métaux traces et les radioéléments dans les sédiments de la baie d'Alger,Memoire d'ingenieur, ENSSMAL.*
17. **GUILCHIER, A. (1979).** *Précis d'hydrologie marine et continentale, 2ème édition. Masson. Paris, 344 p.*
18. **GUINOT, et al. (2007).** *Interaction houle-courant par profondeur finie: impact sur la cinématique, Actes des 11èmes Journées de l'Hydrodynamique, Brest, ISSN: 1161-1847. Session 7 : Houle, pp.333-342*
19. **GUINOT, F et al. (2008).** *Interaction houle-courant en bathymetrie variable. Article. Hydrodynamique et Océanométeo ,Ifremer ,627p.*
20. **KERSALÉ,M. (2013).** *Dynamique de processus océaniques de méso- et de subméso-échelle à partir de simulations numériques et de données in situ, thèse doctorats, Université d'Aix-Marseille, 627p.*
21. **LAUGIER.M et Mortier. (1994).** *Un modèle bidomaine aux equations prtrmttves en Océanographie physique..*
22. **LENTZ, S.J et al. (2008).** *Observations and a Model of undertow over the Inner Continental Shelf, 2008.publication, JPO, 48 p.*
23. **MAGANGA,F. (2011).** *Caractérisation numérique et expérimentale des effets d'interaction entre une hydrolienne et le milieu marin, thèse doctorat, Université du Havre.243p.*
24. **MAGNAN,A. (2009).** *Le tourisme littoral en Méditerranée, Article, Institut Du Développement Durable et Des Relations Internationales, 48p.*
25. **MOUAKKIR,L et al. (2008).** *Modélisation numérique de l'hydrodynamique avec interaction houle-courant : Effet sur le taux de cisaillement au fond, Xèmes Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil, 14-16 octobre 2008, Sophia Antipolis, Université Hassan II. pp. 425-433.*
26. **MAOUCHE. (1987).** *Mecanismes hydrosedimentaires en baie d'alger (algerie) approche sedimentologique, geochimique et traitement statistique, thèse doctorat, Université de Perpignan, 213 p*
27. **MIHOUBI,M.K. (2013).** *Processus cotiers, tome 2 ,ENSH Blida, 78p*
28. **MILLOT,C et TAUPIER-LETAGE. (2004).** *Spatial structure of anticyclonic eddies in the Algerianbasin Mediterranean Sea analyzed using the Okubo–Weiss parameter, Elsevier deep-research, Paris II, p20.*
29. **PASKOFF,R. (2010).** *Les littoraux. 3° edition ,256p.*
30. **PUILLAT, et al. (2001).** *Algerian Eddies lifetime can near 3 years. journal of marine systems,Article,ELSEVIER,15p*
31. **SALOMON,J.C et LEHIR,P. (1981).** *Etude de l'estuaire de la Seine - Modélisation numérique des phénomènes physiques., Rapport, IFREMER, 266p*

32. **SVENDSEN et PETREJU. (1994).** *Nearshore mixing and dispersion. Proc. R. Soc. London.* 592p.
33. **SWAN. (2006).** *User manual documentation. Delft University of Technology, Environmental Fluid Mechanics Section, to be available, 118p.*
34. **SWAN. (2006).** *Technical documentation. Delft University of Technology, Environmental Fluid Mechanics Section, available from 82p.*  
*<http://www.uidmechanics.tudelft.nl/swan/index.htm> (Version 40.51, August 2006).*
35. **TAMTARE,T. (2013).** *Traitement des données adcp et analyse des conditions hydrodynamiques littorales durant la campagne de grand popo, Master of Science en Oceanographie Physique et Applications.*31p
36. **VOITURIEZ,B. (2012).** *La circulation générale océanique, Publication, l'Institut océanographique.*
37. **ZEGHDOUDI. (2006).***Modélisation bioéconomique des pêcheries méditerranéennes, these Doctorat, Université de Barcelone, 71p.*

#### **Sites Web:**

**aviso+.** le site de référence Altimétrique. [Online] AVISO+ Satellite Altimetry Data. [Cited: janvier 25, 2015.] <http://www.aviso.altimetry.fr/en/data/products/sea-surface-height-products/global/msla.html>.

**König and Kaufmann. 2014.** windfinder. [Online] GmbH & Co. KG, 2014. [Cited: janvier 5, 2015.] <http://fr.windfinder.com>. VAT-No.: DE 268454511.

**Technology, Delft University of. 2014.** simulating waves nearshore. [Online] 2014. [Cited: décembre 5, 2014.] <http://swanmodel.sourceforge.net/>.



# ANNEXES

# **ANNEXES**

## **Aide au développement à base de SWAN**

**AMAROUCHE Khalid (2015)**

## 1- Mise en place et mode de fonctionnement de SWAN :

### 1-1- Le Téléchargement de SWAN :

SWAN est un modèle numérique gratuit (open source) et facilement téléchargeable à partir du site de l'Université de technologie de Delft la plus ancienne université publique des PaysBas. (<http://www.tudelft.nl/> ). A partir de ce site web on trouve un accès au site de téléchargement du modèle numérique Swan ainsi que de toutes ses composantes et ses compléments.

lien du telechargement : <http://swanmodel.sourceforge.net/download/download.htm>

#### Les fichiers téléchargés :

- Le code source de SWAN "**swan4101.tar** " dans lequel on trouve le SWANRUN le fichier d'exécution séquentiel de Windows.
- Le fichier exécutable de SWAN "**setup-SWAN-41.01A-omp-netcdf-win32\_2** " pour Microsoft Windows, ainsi que le netcdf . et OpenMP.
  - **Netcdf** : est une bibliothèque permettant la manipulation de fichiers auto-descriptifs au format NetCDF,
  - **OpenMP** : est une bibliothèque supportée par plusieurs langages (C,C++ et Fortran) disponible sur plusieurs plates-formes (Linux, Windows, OS X, ...). OpenMP regroupe des directives de compilation et des fonctions.
- o **MPICH2**, "**mpich2-1.4.1p1-win-ia32.msi**" une exécution librement disponible et portative de MPI (**Message Passing Interface**), une application pour distribuer la mémoire utilisée dans un calcul parallèle.
- o **SWANUS.Pdf** :le manuel d'utilisateur de SWAN.
- o **Swantech.Pdf** : La documentation technique et scientifique dans lequel on trouve les détails physiques et mathématiques et les discrétisations qui sont employés dans le modèle de SWAN

Après avoir téléchargé tous fichiers nécessaires pour mettre en application du SWAN. Ils ont été placé dans un seul dossier qui représente notre environnement de travail avec un espace libre suffisant.

## **1-2- Installation de SWAN :**

La première étape consiste à lancer le fichier exécutable “setup-SWAN-41.01A-omp-netcdf-win32\_2” cela permet d’installer à la fois SWAN, OpenMP et NetCdf

Ensuite on installe “mpich2” (le fichier d’exécution. **mpich2-1.4.1p1-win-ia32.msi.**)

Durant installation de MPICH2 on doit choisir et sélectionner “installed for Everyone”

Après l’installation de MPICH2 on ajoute des règles au mur du parefeu pour permettre aux programmes mpiexec.exe et smpd.exe de communiquer.

Pour finir, on ouvre dans l’administrateur la ligne de commande “commande prompt” et sur le répertoire c:/program files/mpich2/bin/, on lance les commande suivant, l’une après l’autre :

- smpd –install
- mpiexec -remove
- mpiexec -register
- mpiexec –validate
  
- smpd –status

Après le lancement de cette commande, on est donc prêt à mettre en application le modèle SWAN.

## **1-3- Préparation du fichier commande (.SWN):**

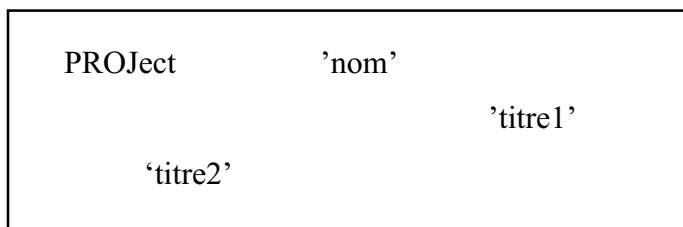
Les conditions de modélisation, ainsi que les donnée d’entrer et du sortie du modèle et leurs unités, sont tous définie dans un texte de commande, écrit dans un fichier de format (.swn) fourni avec le code source téléchargé de SWAN.

Ces commandes seront exécutées dans l’ordre ci-dessus.

### **1.3.1- Commandes de mise en train :**

#### **a- La commande (Titre du projet) PROJect:**

Une commande par laquelle on commence le texte de commande et qui contienne : le Nom du projet, la zone et le problème à calculer



**b- La commande SET (paramètres généraux) :**

Une commande qui nous permet d'intégrer les valeurs de certains paramètres généraux nécessaires dans les calculs dans l'ordre suivant :

**SET [level] [nor] [depmin] [maxmes] [maxerr] [grav] [rho] [inrhog] [hsrerr]**

- 1- **[level]** : Niveau de la mer
- 2- **[nor]** : Direction du nord géographique par rapport à la grille (mesurée contre rotation de ma montre)
- 3- **[depmin]** : profondeur de seuil (en m)
- 4- **[maxmes]** : Nombre maximum des messages d'erreur
- 5- **[maxerr]** : Les types de notification d'erreur acceptable :
  - 1 : pour : 'warnings', notification d'un risque d'avoir une erreur .
  - 2 : pour : 'errors' : probablement réparable par SWAN.
  - 3 : pour : 'severe errors' : accepter de grave erreurs.
- 6- **[grav]** : La gravité : par défaut :[grav] = 9.81.
- 7- **[rho]** : la densité de l'eau de mer  $\rho$  (in kg/m<sup>3</sup>).Default: [rho] = 1025.
- 8- **[ inrhog ] = 0** :rendement basé sur le désaccord, **[ inrhog ] = 1** :rendement basé sur l'énergie vraie. Défaut :[ inrhog ] = 0.
- 9- **[ hsrerr ]** :la différence relative entre l'amplitude d'onde significative imposer par l'utilisateur et l'amplitude d'onde significative calculée par SWAN  
Défaut : [ hsrerr ] = 0.10
- 10- employé au lieu de la convention cartésienne de défaut.
- 11- **Cartésien** : c.-à-d. le direction, mesurer est dans le sens contraire des aiguilles d'une montre (en degré)

12- **Nautical:** (c'est la plus utiliser), c.-à-d. la direction d'où le vent ou les vagues, est mesurée dans le sens des aiguilles d'une montre à partir du nord géographique

**c- La commande "MODE"** (stationnaire ou non stationnaire):

(stationary ou non-stationary)/(1D-mode ou 2D-mode) :

Avec cette commande facultative l'utilisateur indique que la modélisation sera en mode stationnaire ou non stationnaire et unidimensionnelle (1D-mode) ou bidimensionnelle (2D-mode). On a choisi le mode stationnaire : pour cela on doit écrire :

```
MOD STATIONary
```

**d- La Commande "COORDINATES"** : Cette commande nous permet de choisir le type de coordonnées **cartésiennes** ou sphérique selon les données d'entrer,

**On a choisis les coordonnées cartésiennes** (tous les endroits et distances sont dans des coordonnées métriques en m).

```
COORD CARTesian
```

### 1.3.2- Les commandes de la grille des calculs :

**a- La commande "CGRID"** (les dimensions de la grille de calcul) :

à partir de cette commande On définit les dimensions de la grille informatique

On a défini une grille informatique régulière selon des dimensions identiques à ceux de la grille des données bathymétriques. Selon l'équation suivante

```
| [CGRID REGular [xpc] [ypc] [alpc] [xlenc] [ylenc] [mxc] [myc  
& | SECTOR [dir1] [dir2]
```

[mdc] [flow] [fhigh] [msc]

Avec :

- **REGular** : si la grille de calcul est rétiaire
- **[xpc] [ypc]** : (x min Y min) point géographique d'origine de la grille informatique.
- **[alpc]** : [alpc]=0 : Orientation de l'axe positif.
- **[xlenc] [ylenc]**: longueur et largeur de la grille informatique suivant x et y (en m).
- (Si les coordonnées sont sphérique [ xlenc ] est en degrés).
- **[mxc] [myc]** : nombre de mailles dans la grille informatique selon la direction des x [mxc] et des y [myc].
- **CIRcle**: cette option indique que les directions spectrales couvrent le plein cercle.
- **SECTor** [dir1] [dir2]: cette option signifie que les directions spectrales de vague sont dans un secteur directionnel limité, la gamme de ce secteur est indiquée par [ dir1 ] et [ dir2 ] en degré.
- **[mdc]**: Dans le cas du CERCLE, c'est le nombre de subdivisions des 360 degrés d'un cercle, ainsi  $\Delta\theta = [ 360o ]/[ MDC ]$ . Dans le cas du SECTEUR  $\Delta\theta = ([dir2 ] - [ dir1 ])/[ MDC ]$
- **[flow] [fhigh]**: [ flow ] la plus basse fréquence qui est employée dans le calcul (en hertz).
- [ fhigh ] la fréquence la plus élevée qui est employée dans le calcul (en hertz).
- **[msc]**:  $\Delta f/f = 0.1$  [msc] =  $\log([fhigh] / [flow] )/ \log(1 + \Delta f/f)$
- Pour [flow] = 0.033 et [fhigh]= 0.33 on trouve : [mdc] = 24

### 1.3.3- Commandes des données d'entrer (Grid input) :

#### a- La commande "INPGRID" :

Avec cette commande on définit le type de chaque grille d'entrer (fond, niveau d'eau, courant et des grilles de frottement), (régulière ou curvilinéaire), ainsi que leurs dimensions, selon l'équation suivante. (Voire L'exemple **figure X**)

```

      BOTtom  ||
      |      |
      | WLEVel |
      |      |
      || CURrent | >|VX | |VY| |
      |      |
INPgrid (<          >) REGular [xpinp] [ypinp] [alpinp] [mxinp] [myinp]
[dxinp] [dyinp] EXcval |      |
      || Wind | > |WX | |WY

```

**Avec :**

- **EXCVAL [excval]** : représente les valeurs correspondant au point sec de la grille (la terre), ces points peuvent être ignorés pendant les calculs (pour l'économie du temps et de mémoire)
- **[dxinp] [dyinp]** : la taille de la maille suivant x et y.

**b. La commande 'READINP' : (lecteur des champs d'entrée) :**

Avec cette commande on indique les fichiers (.txt) des données d'entrer correspondant à la bathymétrie, au courant, au vent et à la grille du niveau de la mer... Ces fichier doit se trouver dans le même dossier d'exécution avec les composante d'exécution de SWAN et dans la partition du système d'exploration (C:/ ...).

```

      | WLEVel |
      | CURrent |
      READInp < | WInd | > [fac] | 'fname1'|
      | BOTtom |

```

**Avec :**

- BOTtom : pour la grille de la bathymétrie
- WLEVel : pour la grille du niveau de la mer

- CURrent : pour la grille du courant (représenter par la vitesse du courant suivant X puis suivant Y dans un seul fichier texte.)
  - Wind : pour la grille du vent (representer par un champ de vitesse du vent suivant X puis suivant Y dans un seul fichier textes.
  - [fac] : le facteur d’unité un nombre auquel on multiplie toutes les valeurs de la grille
  - ‘frame’ les nom du fichier contenant les donnée variable de la grille d’entrer en format .txt (trier dans un ordre croissant selon X longitude, et puis selon un ordre décroissant suivant Y latitude)
- c. **La commande WIND :** par cette commande on définit la vitesse et la direction d’un vent local.

```
WIND [vel] [dir]
```

Avec :

**[vel] : la vitesse du vent**

**[dir] : la direction du vent**

**1.3.4- Commandes des conditions de frontières :**

a. **La commande ‘Bound SHAPespec ‘ :**

Par cette commande on peut définir la forme des spectres de la frontière de la grille informatique.

On choisit l’un de ces trois modèles spectrale : le spectre de jonswap ou le spectre de Pierson-Moskowitz ou le spectre de forme fréquentielle de Gauss (spectre Gaussien).

Avec :

```

BOUNd SHAPespec      | -> JONswap [gamma]
                      |
                      |      PM      |
                      |      GAUSs   |
                      |
```

- **[gamma]** : paramètre maximal de perfectionnement du spectre de JONSWAP.

Défaut : [ gamma ] = 3.3.

b. **La commande BOUNDspec :**

Cette commande définit les paramètres de spectres à la frontière de la grille. Il se compose de deux parties, la première partie définit la frontière ou un segment de frontière pour lequel les paramètres du spectre seront donnés. La deuxième partie définit les paramètres spectraux de ces spectres. Selon l'équation suivante

	North
	NW
	West
	SW
<b>BOUNDspec-&gt; SIDE</b>	< South >   <b>CLOCKwise</b>   <b>CONstant</b>    <b>PAR</b> [hs] [per] [dir] [dd]
	SE
	East
	NE

**Avec :**

- **[hs]:** l'amplitude d'onde significative (en m)
- **[per]:** la période caractéristique du spectre d'énergie (fréquence relative, ce qui est égale à la fréquence absolue en l'absence de courant);  
[per] est la valeur de la période moyenne, si l'option choisie est MEAN
- **[dir]:** la direction de l'onde de crête (en degrés).
- **[dd]:** Il est interprété comme l'écart-type directionnelle en degrés, si les degrés ont été choisie dans les commande.  
Par défaut: [dd] = 30.

**1-3-5- Commandes des conditions physiques :**

a. **La Commande des frottements sur le fond (FRICTION)**

Avec cette commande optionnelle, l'utilisateur peut activer les frottements sur le fond. Si cette commande n'est pas utilisé, SWAN ne sera pas tenir compte de ces frottements lors des calcule.

**FRICITION** | -> **JONswap** | -> [cfjon]

Avec :

- [cfjon]: coefficient de JONSWAP.
- [cfjon] =  $0.038 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-3}$  pour des conditions de houle. [cfjon] =  $0.067 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-3}$  pour des conditions de vent. (**Hasselmann et al.,1973**)

#### **b. Set-up :**

Par l'activation de Cette commande optionnel, la vague induite set-up est calculée et comptabilisée dans les calculs d'ondes.

**SETUP**

#### **c. DIFFRACtion :**

On activant cette commande, la diffraction sera incluse dans les calculs de l'onde.

**DIFFRACtion** [idiffr] [smpar] [smnum] [cgmod]

Avec :

- [**idiffr**] indique l'utilisation de la diffraction. Si [idiffr] = 1 alors la diffraction est pris en compte. Par défaut: [idiffr] = 1.
- [**smpar**] paramètre de lissage pour le calcul de  $\nabla \cdot \sqrt{E_{tot}}$ . Par défaut: [smpar] = 0.
- [**smnum**] : certain nombre de mesures de lissage. Par défaut: [smnum] = 0.
- [**cgmod**] : si [cgmod] = 1 l'adaptation des vitesses de propagation dans l'espace géographique dû à la diffraction est activer. Si [cgmod] = 0, aucune adaptation.

#### **1-3-6- Les commandes des données de sortie (OUTPUT) :**

Un ensemble de commandes d'emplacements des fichier de sortie auquel on est besoin, chaque ensemble est indiqué par un «nom» qui doit être unique et non plus de 8 caractères.

- a- **La commande ‘FRame’** : Avec cette commande on a défini les sorties sur une grille rectangulaire uniforme dans un cadre régulier.

```
FRame 'sname' [xpfr] [ypfr] [alpfr] [xlenfr] [ylenfr] [mxfr] [myfr]
```

**Avec :**

'sname' : nom du cadre défini par cette commande.

[xpfr] [ypfr] : (x min Y min) point géographique d'origine de la grille de sortie.

[alpfr] = 0 : Orientation de l'axe positif.

[xlenfr] [ylenfr] : longueur et largeur de la grille de sortie suivant x [xlenfr] et suivant y [ylenfr].

[mxfr] [myfr] : nombre de mailles de la grille de sortie dans la direction de x [mxfr] et y [myfr].

Au niveau de cette commande on a gardé les mêmes caractéristiques de la grille informatique de calcul.

- b- **La commande ‘Table’** :

Avec cette commande on indique l'emplacement du fichier sortie (tableau des résultats), avec un nom, et on choisit tous les résultats nécessaires dans notre étude que SWAN a doit calculer.

```
TABLE 'sname' HEADER 'fname' &< XP YP DEPTH HS PER WLEN DIR
      UBOT URMS VEL FORCE TRANSP FRCOEF .... >
```

Avec:

- **'sname'** : nom de la grille de sortie préparé dans la commande Frame.
- **HEADER** : avec cette option, on indique que la sortie doit être écrite dans un fichier avec des lignes d'en-tête. Le texte de l'en-tête indique l'identification d'exécution, le temps, le nom de cadre, les variables et les unités. Le nombre de lignes d'en-tête est de 8.
- **Fname** : nom du fichier de sortie.

### 1-3-7- La commande d'exécution et de calcul :

- a. **La commande ‘COMPuté’**:

Cette commande permet à Swan de commencer les calculs.

**STOP :**

```
COMPuté STATIONary
```

Cette commande marque la fin des commandes dans le fichier de commande ; toute information dans le dossier d'entrée au-delà de cette commande est ignorée.

**STOP**

```

ans_juil_oustaigw - Notepad
File Edit Format View Help
PROJECT 'MODELISATION' '111'
'OUEST'
$
SET -0.12 0 0.05 200 1 9.81 1027 NAUTICAL
$
MODE STAT
$
COORDINATES CARTesian
$
CGRID REGular -199682.9036 3910796.003 0 454040.0936 168648.548 182 169 CIRCle 36 0.033 0.33 24
$
INPgrid BOTtom REGular -199682.9036 3910796.003 0 182 169 2494.725789011 997.92040236686 EXCVAL -999.000
$
INPgrid WLEVeI REGular -199682.9036 3910796.003 0 182 169 2494.725789011 997.92040236686 EXCVAL -999.000
$
INPgrid VX REGular -199682.9036 3910796.003 0 182 169 2494.725789011 997.92040236686 EXCVAL -999.000
$
INPgrid VY REGular -199682.9036 3910796.003 0 182 169 2494.725789011 997.92040236686 EXCVAL -999.000
$
INPgrid WX REGular -199682.9036 3910796.003 0 303 208 1498.4821570957 1499.4944423077
$
INPgrid WY REGular -199682.9036 3910796.003 0 303 208 1498.4821570957 1499.4944423077
$
READinp BOTtom 1.0 'BTMALGOUEST.txt'
$
READinp WLEV 1.0 'gridsealevelouest1_7_04.txt'
$
READinp CURrent 1.0 '3CrUV_ALGOUEST_1_7_04.txt'
$
READinp WIND 1.0 'GRIDWINDOUEST.txt'
$
WIND 4 22
$
BOUND SHAPespec JONswap 3.3 PEAK DSPR DEGRees
$
$BOUNdspec-> SIDE < South > | CLOCKwise | CONSTANT | | PAR [hs] [per] [dir]
$
BOUN SIDE W CLOCKwise CON PAR 1.5 2.8 22 30
$
SETUP
$
DIFFRACTION 1 0 0 1
$-----OUTPUT-----
$
FRame 'RBEJ2' -199682.9036 3910796.003 0 454040.0936 168648.548 182 169
$
TABLE 'RBEJ2' HEADER '3final300515' xp yp Depth hs Per WLEN dir ubot URMS VEL tdir DSPR DISSIP QB force TRANSP HSWELL
$
COMPUte
$
STOP

```

**Figure 9 : Texte des commandes et des paramètres (.swn)**

### 3- Mise en application de SWAN :

Après avoir préparé les grilles d'entrée et les fichiers de commande (.SWN), pour chaque zone et pour chaque conditions modélisée.

- 1- On exécute Swan.
- 2- On utilise la commande CD pour ouvrir le dossier contenant les différents grilles d'entrée, le fichier des commande (.swn), ainsi que SWANRUN. ) Ce dossier doit être placé dans la partition C:/ avec le système dans le disque-dure).
- 3- On exécute "swanrun" suivi par le fichier de commandes.
- 4- Le calcul commence, et le fichier des résultats sera créé avec le nom indiquée dans le texte de commande dans le même dossier d'exécution.

## Algorithme des commandes SWAN

PROJect 'name' 'nr'  
'title1'

SET [level] [nor] [depmin] [maxmes] [maxerr] [grav] [rho] &

| **NAUTical** |  
 [inrhog] [hsrerr] < > [pwtail] [froudmax] [printf] [prtest]  
 | -> CARTesian |

MODE < > < >  
 | -> STATIONary | | -> TWODimensional |  
 | NONSTationary | | ONEDimensional |

Les titre et les noms des fichiers doit être écrits entre guillemet

COORDINATES < >  
 | -> **CARTesian** |  
 | SPHERical | < > | -> CCM | > REPeating  
 | QC |

CGRID < > &  
 | -> REGular [xpc] [ypc] [alpc] [xlenc] [ylenc] [mxc] [myc] |  
 | CURVilinear [mxc] [myc] (EXCeption [xexc] [yexc]) |  
 < > | -> CIRcle |  
 > [mdc] [flow] [fhigh] [msc]  
 | SECTor [dir1] [dir2] |

```

| BOTtom |
| WLEVel |
| CURrent |
| < |
| VX |
| VY |
INPgrid (< | >) &
| Friction |
| Wind |
| < |
| WX |
| WY |

```

```

| -> REGular [xpinp] [ypinp] [alpinp] [mxinp] [myinp] [dxinp] [dyinp] |
< | > &(EXCEPTION [excval])
| CURVilinear [stagrx] [stagry] [mxinp] [myinp] |

```

```

& | -> Sec |
(NONSTATIONary [tbeginp] [deltinp] < MIn > [tendinp])
| HR |
| DAy |

```

```

| BOTtom |
| WLEVel |
| CURrent |
READinp < WInd > [fac] < | 'fname1' | > [idla] &
| | | SERles 'fname2' |
| FRiction |

```

```

| -> FREe |
| | |
| | | < 'form' | |
| | | < FORmat < | [idfm] | > | >
| | | |
| UNFormatted |

```

**WIND [vel] [dir]**

BOUND SHAPespec < PM > < -> **PEAK** |  
| -> **JON**swap [gamma] | < MEAN |  
| GAUSs [sigfr] |  
| BIN |

DSPR < > | -> POWER |  
| **DEGR**ees |

BOUNDspec -> **SIDE** < South > < - > CCW |  
| North |  
| NW |  
| West |  
| SW ||  
| SE | | **CLOCKW**ise |  
| East |  
| NE ||

&

CONstant < | **PAR** [hs] [per] [dir] [dd] | >  
| FILE 'fname' [seq] |

GEN3 < --> **KOM**en [cds2] [stpm] > (**AGROW** [a])  
| JANSsen [cds1] [delta] |  
| WESTHuysen |

```

FRICtION      | -> JONswap [cfjon]
              |
              < COLLins [cfw]
              |
              MADsen [kn]

```

**SETUP**

**DIFFRACTION** [idiffr] [smpar] [smnum] [cgmod]

-----OUT-----

**Output locations**

FRAME 'sname' [xpfr] [ypfr] [alpfr] [xlenfr] [ylenfr] [mxfr] [myfr])

.....

. NGRid 'sname' [xpn] [ypn] [alpn] [xlenn] [ylenn] [mxn] [myn]

.

OUTPut OPTions 'comment' (TABLE [field]) (BLOck [ndec] [len]) (SPEC [ndec])

```

              | -> HEADer |
              ||
TABLE 'sname' < NOHEADer > 'fname' &
              ||
              | INDExed |

| ... | |                               -> Sec |
<<>>   (OUTput [tbegtbl] [delttbl] < MIn >)
              | ... | | HR |
              | DAy |

```

BLOCK 'sname' HEADER | NOHEADER 'fname' (LAY-OUT [idla]) &  
< DSPR|HSIGN|DIR|PDIR|TDIR|TM01|RTM01|RTP|TM02|FSPR|DEPTH|VEL| &  
FRCOEFF|WIND|DISSIP|QB|TRANSP|FORCE|UBOT|URMS|WLEN|STEEPNESS| &

DHSIGN|DRTM01|LEAK|XP|YP|DIST|SETUP|TMM10|RTMM10|TMBOT| &  
WATLEV|BOTLEV|TPS > ([unit]) &  
(OUTPUT [tbegblk] [deltblk] SEC|MIN|HR|DAY)

TABLE 'sname' HEADER | NOHEADER | INDEXED 'fname' &  
< DSPR|HSIGN|DIR|PDIR|TDIR|TM01|RTM01|RTP|TM02|FSPR|DEPTH|VEL| &  
FRCOEFF|WIND|DISSIP|QB|TRANSP|FORCE|UBOT|URMS|WLEN|STEEPNESS| &  
DHSIGN|DRTM01|LEAK|XP|YP|DIST|SETUP|TMM10|RTMM10|TMBOT| &  
WATLEV|BOTLEV|TPS > ([unit]) &  
(OUTPUT [tbegtbl] [delttbl] SEC|MIN|HR|DAY)

Stop

## Commandes de mise en train :

**Titre du projet** du problème à calculer

**SET** : place des valeurs de certains paramètres généraux

**MODE**: requests a stationary / non-stationary or 1D-mode / 2D-mode of SWAN

**COORD** à choisir entre les coordonnées cartésiennes et sphériques

### Commandes pour la description modèle

#### - Commandes pour la grille informatique :

**CGRID** définit la dimension de la grille informatique

**READGRID** lit une grille informatique curviligne

#### - Commandes pour des champs d'entrée :

**INPGRID** définit la dimension du fond, du niveau d'eau, du courant et des grilles de frottement

**READINP** lit des champs d'entrée

**WIND** cette commande nous permet d'activer l'option constante de vent et de préciser la vitesse et la direction du vent

#### - Commandes pour la frontière et les conditions initiales :

**BOUND** définit la forme des spectres à la frontière de la grille géographique

**BOUNDSPEC** définit des spectres (paramétriques) à la frontière de la grille géographique

**BOUNDNEST1** définit des états de frontière obtenus à partir de la course (brute) de CYGNE

**BOUNDNEST2** définit des états de frontière obtenus à partir de la course de WAM

**BOUNDNEST3** définit des états de frontière obtenus à partir de WAVEWATCH III couru

**INITIALE** indique un premier champ de vague

- **Commandes pour la physique :**

**GEN1** en mode de 1ere génération

**GEN2** en mode de deuxième génération

**GEN3** en mode de troisième génération

**WCAPPING** active la méthode cumulative de steepness pour whitecapping

**QUAD** commande le calcul des quadruplets

**BREAKING** active la dissipation par la rupture profondeur-induite de vague

**FRICTION** Le **FROTTEMENT** active la dissipation par le frottement inférieur

**TRIADE** active trois ondul-ondulent des interactions

**LIMITER** Quadruplets De-actives si un certain nombre d'Ursell excède

**OBSTACLE** définit des caractéristiques des obstacles de secondaire-grille

**SETUP** active le calcul de l'installation ondul-nduite

**DIFFRAC** active la diffraction

**OFF** met certains processus physiques

- **Commandes pour des numériques :**

**APPUI VERTICAL** pour choisir l'arrangement numérique de propagation **NUMERIC** place certaines des propriétés numériques du **SWAN**

Commandes de rendement

- **Commandes pour des endroits de rendement :**

**FRAME** définit une armature de rendement (une grille régulière)

**GROUP** définit un groupe de rendement (pour des grilles régulières et curvilignes)

**CURVE** définit une courbe de rendement

**RAY** définit un ensemble de lignes de sortie droites (rayons)

**ISOLINE** définit une découpe de profondeur ou inférieure (pour le rendement le long de cette découpe)

**POINTS** définit un ensemble de différents points de rendement

**NGRID** définit une grille nichée

Description des commandes 23

- **Commandes d'écrire ou tracer des quantités de rendement :**

**QUANTITY** définit des propriétés des quantités de rendement

**OUTPUT** le format d'influence du bloc, de la table et/ou du rendement spectral

**BLOCK** invite un bloc pour produire (distribution géographique)

**TABLE** invite une table pour produire (placer des endroits)

**SPECOUT** demande un résultat spectral

**NESTOUT** demande un résultat spectral pour des calculs nichés suivants

- **Commandes d'écrire ou tracer des résultats intermédiaires :**

**TEST** demande un résultat des résultats intermédiaires pour examiner des buts

- **Commandes au blocage le dossier d'entrée :**

**COMPUTE** commence un calcul

**HOTFILE** stocke des résultats pour la course suivante de **SWAN**

**STOP ARRÊTER** l'extrémité de l'entrée de l'utilisateur

## Autres résultats:

### Condition 7 :

Une modélisation hydrodynamique avec intégration de la grille des courants généraux observés le 1-10-2014 avec une grille d'élévation maximum du niveau de la mer et dans les conditions annuelles du vent moyennes et maximales.

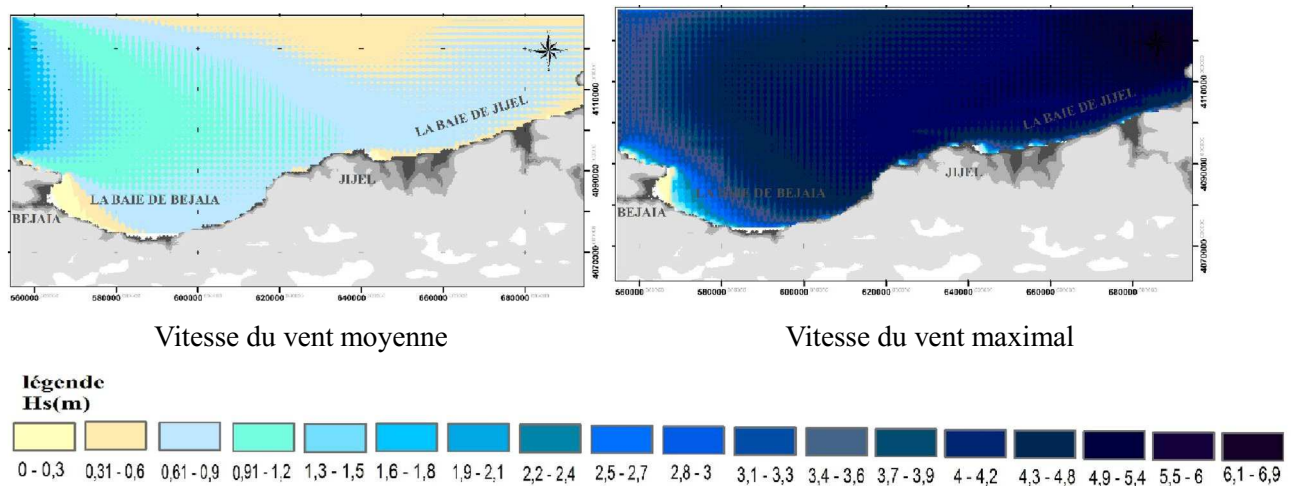


Figure I : Cartes des hauteurs significatives de la houle au niveau de la baie de Bejaia et la baie de Jijel Résultats de la modélisation numérique par le modèle SWAN selon des conditions du vent annuelles moyennes et maximales, avec intégration de la grille du niveau de la mer maximal et la grille courant général de secteur Est.

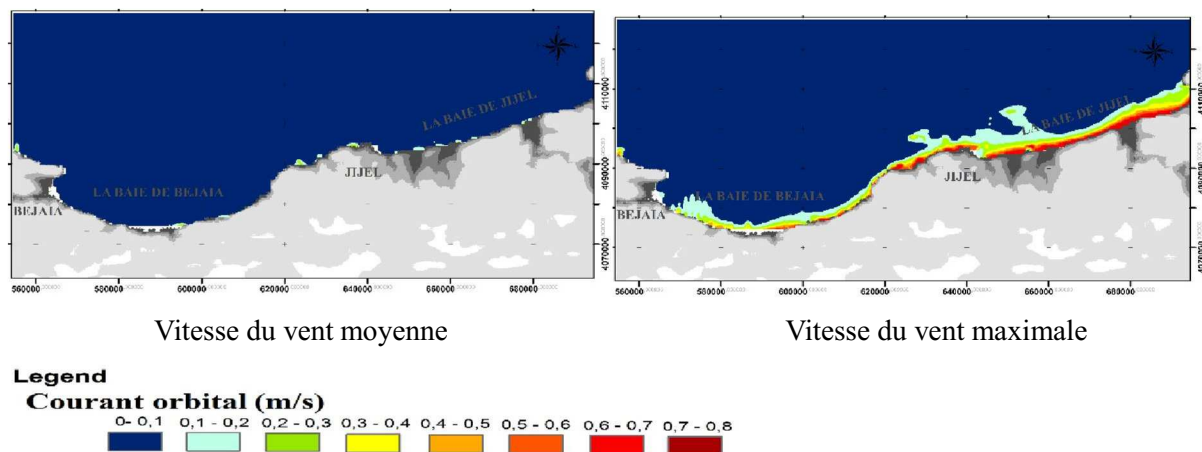


Figure II : Cartes du courant orbital généré près du fond au niveau de la baie de Bejaia et la baie de Jijel Résultats de la modélisation numérique par le modèle SWAN selon des conditions du vent annuelle moyennes et maximales, avec intégration de la grille du niveau de la mer maximal et la grille courant général de secteur Est.

- **Transport d'énergie ( $m^3/s$ ) au niveau de la baie de bejaia :**

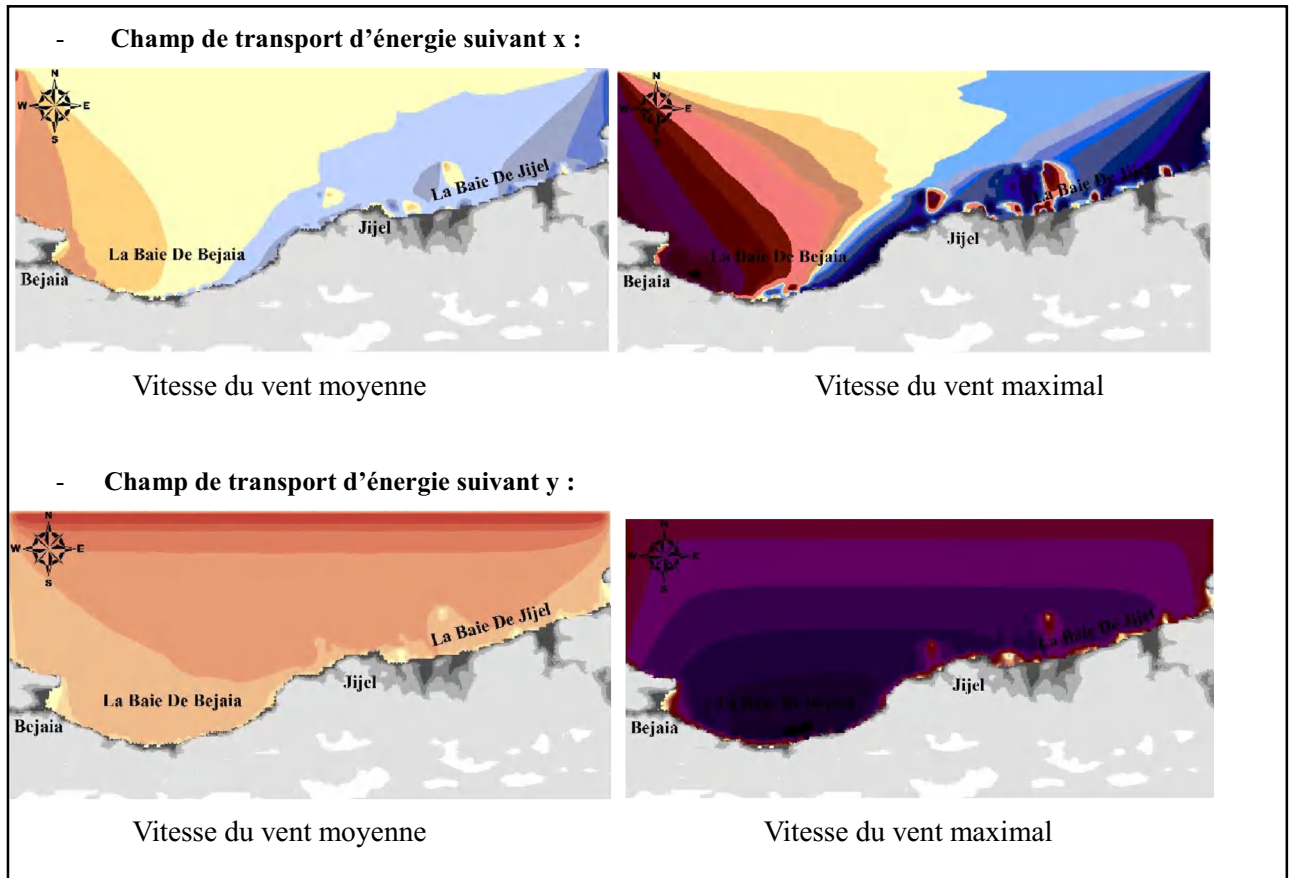
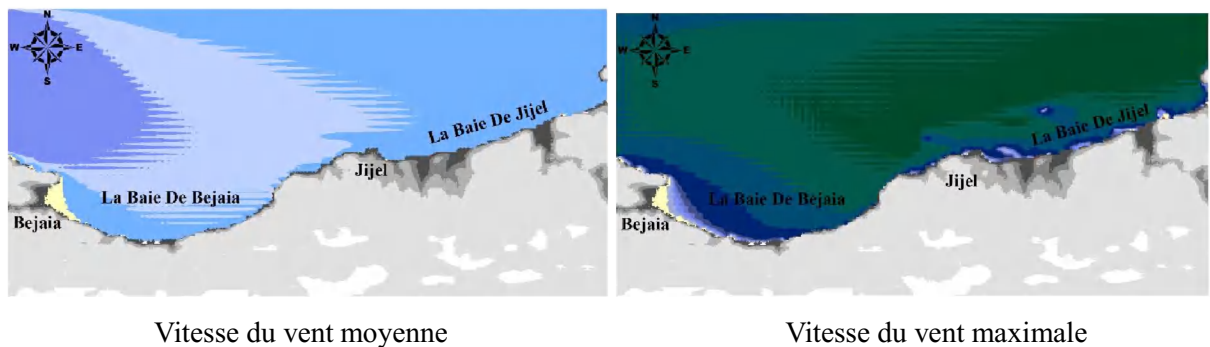


Figure III : Cartes des Champs de transport d'énergie suivant x et y en ( $m^3/s$ ) au niveau de la baie de Bejaia et la baie de Jijel Résultats de la modélisation numérique par le modèle SWAN selon des conditions du vent annuelles moyennes et maximales, avec un niveau de la mer absolu de 45cm

- **Transport d'énergie :**

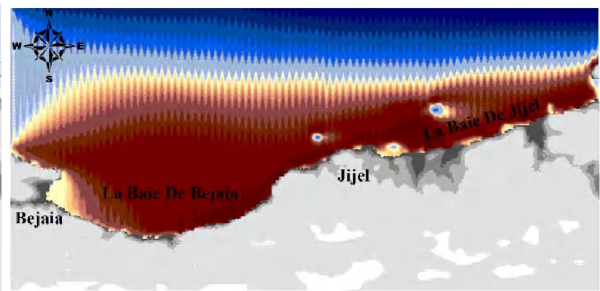
- **Champ de transport d'énergie suivant X :**



- **Champ de transport d'énergie suivant y :**



Vitesse du vent moyenne

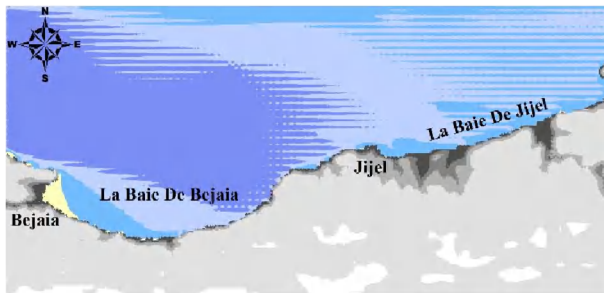


Vitesse du vent maximale

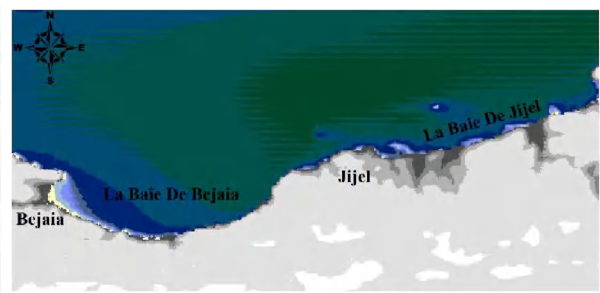
Figure IV : Cartes des Champs de transport d'énergie suivant x et y en ( $m^3/s$ ) au niveau de la baie de Bejaia et la baie de Jijel Résultats de la modélisation numérique par le modèle SWAN selon des conditions du vent annuelles moyennes et maximales, avec intégration de la grille du niveau de la mer maximal et la grille courant général de secteur Ouest

- **Transport d'énergie ( $m^3/s$ ) :**

- **Champ de transport d'énergie suivant x :**



Vitesse du vent moyenne

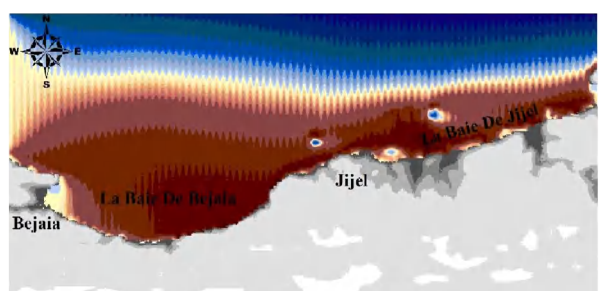


Vitesse du vent maximale

**Champ de transport d'énergie suivant y**



Vitesse du vent moyenne



Vitesse du vent maximale

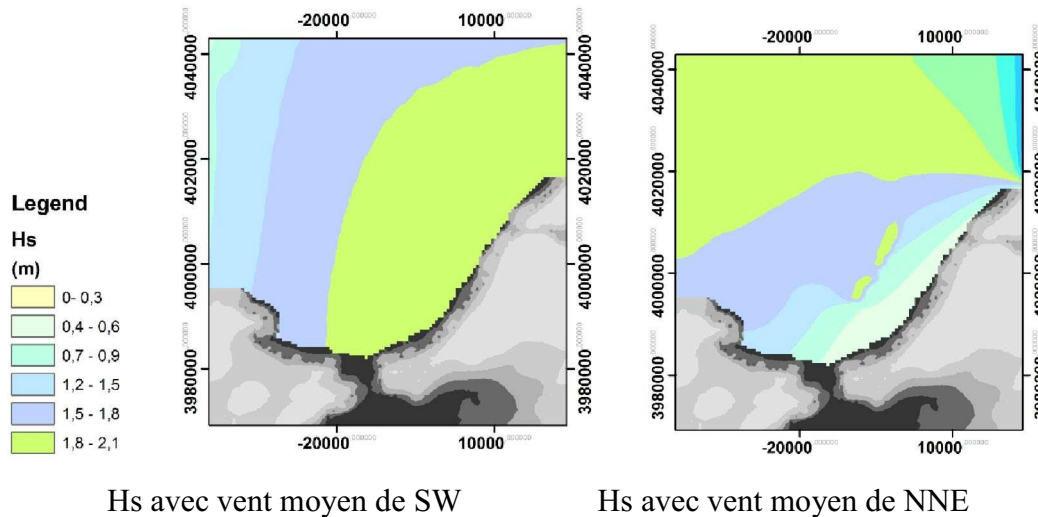
Figure V : Cartes des Champs de transport d'énergie suivant x et y en ( $m^3/s$ ) au niveau de la baie de Bejaia et la baie de Jijel Résultats de la modélisation numérique par le modèle SWAN selon des conditions du vent annuelles moyennes et maximaux, avec intégration de la grille du niveau de la mer maximal et la grille courant général de secteur Est.

## La Baie d'Arzew :

### Condition modélisées 1 :

Selon les directions du vent dominant annuelles enregistrés dans une durée de 5ans, du mois d'avril 2010 au mois d'avril 2015 et selon une vitesse du vent moyenne annuelle enregistrée dans une durée de 10 ans de 11,7m/s

#### - Les hauteurs significatives (m/s) :



Figures VI : Cartes des hauteurs significatives de la houle au niveau de la baie d'Arzew. Résultats de la modélisation numérique par le modèle SWAN selon des conditions du vent annuelles moyennes

A partir des résultats des hauteurs significatives moyennes dominantes enregistrées au niveau de la baie d'Arzew on a tiré les remarques suivantes.

- Avec des vents du sud-ouest la houle atteint la cote avec des amplitudes importante qui dépasse les 0,9 m
- **Transport d'énergie (m<sup>3</sup>/s) :**

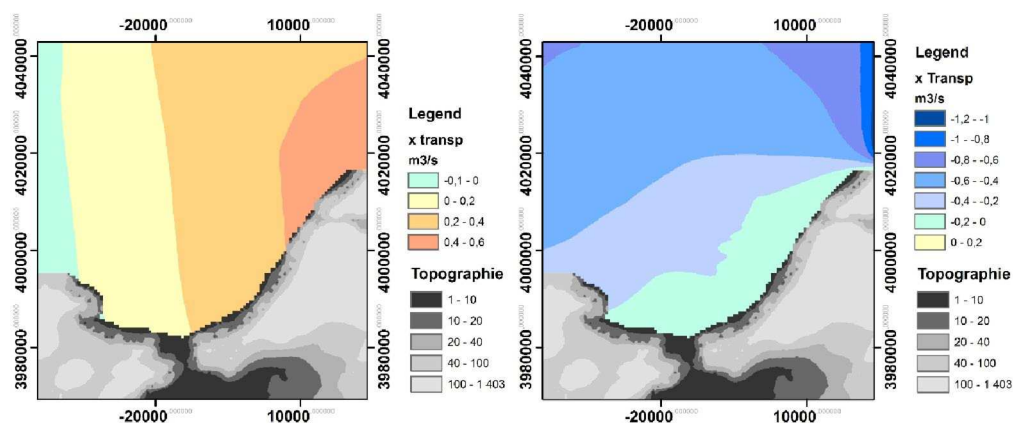
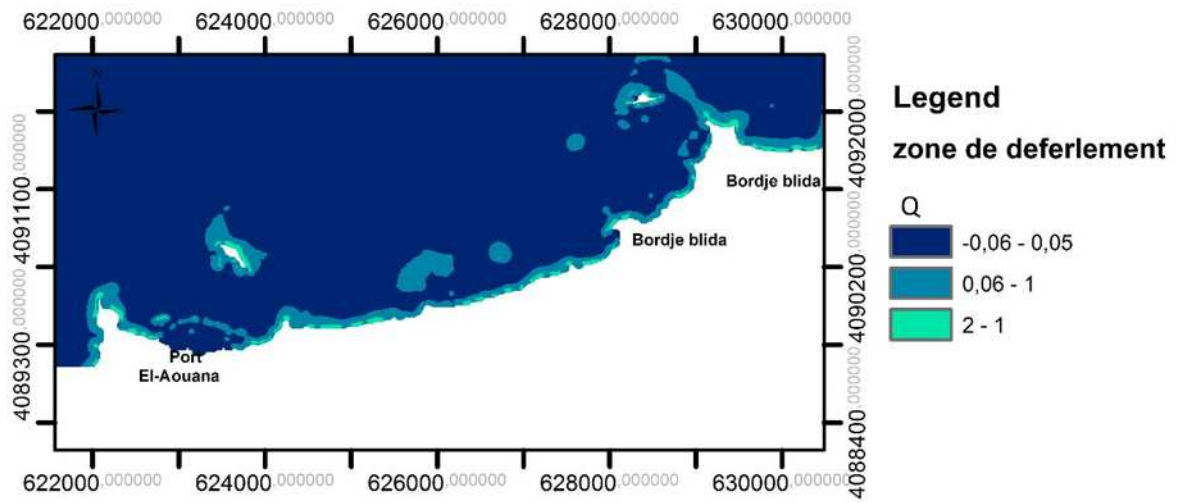


Figure VII: Cartes des champs de transport d'énergie suivant X et suivant Y de la baie d'Arzew. Résultats de la modélisation numérique par le modèle SWAN selon des conditions du vent annuelles moyennes

Autres résultats fournis par SWAN (El-Aouanna)



Carte des zones de déferlement des vagues au niveau de la baie d'El Aouana selon le coefficient de déferlement  $Q$