

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل
Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement
du Littoral



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme
d'Ingénieur en Sciences de la Mer

Option : Aménagement

Thème :

**Combinaison des modèles numériques et des images satellites
pour la détermination des courants côtiers.**

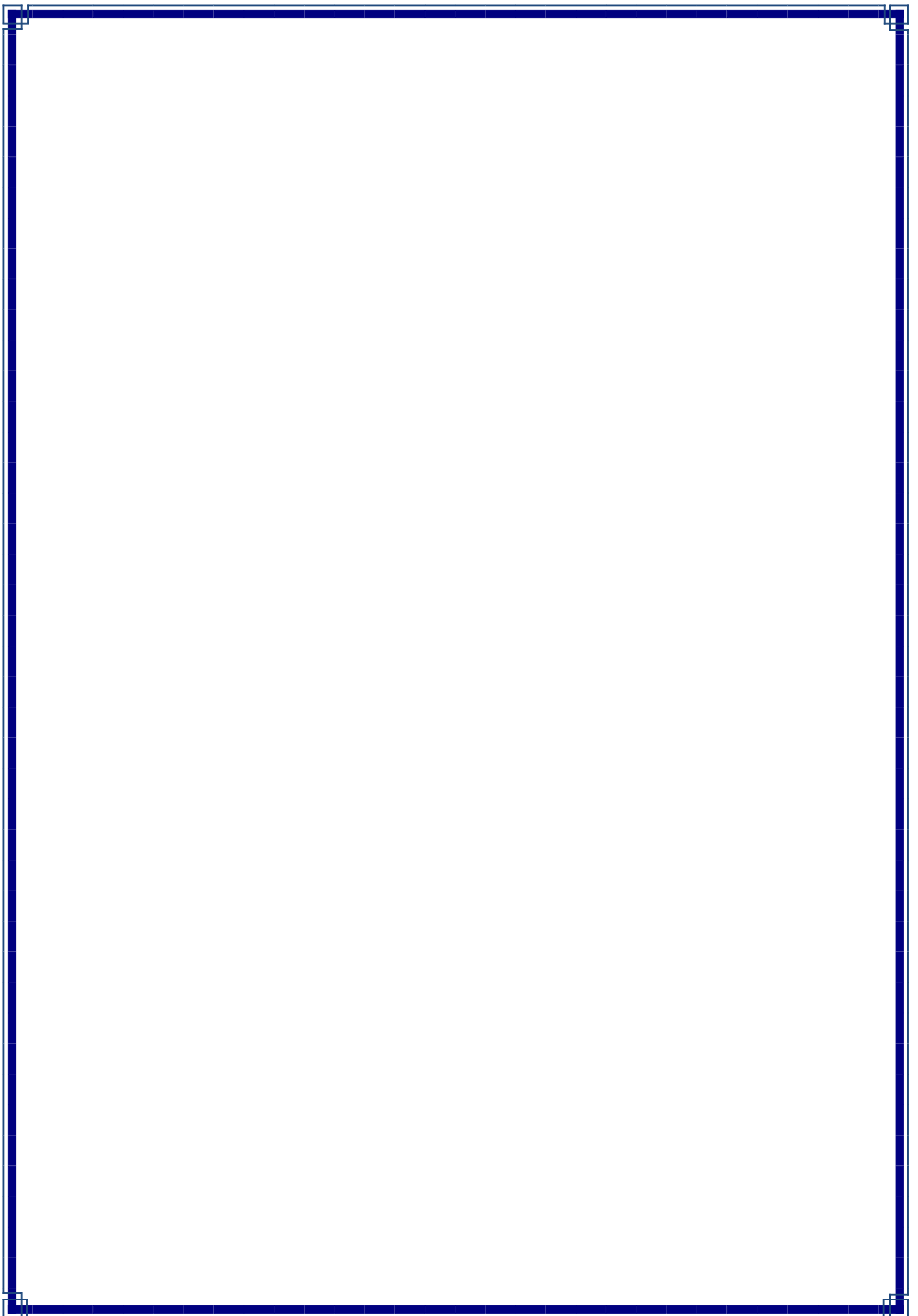
Présenté par :

- *NOURI Manel.*
- *YAHIA MEDDAH Rabia.*

Soutenu le 13/07/2017 devant le jury composé de :

Mr <i>KADA.M</i>	Maître assistant A	ENSSMAL	Président
Mr <i>OTMANI.H</i>	Maître assistant B	ENSSMAL	Examineur
Dr <i>BACHOUCHE.S</i>	Chercheur	CNRDPA	Examineur
Pr <i>BACHARI.N.E.I</i>	Professeur	USTHB	Promoteur
Mr <i>AMAROUCHE.K</i>	Doctorant	ENSSMAL	Co-promoteur

Année universitaire : 2016-2017



République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل
Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement
du Littoral



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme
d'Ingénieur en Sciences de la Mer

Option : Aménagement

Thème :

Combinaison des modèles numériques et des images satellites
pour la détermination des courants côtiers.

Présenté par :

- ***NOURI Manel.***
- ***YAHIA MEDDAH Rabia.***

Soutenu le 13/07/2017 devant le jury composé de :

Mr <i>KADA.M</i>	Maître assistant A	ENSSMAL	Président
Mr <i>OTMANI.H</i>	Maître assistant B	ENSSMAL	Examineur
Dr <i>BACHOUCHE.S</i>	Chercheur	CNRDPA	Examineur
Pr <i>BACHARI.N.E.I</i>	Professeur	USTHB	Promoteur
Mr <i>AMAROUCHE.K</i>	Doctorant	ENSSMAL	Co-promoteur

Année universitaire : 2016-2017

Remercîment

Au terme de ce travail, nous remercions Dieu le tout puissant pour nous avoir donné la santé, le courage et la volonté, pour réaliser ce modeste travail.

On voudrait commencer par les personnes qu'on a eu le grand plaisir de travailler avec pendant la période de recherche,

Notre directeur de mémoire Monsieur **BACHARI N.E.I** et notre Copromoteur Monsieur **AMAROUCH.K** avec qui on a eu également des discussions très intéressantes qui nous ont aidé à y voir plus clair. Qui nous ont tous les deux beaucoup apporté pendant ce semestre, chacun avec son point de vue différent. Ils nous ont beaucoup aidé à acquérir une plus grande rigueur dans notre démarche scientifique, Ils nous ont beaucoup encouragé et soutenue, et nous les remercions énormément pour leurs efforts.

Nous tenons à exprimer notre reconnaissance à Monsieur **KADA.M**, qui nous a fait l'honneur d'accepter de présider ce jury, et pour toutes les notions que nous avons acquies avec lui durant deux années d'enseignement.

Nos remerciements à Monsieur **OTMANI.H** pour son soutien moral et ces encouragements durant notre cursus et Monsieur **BACHOUICHE.S** d'avoir accepté de nous honorer par l'examen de ce travail.

Un grand merci à tous nos enseignants de **ENSSMAL** qui nous ont encouragé et soutenue pendant notre cursus d'ingénieur.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à ma famille : mes très chers parents, mon frère Oualid et mes sœurs, que par sa présence au quotidien, en me remontant le moral dans les moments difficiles, en me changeant les idées, en me faisant rire et rêver...

Il faut parfois peu de choses pour faire opérer la magie :).

Sans oublier mes amis sans exception, mes chers collègues de l'ENSSMAL, et tous ceux qui n'apparaissent pas dans mon travail mais dont leur soutien m'a bien aidée à tenir le coup et à aller jusqu'au bout !

NOURI manal

Dédicace

Je dédie ce travail à mes très chers Parents qui m'ont toujours soutenu; Votre prière et votre bénédiction m'ont été d'un grand secours Pour mener à bien mes études..

A mes sœurs bien aimées Fatima et sa famille et ma petite Maroua, à mes chers frères Abd ElHAK, Kamal et sa famille, Mokhtar et sa famille,.

Ames petits anges « Fares, Noor Elkoloub, Mohamed Saber et Sif Eddine ».

A tous ceux qui ont semé en moi à tout point de vue, à mes adorables amis, mes collègues de l'ENSSMAL, à mes camarades de « AquaDeTech », mes chères de «VIP Sabaya » et mes frères de cœur, toi Noor, Rachida, Houdati, nowari, Ikram, Fouz, torkish et Fayzati.

A mon binôme Manal Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce travail soit possible, je vous dis merci.

Samrah Rabia

« En plein cœur de toute difficulté se cache une possibilité. »

Albert Einstein.

Table des matières

Table des matières

LISTE DES ACRONYMES.....IX

LISTE DES TABLEAUX.....X

LISTE DES FIGURES.....XI

LISTE DES EQUATIONS.....XIV

INTRODUCTION 2

CHAPITRE I.GENERALITE

 1. Les processus hydrodynamiques marins5

1.1. La houle : 5

 1.1.1.Grandeurs physiques et caractéristiques de la houle 6

 1.1.2.L'énergie de la houle 7

 1.1.3.Mécanismes générateurs de la houle 7

 1.1.4.Mécanismes modificateurs de la houle 8

1.2.La marée 8

1.3.Les courants 8

 1.3.1.Caractéristiques des courants 9

 1.3.2.Les forces intervenant dans la génération des courants 9

 1.3.3.Les forces modificatrices des courants 10

 1.3.4.Type des courants : 10

1.4.Mouvement des sédiments dans la zone côtière (engraissement, amaigrissement) 12

 1.4.1.Transport par jet de rive..... 13

 1.4.2.Transport dans les rouleaux de déferlement 13

1.5.Les Ouvrage de protections côtières..... 14

 1.5.1.Les ouvrages de haut de plage 14

 1.5.2.Les ouvrages de basse de plage 14

1.6.La Modélisation numérique hydrodynamique 16

 1.6.1.Principes de modélisation 17

 1.6.2.Les équations de base de la modélisation des courants et des vagues 17

 1.6.3.Les modèles spectraux d'état de mer 17

 1.6.4.Présentation du model SWAN 17

 1.6.5.Paramètres physiques résolus par Swan 18

 1.6.6.Prévision des caractéristiques physique des houles (Hs, Ts) 18

1.7.La Télédétection	19
1.7.1.Les Images satellitaire :	20
1.7.2.Le capteur du satellite Terra ASTER :	20
1.7.3.Le panache turbide :	21
CHAPITRE II.CHOIX DE LA ZONE D'ETUDE	
1.Choix de la zone d'étude	23
2.Situation géographique de la zone d'étude	23
1.1.Limites Administratives De La Commune de Gouraya	23
2.1.Délimitation géographique	23
3.Etat physique du site	24
4.Cadre géomorphologique et sédimentologie	25
5.Morphologie Sous-marine	26
6.Cadre climatologique	26
CHAPITRE III.MODELISATION NUMERIQUE DES COURANTS COTIERS PAR UN MODELE HYDRODYNAMIQUE	
1.Introduction :	28
2.Méthodologie :	28
2.1. Traitement et collecte de donnée.....	28
2.1.1. Les données météorologiques :	29
2.1.2. Donnée bathymétrique :	30
2.1.3. Compagne en mer :	31
2.2.4. Préparation de la sortie et du matériel :	31
2.2.5. Les prélèvements effectués	32
2.1.5. Traitement des données bathymétriques :	33
2.1.6. Traitement des données Sédimentaires :	34
2.1.7. Préparation des fichiers de commande du model SWAN :	35
2.1.8.Données de sortie du modèle utilisé :	35
2.2.Mesure du courant de dérive et du transite sédimentaire :	35
2.2.1. Courant de dérive littoral	35
2.2.2. Transport de sédiments	36
2.3.Présentation des résultats :	39

CHAPITRE IV. MODELISATION DES COURANTS COTIERS PAR MODELE ANALYTIQUE DES TENDANCES DE LA TAILLE DU GRAIN G.S.T.A

1.Introduction : 50

2. Modèle analytique des tendances de la taille du grain G.S.T.A :..... 50

3. Donnée d’entrée : 50

4. Etudes granulométrique :..... 50

 4.1. Principe et méthode :..... 50

 4.2. Mode opératoire : 51

 4.3.Calculs des paramètres et des indices granulométriques :..... 52

 4.4.Résultats et discussions 53

 4.4.1.Résultats de la fraction fine (pelite) : 53

 4.4.2.Résultats de la fraction grossière : 54

 4.4.3.Lediamètre moyen des sédiments 56

 4.4.4. Indice de tri So :..... 57

 4.4.5. Indice d’asymétrie ou indice de skewness (SK) : 58

5Exécution du modèle analytique des tendances de la taille du grain G.S.T.A: 59

6Résulta et discussions :..... 59

CHAPITRE V.UTILISATION DES IMAGES SATELLITAIRES POUR L’ETUDE DU COURANT COTIER

1. Introduction : 62

2. Méthodologie : 62

 2.1. Collecte et traitement des données : 62

 2.1.1. Téléchargement des images satellites : 62

 2.1.2. Affichage des images :..... 64

3. Résultats et discussion :..... 65

 3.1. Avant la mise en place du projet : 65

 3.2. Apres la construction des ouvrages :..... 66

RECOMMANDATION ET PROPOSITION.....69

CONCLUSION.....72

BIBLIOGRAPHIE.....75

ANNEXE.....79

Listes des acronymes :

AFNOR : Association française de normalisation.

APC GOURAYA : Assemblée Populaire Communale GOURAYA.

ASTER: Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer.

C.E.R.C: Coastal Engineering Research Centre des États-Unis.

E : L'énergie totale de la houle

Ec : L'énergie cinétique

Ep : L'énergie potentielle

g : accélération a la pesanteur.

G : L'accélération de la pesanteur,

GSTA: Grain Size Trend Analysis.

h : profondeur de la mer au repos.

H : La hauteur de l'onde de rupture,

L : longueur d'onde

L.C.H.F : Laboratoire Central Français de l'Hydraulique.

LCPC : Laboratoire central des ponts et chaussées.

LEM : Le Laboratoire des Etudes Maritimes.

m : la moyenne

Q : Le volume de la charge transportée en m³ pendant le temps d'action t,

SK : Indice de skewness

SMB : Méthode de Sverdrup-Munk-Bretschneider.

So : Indice de classement

SWAN: Simulating Waves Nearshore.

T : La période d'onde en secondes,

VAR : La Variance.

X: est l'ondulation de la cambrure dans les eaux profondes et est l'angle d'incidence de l'onde par rapport au littoral.

: masse volumique de l'eau de mer

Liste des tableaux :

Tableau 1 : Fiche technique du capteur ASTER.....	20
Tableau 2 : Tableau croisé des fréquences des vents de direction NNE.....	29
Tableau 3 : Tableaux des hauteurs et des périodes de vagues obtenues à partir de l'abaque numérisé de Bretshneider.....	30
Tableau 4 : exemple d'un tableau des fréquences de différents hauteurs de la houle du NNE.....	30

Liste des figures :

- Figure 1 : Classification temporelle des vagues dans l’océan, d’après Munk, 1951.....	5
- Figure 2 : Représentation des grandeurs caractéristiques des vagues.....	6
- Figure 3 : La relation entre la vitesse de phase, la vitesse de groupe et la profondeur.....	6
- Figure 4 : illustration du courant de dérive littoral (MIHOUBI.M.K, 2013 modifié)	11
- Figure 5 : illustration du courant de retour (MIHOUBI.M.K, 2013 modifié).....	12
- Figure 6 : Schéma des transports par jet de rive et par courant littoral.....	13
- Figure 7 : Abaque de Bretschneider prévision des hauteurs de vagues au large	19
- Figure 8 : Image satellitaire montrant un exemple d’un panache turbide	21
- Figure 9 : la zone d’étude.....	24
- Figure 10 : les constructions au niveau de la plage Bois sacré	24
- Figure 11 : les caractéristiques de la plage bois sacré.....	25
- Figure 12 : la Falaise de la limite Ouest de la plage	25
- Figure 13 : Carte bathymétrique de la plage du bois sacré	26
- Figure 14 : embarcation utilisé pour les prélèvements en mer.....	31
- Figure 15 : plans des stations de prélèvement.....	32
- Figure 16 : échosondeur gamin 421s et la benne utilisée pour les prélèvements.....	32
- Figure 17 : carte de positionnement des points de prélèvement dans la plage sous-marine de Bois sacré.....	33
- Figure 18 : étapes de préparation de la grille sous surfer.....	34
- Figure 19 : fichier de commande du modèle SWAN	35
- Figure 20 : les étapes suivies pour la présentation des résultats	37
- Figure 21 : carte illustrant les 12 point d’extraction utilisé pour tracer les courbes d’évolution	38
- Figure 22 : cartes des moyennes pondérées de courant de dérive à bois sacré	39
- Figure 23 : Les représentations graphiques des moyennes pondérées de courant de dérive pour chaque station.....	39
- Figure 24 : cartes des vitesses maximums du courant de derive à bois sacré.....	40
- Figure 25 : Les représentations graphiques des vitesses maximums de courant de dérive pour chaque station.....	40
- Figure 26 : cartes des moyennes pondérées de courant orbital à bois sacré.	41
- Figure 27 : Les représentations graphiques des moyennes pondérées du courant orbital pour chaque station.....	41

- Figure 28 : cartes des maximums de courant orbital à bois sacré.....	42
- Figure 29 : Les représentations graphiques des maximums de courant orbital pour chaque station	42
- Figure 30 : cartes des moyennes pondérées et des maximums de l'énergie transmise à bois sacré	43
- Figure 31 : Les représentations graphiques des moyennes pondérées et des maximums pour chaque station.....	43
- Figure 32 : cartes des moyennes pondérées et des maximums de l'énergie de la houle par unité de surface à bois sacré.....	45
- Figure 33 : les représentations graphiques des moyennes pondérées et des maximums de l'énergie de la houle pour chaque station	45
- Figure 34 : cartes des moyennes pondéré de transit sédimentaire à bois sacré.....	46
- Figure 35 : les représentations graphiques des moyennes pondérées de transit sédimentaire pour chaque station.....	46
- Figure 36 : cartes des maximums du transit sédimentaire à bois sacré bois sacré.....	47
- Figure 37 : les représentations graphiques des maximums de transit sédimentaire pour chaque station.	47
- Figure 38 : matériel utilise dans l'analyse granulométrique	51
- Figure 39 : les étapes de l'analyse granulométrique	51
- Figure 40 : Diagramme de l'analyse granulométrique.....	52
- Figure 41 : cartes de répartition de la fraction pelitique dans la plage de Bois sacré avant et après la réalisation du projet.....	53
- Figure 42 : cartes de répartition du quartile inférieur (Q25) dans la plage de Bois sacré avant et après la réalisation du projet.....	54
- Figure 43 : cartes de répartition de la médiane (Q50) dans la plage de Bois sacré avant et après la réalisation du projet.....	55
- Figure 44 : Cartes de répartition de diamètre moyen (D50) dans la plage de Bois sacré.	56
- Figure 45 : classification granulométrique selon LCPC	56
- Figure 46 : Diagramme d'Hjulstrôm.....	57
- Figure 47 : relation entre l'indice de classement et la médiane	58
- Figure 48 : Relation entre l'indice de skeweness et la médiane	58
- Figure 49 : Carte de la modélisation des courants côtiers par modèle analytique des tendances de la taille du grain G.S.T.A.	59
- Figure 50 : les étapes de téléchargement des images satellitaires ASTER.....	63
- Figure 51 : les étapes de traitement des images satellitaires Aster par composition coloré sous Arcgis10.2	64

- **Figure 52** : Image satellitaire Aster du courant de dérive dans la plage de de Bois sacré prise en deux dates différant avant la mise en place des brise-lames. 65
- **Figure 53** : Image satellitaire Aster du courant de dérive dans la plage de de Bois sacré prise en deux dates différant après la mise en place des brise-lames..... 66
- **Figure 54** : Scénario 1 69
- **Figure 55** : Scénario 2 70

Liste des équations :

Equation 1 : L'énergie totale de la houle E	7
Equation 2 : La vitesse du courant orbital maximal sur le fond U_{max}	10
Equation 3 : La vitesse du courant de dérive selon Putnam, Munk et Taylor U	11
Equation 4 : Equation de conservation de la densité spectrale de l'action de la vague.....	17
Equation 5 : Equation la prévision de la hauteur significative de la houle	19
Equation 6 : Equation la prévision du période significative de la houle	19
Equation 7 : La vitesse du courant de dérive selon Longuet-Higgins et CERC	36
Equation 8 : La vitesse du courant de dérive selon Putnam, Munk et Taylor U	36
Equation 9 : Le transite sédimentaire Q	36
Equation 10 : La moyenne pondérée m	37
Equation 11 : La variance Var	37
Equation 12 : Indice de tri So	57
Equation13 : Indice d'asymétrie SK	58

Introduction

Introduction :

Au cours des dernières décennies, l'occupation du littoral par les sociétés humaines est de plus en plus dense (DEAN, 2009). L'espace littoral algérien n'échappe pas de cette situation Il s'étale sur un linéaire côtier de plus que 1630 Km sur lequel se concentre divers activités touristique et économiques qui nécessite l'installation des infrastructures côtières, cette pression et l'origine d'un écosystème littoral très fragile ; Les activités anthropiques provoquent généralement de forte modification du comportement hydrodynamique côtier à l'échelle local et régional.

La connaissance des états de mer en zone littorale est fondamentale pour de nombreuses applications en génie maritime tel que le dimensionnement des ouvrages de protection vis-à-vis l'action des vagues, la quantification des flux de transit sédimentaire et pour l'étude de la vulnérabilité côtière...etc.

La mesure des courants marins est une tâche assez difficile (CASTELLE.B, 2004), l'installation des instruments de mesure en milieux côtiers nous permet de collecter des données ponctuelles sur une échelle temporelle, ainsi le suivie, mais ponctuel. L'étude spatiotemporel nécessite un bailliage journalier de la zone d'étude, et cela représente une tâche très couteuse et très délicate en raison de la difficulté d'installation des engins et des dommages qui peuvent subir ces derniers, ainsi ces installations demandent un financement très lourd. A ce fait pour notre étude spatiotemporelle des courants côtiers nous avons fait recours à la modélisation numérique qui permet d'obtenir des informations denses et une meilleure description des processus côtiers.

Cette étude a pour objet de répondre à deux problématiques essentielles

1. Comment peut-on quantifier et évaluer ce courant côtier en combinant entre les modèles numériques et les images satellitaires ?
2. Comment appliquer cette méthodologie dans un cadre d'un projet d'aménagement côtier.

Pour répondre à ces problématiques, nous avons d'abord commencé par la maîtrise du mode de fonctionnement du modèle numérique des vagues SWAN, qui permet de calculer de façon réaliste les paramètres décrivant la houle au niveau des zones côtières, en suite nous avons traité la donnée principal du model SWAN qui est le vent et les conditions de la houle au large, pour cela nous avons calculé les fréquences multi-variables des vents selon leur vitesse leur direction et leur persistance journalière sur une période de 21ans. Toutes les hauteurs de la houle du large que peuvent générer ces vents sont simulées et dans chaque direction probable. Nous avons donc modélisé 32 états de la houle pour déterminer la vitesse du courant orbital, le courant de dérive littoral et le transit sédimentaire.

La deuxième partie consiste à une modélisation des courants côtiers par un modèle analytique des tendances de la taille du grain, ce modèle se base sur les données

granulométriques obtenues après l'analyse de 18 échantillons collectés lors d'une sortie en mer au laboratoire.

Dans la troisième étape de ce travail nous avons orienté notre étude, de la simulation à l'observation, dans cette partie nous nous sommes basés sur des images satellitaires multi-date pour l'observation des courants côtiers par le suivi de la tendance des panaches turbides.

Ce travail est organisé en Cinq chapitres :

Le premier chapitre consiste à une description générale des différents concepts en rapport avec la présente étude. Ce chapitre présente une approche théorique et une synthèse bibliographique sur les différentes volées principales de ce mémoire, dont une définition des courants côtiers et des modèles numériques hydrodynamiques avec un aperçu sur la télédétection et l'imagerie satellitaire.

Le second chapitre : dans ce chapitre nous avons décrit les principales caractéristiques, son importance et son aspect morphologique qui nous ont amené au choix de cette zone d'étude.

Dans le troisième chapitre nous avons entamé la modélisation numérique des courants côtiers par un modèle Hydrodynamique SWAN où nous avons détaillé les méthodes d'obtention et de traitement des données d'entrées utilisées dans la modélisation, ainsi nous avons expliqué les méthodes d'analyse et de présentations des résultats obtenues avec une discussion de ces résultats

Concernant le chapitre quatre, nous avons détaillé la deuxième partie de ce travail qui est la modélisation des courants côtiers par modèle analytique des tendances de la taille du grain GSTA afin de déduire la dynamique sédimentaire régnant notre zone d'étude en passant par une analyse granulométrique pour la préparation des données d'entrées du modèle. Ce chapitre comprend ainsi une description de la méthode d'analyse granulométrique utilisé et de la méthode d'utilisation de GSTA avec la présentation et l'interprétation de ces résultats.

Le dernier chapitre porte sur l'utilisation d'une information réelle concernant la direction du courant côtier qui est l'image satellitaire, dans ce chapitre nous avons détaillé la méthodologie suivie pour l'observation des tendances du courant côtier par l'observation des panaches turbides observés par des images satellitaires.

On achève ce travail, par des perspectives et une conclusion général dans laquelle nous synthétisons l'ensemble des conclusions et remarques obtenues d'après les résultats de ce travail.

Chapitre I : Généralités

1. Les processus hydrodynamiques marins :

Le système littoral étant un ensemble complexe d'éléments en interaction a une dynamique spécifique. Cette dynamique est le résultat d'un large spectre de forçage à l'échelle géologique (tectonique et eustatique) et à l'échelle temporaire, en parlant des forces hydrodynamiques.

Il existe plusieurs forces naturelles qui se traduisent dans le milieu marin sous forme de déplacement de masse d'eau comme les courants ou sous forme de déplacement ondulatoire, le cas de la houle.

1.1. 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. (BONFILLE, 1992)

Connaitre et prévoir les caractéristiques des vagues lors de leur propagation vers la côte est un besoin important pour les activités marines, et en particulier la protection côtière, afin de dimensionner un ouvrage tel qu'une digue. Différentes théories de houle ont été établies grâce à des fonctions mathématiques pour expliquer et calculer les houles régulières. Il est important de préciser que la surface de la mer est beaucoup plus complexe et aléatoire du fait de son caractère non linéaire. Cependant, différents modèles mathématiques de la houle ont été établis dès le XIX siècle par Gerstner (1802), puis Airy (1845), et Miche (1944) (SAFARI, 2006).

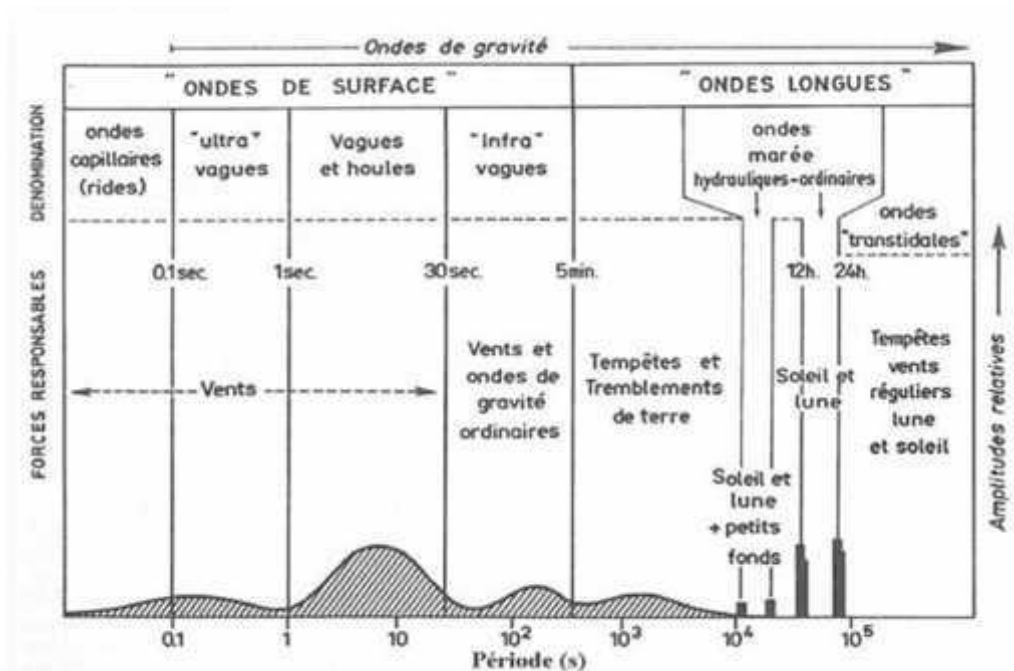


Figure 1 : Classification temporelle des vagues dans l'océan, d'après Munk, 1951. (JARRY, 2009).

1.1.1. Grandeurs physique et caractéristiques de la houle :

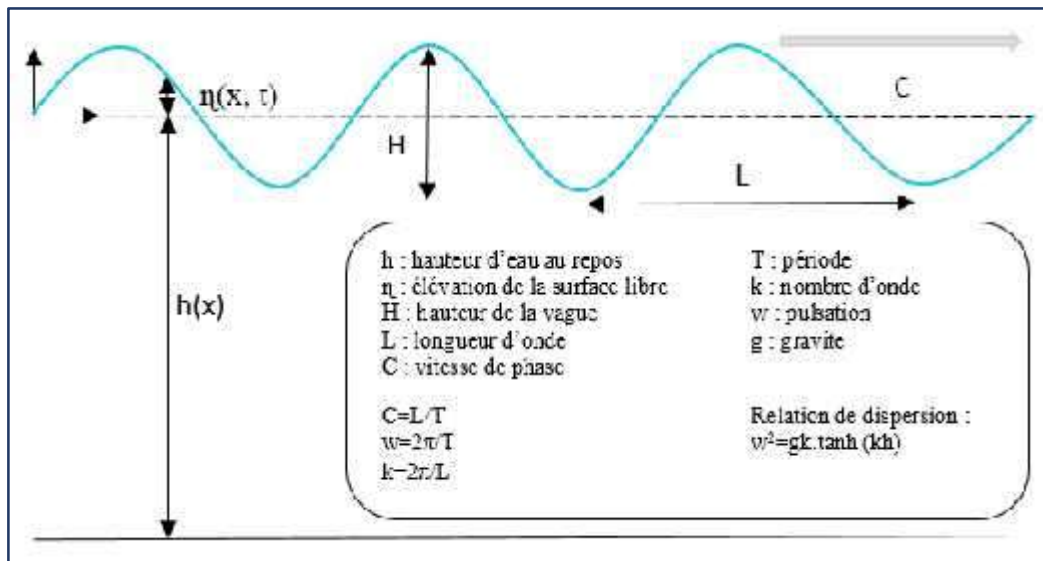


Figure 2 : Représentation des grandeurs caractéristiques des vagues (NADIR, 2016 modifier par NOURI.M).

Les vagues sont des processus difficilement appréhendable en milieu côtier du fait de leur caractère aléatoire. En première approximation, la théorie linéaire (ou développement de Stokes au premier ordre, ou houle d’Airy) permettant de décrire la dynamique des vagues en zone côtière. A l’approche des côtes, les vagues vont être influencées par le fond. Pour des profondeurs inférieures, la houle moyenne peut agir sur les sédiments ; le fond en retour va influencer la forme de la vague (HERVE, 2012). Cette influence réciproque se remarque dans le calcul de la célérité de l’onde comme il est figuré ci-dessous :

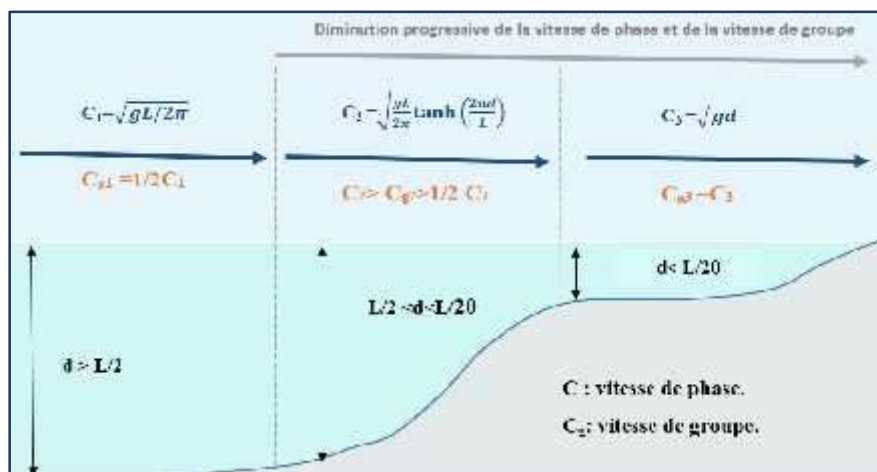


Figure 3: La relation entre la vitesse de phase, la vitesse de groupe et la profondeur(WRIGHT.J et al, 1999 modifier par NOURI .M).

1.1.2. L'énergie de la houle :

La houle renferme de l'énergie sous deux formes, l'énergie potentielle E_p nécessaire pour déformer la surface de la mer et l'énergie cinétique E_c nécessaire pour communiquer aux particules leur mouvement orbitalaire (MIGNIOT, 1976).

$$E = E_p + E_c = \frac{1}{8} \rho g \cdot H^2 L \left(1 - \frac{\pi^2 H^2}{2L^2} \right) \quad (1)$$

Avec :

E : énergie totale de la houle

L : longueur d'onde

E_c : énergie cinétique

ρ : masse volumique de l'eau de mer

E_p : énergie potentielle

g : accélération à la pesanteur.

H : profondeur de la mer au repos.

(BONNEFILLE, 1992)

1.1.3. Mécanismes générateurs de la houle :

➤ Le vent :

Le processus selon lequel les vagues sont créées par le vent est schématiquement le suivant :

- il faut un minimum de vent (environ 1 m/s) pour qu'un champ de vagues apparaisse ;
- de petites vagues se forment alors, au fur et à mesure que le vent s'intensifie ; ce sont des ondes de haute fréquence, avec une courte longueur d'onde et une faible amplitude ;
- après un temps suffisant, le spectre des vagues est pleinement développé, et ne varie plus beaucoup. Sa fréquence dominante est celle du vent et il faut attendre d'autant plus longtemps pour atteindre cet état quasi-stationnaire que le vent est plus fort.

Les vagues grandissent selon le fetch, la vitesse et la durée du vent. Elles continuent de grandir tant que sa célérité d'onde ne dépasse pas celle du vent. Dans le cas contraire, elle déferle au large en « mouton » (WRIGHT.J et al, 1999).

Lorsque les vagues sont en formation et observées dans la zone de génération par le vent elles correspondent à "la mer de vent" : elles présentent un fort étalement directionnel, leurs hauteurs sont souvent irrégulières et leurs périodes comprises entre 2 et 8 s. Après leur formation, les vagues sont amenées à quitter la zone de génération et à se propager : elles présentent alors un aspect plus ordonné et leurs crêtes tendent à être parallèles entre elles et leurs périodes caractéristiques sont de l'ordre de 9 à 25 s. Ces vagues, nommées "houle océanique", peuvent traverser les océans.

En conditions réelles, la mer est souvent composée de divers systèmes de vagues où des houles océaniques de différentes origines peuvent se superposer à une mer de vent locale, l'agitation locale résultante est nommée "état de mer" (LAUGEL, 2014).

1.1.4. Mécanismes modificateurs de la houle :

➤ les courants :

Parmi leurs effets, les courants ont la capacité de réfracter les vagues. Ainsi, les Variations de courant modifient la vitesse de phase des vagues et induisent une réfraction. La direction de propagation est alors modifiée et n'est plus perpendiculaire aux crêtes mais s'oriente parallèlement au courant. La forme des vagues est aussi modifiée. Les courants peuvent aussi bloquer les vagues lorsque leur direction de propagation est opposée à la direction des courants, et quand l'intensité du courant est supérieure à leur vitesse de groupe. Les vagues sont alors stoppées (NADIR, 2016).

➤ frottement sur le fond :

L'effet de la friction au fond est plus complexe car il dépend de la nature du fond, généralement variable et dont la topographie à l'échelle de quelques mètres est façonnée par l'action des vagues. Le frottement au fond affecte les vagues seulement lorsqu'elles sont en eau suffisamment peu profonde (dès que la vitesse n'est pas nulle au fond). Cela implique que le frottement agit de façon préférentielle sur les basses fréquences du spectre d'énergie. (BRIÈRE, 2005).

1.2. La marée :

La marée est un mouvement oscillatoire du niveau de la mer engendré par l'attraction de la lune et du soleil sur les particules fluides des océans (BOUGIS, 2003).

Ce mouvement pourrait être comparé à la houle car, dans les deux cas, les molécules d'eau décrivent des trajectoires fermées dans un plan vertical. Mais, à la différence de la houle, la longueur d'onde de la marée est toujours bien supérieure à la profondeur des océans. Il en résulte que le mouvement dû à ce phénomène intéresse toute la hauteur d'eau (BRIÈRE, 2005).

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 (AMAROUCHE, 2015).

1.3. Les courants :

Un courant par définition est une masse d'eau qui se déplace sur de très longues distances, à la surface ou en profondeur, suivant une direction donnée.

Les courants sont responsables de l'état dynamique des sédiments (érosion, transport et sédimentation) (OTMANI, 2014).

1.3.1. Caractéristiques des courants :

Le courant marin se caractérise essentiellement par :

- une direction qui dépend de celle du vent, la force de Coriolis, la direction de la houle, la morphologie des fonds et l'orientation de la côte ainsi que la variation horizontale et verticale de température et salinité.

- Une vitesse qui est en fonction de plusieurs facteurs tels que : l'intensité du vent, l'énergie de la houle, la turbulence et la bathymétrie (MAGANGA.F, 2011).

1.3.2. Les forces intervenant dans la génération des courants :

Les forces génératrices des courants sont très diverses, on peut les répartir en deux grands types et on observe une grande variabilité dans la circulation océanique, tant dans le temps que dans l'espace (DANIAULT.N, 2005).

➤ Les forces internes au fluide :

Elles ont leur origine dans les variations de densité liées aux échanges énergétiques à l'interface air-mer (par processus thermodynamiques) et à la force de gravité qui 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, 2015).

➤ Les forces externes :

Ce sont des agents principaux de génération des courants et des vagues, parmi ces forces on a principalement (DOGLIOLI, 2015) :

- la force génératrice de la marée :

Les océans sont soumis à des forces d'attraction gravitationnelle, dont l'intensité dépend de la distance à l'astre (Lune ou Soleil), plus un point est proche de l'astre, plus l'attraction est forte.

- la force d'entraînement due au vent :

Le vent est un facteur moteur dans la génération des courants côtiers, il exerce sur la couche superficielle une force de frottement qui dépend de sa vitesse, de la densité de l'air, de la rugosité de la surface de la mer (plus ou moins lisse), de la stratification thermique au voisinage de l'interface (stabilité ou instabilité des masses d'air entraînant une turbulence accrue) et autres causes encore. Le mouvement provoqué par le vent sur la couche superficielle, se propage vers le bas par friction et turbulence.

- les forces liées à la pente de la surface libre ;

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 ».

- **la force de pression :**

Elle est dirigée des hautes pressions vers les basses pressions. La variation de niveau de la mer induit par une différence de la pression atmosphérique provoque une modification dans la pression océanique qui va générer par la suite un courant géostrophique dont les masses d'eaux se déplacent perpendiculairement à la force de pression à droite dans l'hémisphère nord et à gauche dans l'hémisphère sud.

1.3.3. Les forces modificatrices des courants :

- **la force de Coriolis :**

En effet la rotation de la Terre sphérique sur elle-même impose à tout corps ou fluide en mouvement à sa surface une accélération complémentaire dite de Coriolis, dirigée sur la droite du mouvement dans l'hémisphère Nord et sur la gauche dans l'hémisphère sud (VOITURIEZ, 2012).

- **les forces de frottement dues à la viscosité :**

La viscosité mesure la résistance d'un fluide à l'écoulement. Elle est due aux frottements entre les particules fluides en mouvement.

1.3.4. Type des courants :

Les courants qui sont intéressants pour la compréhension de l'évolution des littoraux sont les courants engendrés par les vagues et, éventuellement, par la marée, à l'exclusion des grands courants liés à la circulation générale dans les océans et les mers auxquels il arrive de longer des côtes mais qui n'ont pas sur elles de répercussions morpho-sédimentaires en raison de leurs très faibles vitesses.

➤ **Les courants littoraux induits par la houle :**

- **Courant orbital :**

Sous l'action des houles, les particules d'eau suivent des trajectoires elliptiques ou mouvements orbitaux dont l'amplitude décroît avec la profondeur. Au voisinage du fond, ces mouvements se transforment en courants alternatifs susceptibles d'entraîner l'oscillation de particules solides si les vitesses sont suffisantes.

La vitesse orbitale maximale "U_{max}" sur le fond est donnée par l'expression (MIGNIOT C. , 1976):

$$U_{\max} = \frac{\pi H}{T \sinh 2\pi d/L} \quad (2)$$

Avec : U_{max} : vitesse orbitale maximale m/s

H : hauteur des vagues en mètres

d : hauteur de l'eau au repos.

T : période de la houle en secondes.

L : longueur d'onde en metres.

- **Courant de dérive littorale :**

Lorsque la houle arrive à la côte avec une certaine obliquité elle donne naissance à un courant parallèle au rivage, le plus souvent désigné sous le nom de dérive littorale, situé entre les lignes de déferlement et le trait de côte. Ce courant joue un rôle très important dans l'évolution des rivages, en particulier quand il s'agit de plages.

La vitesse de la dérive littorale n'est pas facile à calculer. Il existe cependant des formules qui permettent de faire des estimations citant celle de PUNAME, MUNK et Traylor (1949). Retouchée par J. Larras qui est (**PASKOFF, 2010**)

$$U = 2.58^3 \frac{gH^2}{r} P \sin 2\alpha \quad (3)$$

Avec: U : vitesse de la dérive littorale en m/s.

P : pente de l'espace infralittoral.

H : hauteur des vagues en mètres au moment de leur déferlement
: l'angle d'incidence des vagues avec le rivage,

T : la période de la houle en secondes

g : l'accélération de la pesanteur

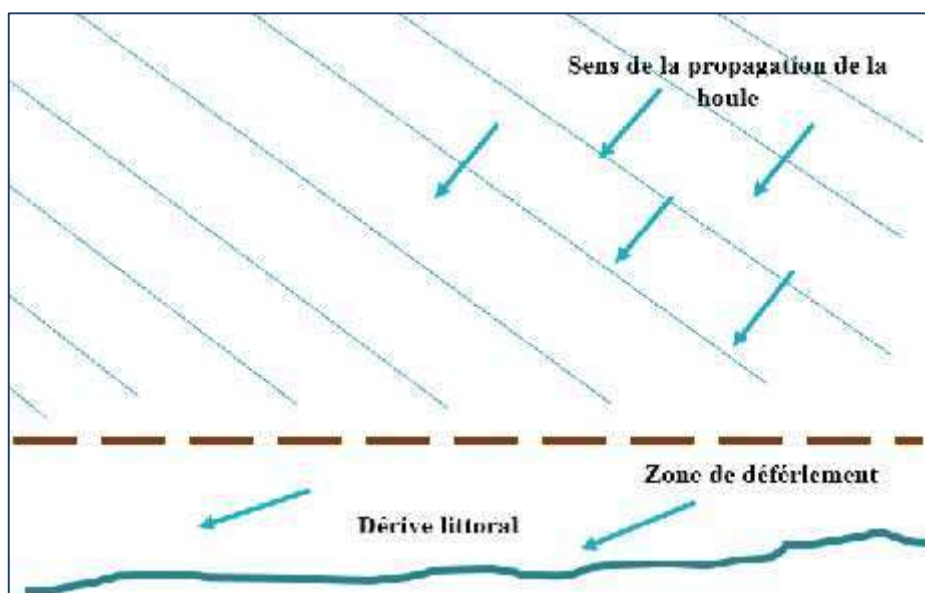


Figure 4 : illustration du courant de dérive littorale (MIHOUBI.M.K, 2013 modifié par NOURI.M)

- **Courant de retour :**

L'apport d'eau à la côte, dû au déferlement qui transforme les vagues d'oscillation en vagues de translation, doit logiquement être compensé par un retour d'eau vers le large, produisant un courant qui se manifeste près du fond dans l'espace infralittoral et auquel on donne parfois le nom de ripcurrent ou encore courant d'arrachement. Il est perpendiculaire à la côte lorsqu'il naît de la rencontre de deux dérives littorales de sens opposé. Mais ils sont le plus souvent obliques (**SENECHAL, 2003**).

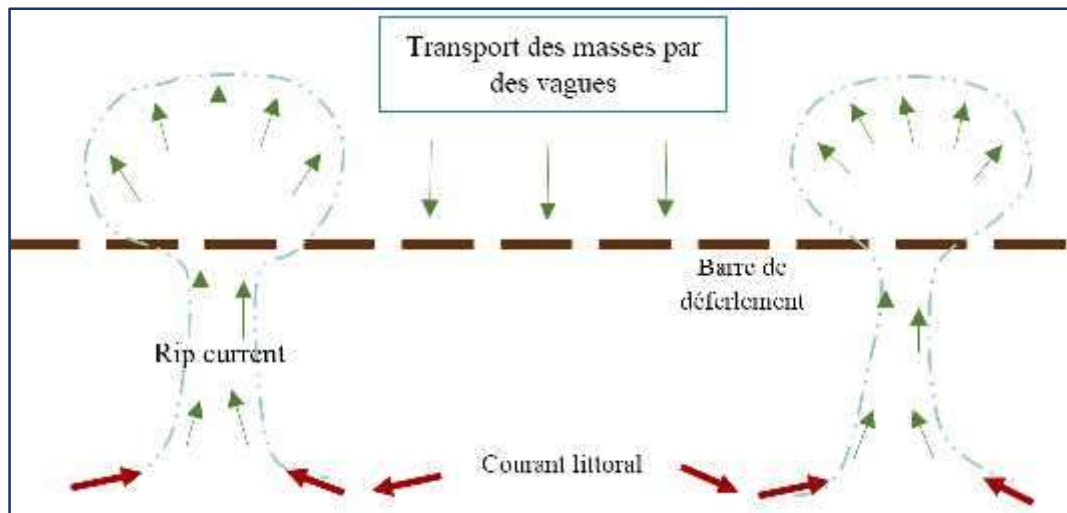


Figure 5 : illustration du courant de retour (MIHOUBI.M.K, 2013 modifié par NOURI.M)

➤ Courant de marée :

Les oscillations du niveau de la mer qu'entraînent les marées s'accompagnent bien évidemment de mouvements horizontaux de masses d'eau que l'on appelle des courants de marée

➤ Courant générale :

La mer Méditerranée est caractérisée par le fait que les pertes d'eau par évaporation sont plus importantes que les apports fluviaux et aux précipitations, ceci est responsable d'une baisse de niveau de la mer. La différence de niveau entre la Méditerranée et l'océan Atlantique implique que l'eau Atlantique (AW) qui se trouve juste à l'ouest de Gibraltar pénètre dans la Méditerranée avec un débit d'environ 1 Sv (DOGLIOLI, 2010). Principalement en raison de l'effet Coriolis, toutes les eaux (AW et MW) qui circulent dans le bassin tendent à suivre, dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, les isobathes à leur propre niveau, en décrivant des gyres quasi permanentes de quelques dizaines de km d'épaisseur et quelques milliers de kilomètres sur le versant continental.

Dans le bassin Ouest au niveau de la côte algérienne les gyres commencent à être clairement identifiés par des caractéristiques qui ont justifié l'identification d'un «courant algérien» (TAUPIER.L et al, 2005).

La mer Méditerranée représente en échelles spatiale et temporelle un modèle réduit de la circulation globale (DOGLIOLI, 2010).

1.4. Mouvement des sédiments dans la zone côtière (engraissement, amaigrissement) :

Les mouvements des matériaux le long du littoral sont des processus fondamentaux à considérer tant dans le diagnostic du régime de la côte que lorsqu'on édifie un ouvrage maritime, on peut alors assister à des déplacements de matériaux (MIGNIOT.C, 1976) :

➤ soit perpendiculairement à la côte sous l'action du courant d'entraînement près du fond, du courant de compensation, On observe donc des mouvements dans le

profil qui conditionnent le profil d'équilibre des plages. Ces mouvements sont pratiquement inexistant au-delà des petits fonds correspondant à la limite d'action de la houle (au-delà d'une profondeur égale au double de la hauteur de la houle significative annuelle selon le L.C.H.F).

Lors des tempêtes les lames très cambrées creusent le profil de la plage et entraînent des matériaux vers le large, par contre les lames de beau temps reconstituent le profil, pour autant bien sûr qu'elles arrivent à récupérer les matériaux car ceux-ci peuvent avoir été emportés par les grands fonds.

➤ soit parallèlement au rivage sous l'action des courants de houle en particulier, ce qui conduit à un véritable débit solide le long d'une côte : c'est le transit littoral qui est le résultat des deux types fondamentaux de transport longitudinaux.

1.4.1. Transport par jet de rive :

En déferlant, les lames arrachent des sédiments au fond et les ramènent en surface vers le haut de plage dans la direction de propagation de la houle. Après le déferlement, l'eau redescend sur la plage en entraînant les sédiments selon la ligne de plus grande pente en suivant un chemin en dents de scie.

L'efficacité de ce mode de transport dépend de l'obliquité de la houle mais aussi de son énergie au moment du déferlement (BOUJIS, 1993).

1.4.2. Transport dans les rouleaux de déferlement :

Au fur et à mesure que l'on s'approche du déferlement, la vitesse d'oscillation sur le fond augmente jusqu'à atteindre une valeur pour laquelle les matériaux sont mis en suspension.

Dans les brisants, si l'obliquité de la houle par rapport au rivage est telle qu'il existe un courant littoral, les sédiments en suspension sont alors entraînés parallèlement au littoral, créant ainsi un débit solide qui constitue, quantitativement, le mode de transport prédominant dû à la houle (MIGNIOT.C, 1976).

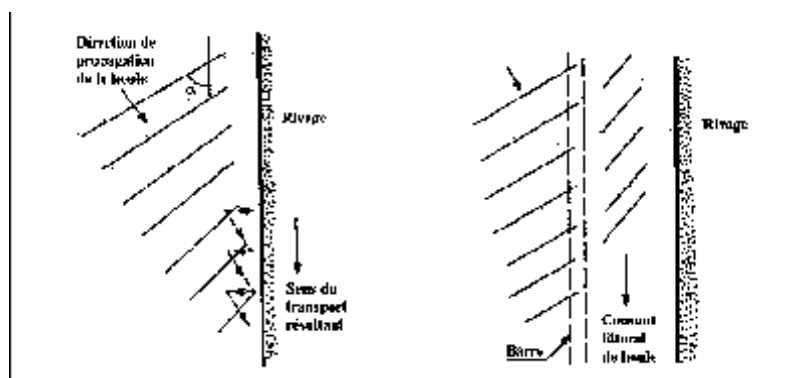


Figure 6: Schéma des transports par jet de rive et par courant littoral.

1.5. Les Ouvrage de protection côtiers :

La mise en place des ouvrages de protection capable de s'opposer à l'attaque de la mer ont pour but d'assurer une meilleure protection des installations situés au front de mer et de maintenir la stabilité des plages. Les aménagements envisageables pour lutter contre l'érosion de la plage de bois-sacres sont les ouvrages longitudinaux :

- De haut de plage : mur de soutènement
- De basse plage : batterie de 3 brise-lame émergés.

Il convient de rappeler que la plage de Bois sacré a connu une situation d'équilibre jusqu'à 1970. A partir de cette date l'équilibre de la zone a été rompu et se traduit par un recul très important de la ligne de rivage de cette dernière.

Pour faire face au phénomène de dégradation de la plage par érosion le laboratoire des études maritimes (L.E.M) a recommandé une solution immédiate de haut de plage qui a été renforcé par la suite par une solution lourde.

1.5.1. Les ouvrages de haut de plage :

Ces ouvrages ont pour but essentiel la protection de la zone terrestre située derrière eux en s'opposant à l'attaque frontale de la houle et à l'action des courants. Ils sont très répandus devant des installations urbaines, le long des routes en front de mer et plus généralement en bordure du littoral (**Caminade, 1996**). Souvent ce type de protection accélèrent l'érosion des plages sur lesquelles ils ont été construits. D'abord, ils empêchent les échanges sédimentaires réciproques entre les deux éléments solidaires d'un même couple, échanges indispensables au bon équilibre d'un rivage sableux. Ensuite et surtout, ils modifient les processus hydrodynamiques littoraux en renforçant l'agitation de la mer qui se brise sur eux et la vitesse des courants résultant du déferlement, d'où un enlèvement accru du sable et des galets. (**PASKOFF.R, 1992**).

1.5.2. Les ouvrages de basse plage :

- Les brise-lames :

Il s'agit d'ouvrages dont l'axe principal est orienté parallèlement, ou est peu incliné, par rapport à la côte (**ROMOGE, 2002**). Ils ont pour but d'atténuer ou de supprimer l'impact des vagues sur un rivage en réfléchissant ou en absorbant leur énergie avant qu'elles ne l'atteignent en leurs extrémités ce qui provoque une accumulation des sédiments de transit à leur abri. (**PASKOFF.R, 1992**).

Il existe différents types de brise-lames en fonction de l'utilisation que l'on souhaite :

✓ Brise-lames émergés : engendrent, entre eux et la côte, une zone calme relative favorable à la sédimentation.

✓ Brise-lames immergés : limitent les volumes d'eau qui les franchissent et contraignent à déferler les houles qui dépassent une cambrure limite.

Il n'existe pas actuellement de règles bien définies pour fixer les caractéristiques optimales des brise-lames, celles-ci dépendent de l'amplitude de la marée, de la houle (hauteur, période, longueur d'onde), de la pente de l'ouvrage et de la pente des fonds. Il semble en tout cas que les brise-lames les plus efficaces sont ceux qui ne sont pas franchis par les vagues donc l'efficacité du brise-lame sur la plage dépend essentiellement de sa longueur (L_s), sa distance à la côte (x), sa hauteur (H) et de l'espacement entre les brise-lames dans le cas d'une batterie de brise lames.

Les études effectuées par le LCHF et le CERC ont permis de proposer des valeurs seuils concernant les caractéristiques de ces ouvrages à savoir (SAMAT, 2007) :

➤ **Distance par rapport à la côte :**

Selon LCHF pour qu'un brise-lames puisse provoquer la formation d'un tombolo qui se raccorde à l'ouvrage, il faut que les limites d'expansion de la houle, issue de chacune des extrémités de l'ouvrage se croise sur le trait de côte, ce qui induit à la relation :

$$LB > 1.2 (XB + 0.3Lo)$$

Avec : LB : longueur du brise-lame.
 XB : distance à la côte.
 Lo : longueur d'onde de la houle.

Le CERC montre que :

Si $LB < X$ la formation de tombolo peut habituellement être évitée.

Si $LB > 2X$ la probabilité de formation de tombolo augmente.

➤ **Longueur et espacement :**

Le LCHF recommande pour qu'il n'y ait pas d'érosion du trait de côte située entre deux brise-lames successifs, il faudrait que l'espacement (EB) entre ces derniers soit tel que :

$$EB < 0.83 XB + (Lo/2)$$

Avec : EB : espacement entre deux brise-lames successifs.
 XB : distance à la côte.
 Lo : longueur d'onde de la houle au point considéré.

Le CERC recommande un espacement qui doit être au moins égale à deux fois la longueur d'onde de la houle et la longueur de chaque ouvrage doit être inférieure à sa distance au rivage.

➤ **Hauteur :**

La hauteur à donner à un brise-lame dépend de l'objectif poursuivi. Si on veut que l'ouvrage soit totalement émergé, il faut atteindre une côte d'arase égale au niveau de la marée la plus haute augmenté de 1.25 fois la hauteur de la houle maximale, sinon pour un

brise-lame immergé on peut estimer que l'amortissement de la houle qu'il provoque est égale à 50% si l'ouvrage est arasé au niveau de l'eau en repos.

➤ **La largeur en crête :**

Des expériences ont montré que si la cote d'arase d'un brise-lame doit être abaissée, cette diminution rendant l'ouvrage plus vulnérables à l'arrière et moins efficace lors des tempêtes, peut être en partie compensée par une augmentation de la largeur en crête exprimée par la relation suivante.

$$25 - 5Za < b < 15 - 5Za$$

Avec : b : largeur de brise-lame en en crête

Za : cote d'arase de l'ouvrage.

➤ **La profondeur d'implantation :**

La profondeur optimale d'implantation doit être choisie de façon que la houle efficace (H_e) définie comme la houle constante produisant les mêmes évolutions que la houle réelle sur une année, déferle en deçà du brise-lame afin que celui-ci puisse intercepter la plus grand part du transit littoral

$$d = 1.5 H_e$$

Avec d : la profondeur d'implantation.

H_e : la houle efficace.

➤ **L'orientation de brise-lame :**

L'orientation du brise lame est en fonction de l'angle d'incidence de la houle dominante ainsi que la ligne de rivage originelle.

1.6. La Modélisation numérique hydrodynamique :

L'utilisation de modèles numériques pour des études fondamentales ou des simulations plus réalistes de la circulation générale océanique a mis en évidence la nécessité de disposer des modèles numériques ayant d'une part une physique appropriée à la dynamique locale et d'autre part une résolution spatiale plus fine dans certaines régions des bassins. C'est par exemple le cas des zones côtières qui sont souvent le siège de phénomènes déterminants pour la circulation générale (LAUGIER, 1994)

Les performances des modèles numériques dépendent, entre autres, des données issues des observations in situ et des données de télédétection dont la comparaison avec les données numériques permet de tester les résultats des modèles et de mieux comprendre des phénomènes locaux observés en mer. (KERSALÉ. M, 2013)

1.6.1. Principes de modélisation :

Dans la modélisation numérique les phénomènes hydrodynamiques sont représentés par des équations obtenues après 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 traduisent dans l'expression même des équations ce qui permet d'effectuer une résolution analytique dont l'intérêt restera toujours limité (SALAMON et al 1981).

1.6.2. Les équations de base de la modélisation des courants et des vagues :

La plupart des modélisations en hydraulique, que ce soit dans le domaine de l'environnement ou dans le domaine industriel, conduisent à des équations du même type. En effet, pour les déterminer, on part généralement des équations de Navier-Stokes compte tenu de l'hypothèse hydrostatique et de l'approximation de Boussinesq.

1.6.3. Les modèles spectraux d'état de mer :

La prédiction des états de mer est couramment réalisée par la succession de 3 générations de modèles spectraux d'état de mer, qui permettent de résoudre l'équation d'évolution du spectre d'énergie des vagues, ceux de la 1^{ère} génération s'appuient sur les théories de la génération des vagues par le vent (théorie de Miles (1957), Phillips (1957)) et sur le concept de saturation universelle de Pierson & Moskowitz (1964), les modèles de la 2^{ème} génération contrairement à ceux de la 1^{ère} génération ont permis une meilleure connaissance de la physique des vagues et une modélisation des états de mer qui tient en compte l'importance et la paramétrisations des transferts non-linéaires, tandis que dans les modèles de 3^{ème} génération qui sont apparus suite au développement de la méthode de calcul des interactions non-linéaires DIA, le terme de transfert non linéaire n'est plus paramétrisé, mais calculé de manière plus ou moins approchée.

Cette catégorie des modèles regroupe : le modèle WAM, WAVEWATCH III, SWAN, TOMAWAC (GAGNAIRE.R, 2009).

1.6.4. Présentation model SWAN :

Le modèle SWAN (Simulating Waves Nearshore) (BOOJ, et al 2004) (version4041) développé à l'Université des Technologie Delft, permet de calculer de façon réaliste les paramètres décrivant la houle au niveau des zones côtiers, des lacs et des estuaires, à partir de donnée de vent, de bathymétrie et de courant (PEDREROS.R 2009). SWAN est exécuté en mode troisième génération, stationnaire, bidimensionnel et basé sur l'équation spectrale de conservation de l'action de la houle qui est résolue suivant un schéma implicite en différence finies :

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} C_x N + \frac{\partial}{\partial y} C_y N + \frac{\partial}{\partial \sigma} C_\sigma N + \frac{\partial}{\partial \theta} C_\theta N = \frac{S}{\sigma} \quad (4)$$

$$S = S_{in} + S_{nl} + S_{wc} + S_{bf} + S_{dtb}$$

Où x et y sont les coordonnées cartésiennes horizontales, t est le temps, est la direction de propagation de vague suivant chaque composant, C_x, C_y, C sont des constantes de propagation de la viscosité, la Fréquence relative de la vague, N est la densité spectre angulaire d'action des vagues.

$S = S(\dots, x, y, t)$ correspond à la somme des termes source et termes puits, elle contribue à la dissipation ou à la génération de densité d'action des vagues.

1.6.5. Paramètres physiques résolus par Swan :

Le modèle SWAN est capable de résoudre plusieurs paramètres physiques essentiels dans la compréhension du comportement hydrodynamique de la zone modélisée. Parmi ces paramètres (THAN, 2015):

- La propagation à travers un espace géographique ;
- La réfraction due à des variations spatiales du fond ou des courants ;
- Le blocage ou réfraction par des courants de retour ;
- La transmission à travers des obstacles, blocage ou réflexion à cause de ces obstacles ;
- La diffraction ;
- Les interactions houle-courant ;
- Les interactions houle-houle ;
- La génération de houle par le vent ;
- La dissipation par moutonnement ;
- La dissipation par déferlement due aux variations de profondeur ou aux courants ;
- La dissipation par frottement sur le fond ;

1.6.6. Prévision des caractéristiques physiques des houles (H_s , T_s) :

La prédiction des états de mer par des méthodes théoriques représente une tâche assez difficile voire impossible, d'où l'utilisation des méthodes empiriques qui se fait à travers la collecte des données d'observation sur terrain dont les données du vent représente une information primordiale pour établir des abaques et des formules.

Il existe plusieurs méthodes empiriques dont la plus employée pour sa simplicité est la méthode SBM qui permet d'atteindre une précision moyenne de l'ordre de 20% sur la hauteur Significative dans les deux tiers des cas (BOUGIS, 2003).

➤ Méthode de Sverdrup-Munk-Bretschneider :

La méthode SMB est développée par H.U. Sverdrup et W.H. Munk en 1947 et améliorée par Bretschneider en 1971, 1973, 1977 après l'analyse d'un grand nombre de données nouvelles provenant de l'U.S. Coastal Engineering Center en 1970 et 1971.

Cette méthode permet d'évaluer la hauteur et la période significative (H_s , T_s) de la houle en fonction de la vitesse moyenne du vent à dix mètres d'altitude U_{10} , de la longueur du fetch F et de la durée de la tempête D . Les valeurs de U_{10} , F et D sont difficiles à appréhender, dans la réalité, de manière objective.

Sous cette réserve, la prévision de Hs de la houle peut se faire à l'aide de formule suivante donnée par C.L. Bretschneider 1973 (BOUGIS, 2003):

$$\frac{gH_s}{U_{10}^2} = 0,283 K_1 \tanh \left[\frac{0,0125}{K_1} \left(\frac{gF}{U_{10}^2} \right)^{0,42} \right] \quad (5)$$

Avec :
$$K_1 = \tanh \left[0,578 \left(\frac{g^3 h}{U_{10}^2} \right)^{\frac{3}{4}} \right]$$

Ou h est la profondeur d'eau.

L'estimation de la période significative est obtenue d'après la formule de 1977, mieux adaptée pour prédire les courtes périodes des états de mer levés par grand vent :

$$\frac{gT_s}{U_{10}} = 7,207 \tanh \left[\frac{1}{2} \ln \left(\frac{1 + \frac{3546 g H_s}{U_{10}^2}}{1 + \frac{3546 g H_s}{U_{10}^2}} \right)^{0,46} \right] \quad (6)$$

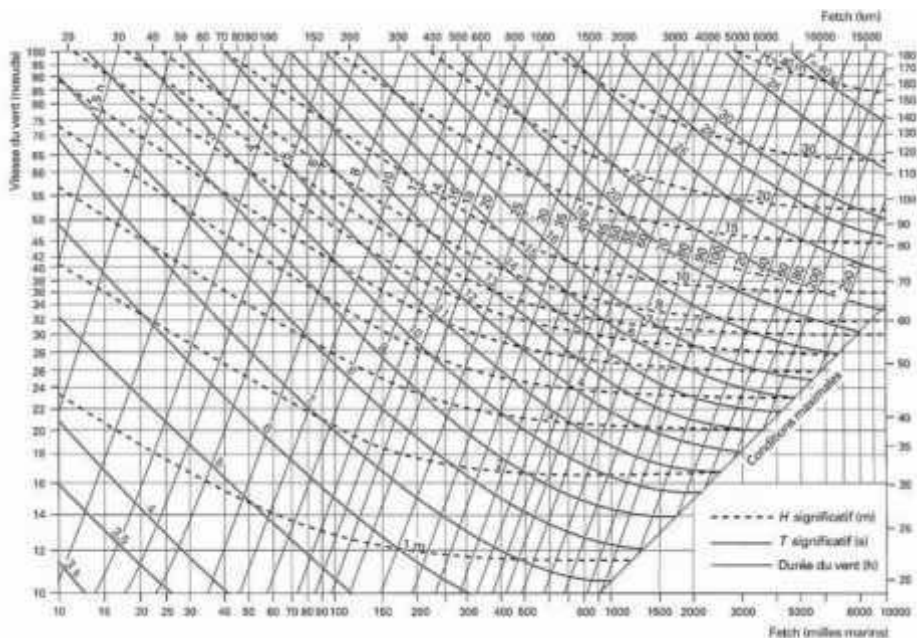


Figure 7: Abaque de Bretschneider prévision des hauteurs de vagues au large

1.7. La Télédétection :

Les méthodes d'observation des océans sont basées essentiellement sur la mesure d'un certain nombre de paramètres (salinité, température, courant) à des endroits ponctuels par mouillages d'instruments pour des périodes prolongées. Cette approche a permis au fil du temps d'acquérir une bonne connaissance de base des divers processus océaniques existants et de leur variabilité temporelle.

Toutefois, une vue synoptique des phénomènes observés est désormais comme une information primordiale aux océanographes ; permettant de relier la variabilité temporelle à la variabilité spatiale. Par conséquent, l'avènement de la télédétection a permis de combler cette lacune avec des informations qui couvrent une grande superficie en un temps très court et très tôt.

1.7.1. Les Images satellitaire :

Une image satellite correspond à une matrice de pixels. La taille du pixel correspond à la résolution spatiale et son contenu correspond à un compte numérique (**RAMAKRISHNA R. N et al-2003**). Il existe plusieurs capteurs qui nous permettent d'obtenir des images satellitaires dont la résolution est variable tel que : Les images Landsat8, Landsat7ETM+, Spot 5, 6, 7, GeoEye-1 et les images ASTER.

1.7.2. Le capteur du satellite Terra ASTER :

C'est un capteur capable d'obtenir des images satellitaire dans 14 bande, allant du visible à l'infrarouge thermique et c'est un capteur à haute résolution (15 m) a bord du satellite TERRA qui a été lancé en decembre1999 dans le cadre du système d'observation de la terre (www.seos-projet.eu).

Il est constitué de trois sous-systèmes. VNIR : qui enregistre dans le visible et le proche infrarouge. SWIR : il enregistre dans l'infrarouge à courtes longueur d'onde. TIR : enregistre dans l'infrarouge thermique.

Tableau 1 : Fiche technique du capteur ASTER

Lancement : décembre 1999.
Intervalle de survol : 1-16 jour
Durée de vie prévue : 6 ans et +
Nombre de bande : 14
Nombre de télescopes : 3 (VNIR, IRCL, RIT)
Résolution de chaque télescope :
15m (bande 1-3) VNIR.
30m (bande 4-9) IRCL.
90m (bande 10-14) RIT
Largeur de fauchée : 60km

1.7.3. Le panache turbide :

Appelé aussi plume sédimentaire est une accumulation de particule d'origine marine ou fluviatile, en suspension dans l'eau. D'extension plus ou moins importante, le panache turbide se déplace dans la direction des courants. (SAFFACHE, 2003)

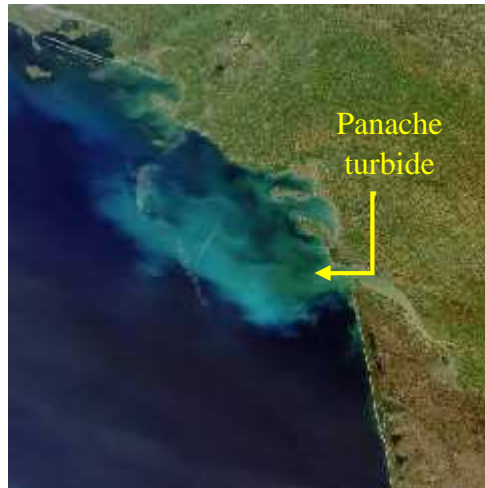


Figure 8: Image satellitaire montrant un exemple d'un panache turbide acquise par le capteur MERIS du satellite européen Envisat le 9 avril 2011

Chapitre II : Choix de la zone d'étude

1. Choix de la zone d'étude :

Pour la réalisation de notre étude nous avons choisi la zone littorale de la commune de Gouraya, plus précisément la plage du bois sacré. Cette zone côtière est caractérisée par une morphologie sous-marine et côtière très complexe, sur laquelle on trouve les différents types de reliefs, dont un canyon au large, une micro fosse au niveau de la plage, un îlot, une falaise, une plage sableuse et une plage rocheuse accompagnées par différents aménagements entropiques, brise lames, port, et d'autres ouvrages longitudinaux. L'étude du courant côtier dans ces cas est très complexe et nécessite la combinaison entre différents outils et différentes méthodes de recherches.

Le choix de cette zone est aussi basé sur l'importance économique, écologique et touristique qu'elle connaît.

2. Situation géographique de la zone d'étude :

1.1. Limites administratives de La Commune de Gouraya :

GOURAYA est une commune de la wilaya de TIPAZA, une ville côtière située à l'Ouest de la wilaya de TIPAZA à environ 50 km et à **142 km** de la capitale ALGER. Elle s'étend sur une superficie totale de 9112 ha, qui s'étale sur trois reliefs différents ;

- 24% de sa superficie se trouve dans la plaine.
- 11,9% de sa superficie se trouve dans les piémonts sillonnés par plusieurs oueds.
- 64,1% de sa superficie se trouve dans la zone montagneuse.

(APC GOURAYA in OUEDHA, 2016).

Elle est délimitée géographiquement par :

- Nord : la mer méditerranéenne.
- Est : la commune de MESSELMOUN.
- Sud : la commune de MESSELMOUN.
- Ouest : les communes LARHAT et AGHBAL.

(Plan d'occupation des sols P.O.S in OUDHA, 2016).

2.1. Délimitation géographique :

Le secteur de bois sacré se trouve à l'ouest de la ville de GOURAYA, couvre une superficie de 57 ha. Il est délimité par un éperon rocheux à l'Ouest et le port de Gouraya à l'Est et avec un linéaire côtier d'environ 1 km.

Le rivage est orienté SWW-NEE, et notre zone d'intérêt est limitée par les coordonnées géographiques suivantes :

- Latitude : **4047600m** à **4048300 m Nord**.
- Longitude : **400300m** à **401200 m Est**.

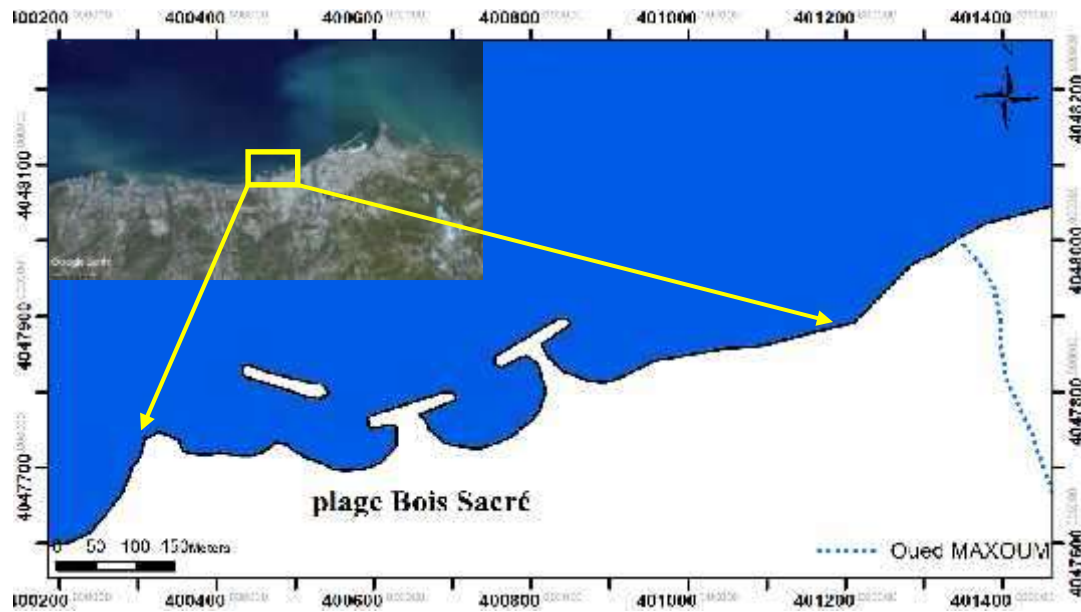


Figure 9: la zone d'étude

3. Etat physique du site :

La zone d'étude se caractérise par un profil de plage curviligne, Il convient de rappeler que la plage de bois sacré a connu une situation d'équilibre jusqu'à 1970. A partir de cette date le site est soumis à une érosion importante due à plusieurs facteurs hydriques favorisés par la topographie du site et anthropique par la prise des énormes quantités de sable destinées aux différentes constructions qui entourent les lieux selon le LEM.

Le secteur bois sacré marque une artificialisation très importante de son rivage ainsi la présence d'ouvrage de protection de haute de plage et de basse plage qui vise à la fois de:

- Rendre l'activité balnéaire de cette zone en évitant les solutions de revêtement en enrochement au niveau de la plage, Créer un pôle touristique local pouvant répondre aux besoins de la population attenante au site.
- Atténuer ou de supprimer l'impact des vagues sur un rivage en réfléchissant ou en absorbant leur énergie avant qu'elles ne l'atteignent.



Figure10: les constructions au niveau de la plage Bois sacré : A : habitation, B : mur en enrochement, C : brise-lame

4. Cadre géomorphologique et sédimentologie :

Dans une prospective de protection des zones côtières, il est nécessaire d'effectuer une analyse géomorphologique local, afin de maîtriser les différents processus hydro-sédimentaires mise en jeu qui contrôlent la dynamique côtière (érosion, accrétion...) (OTTMANI.H, 2014)

La région de bois sacré est une zone dépressionnaire constituée essentiellement de couches de miocène inférieur (facies argileux, brunâtre) ces formations semblent être plus fragiles par rapport au couches qui forment les caps (ras Teska et Kef Arer) (LEM, 2009).

Cette zone est caractérisée par une morphologie complexe dans les principales structures sont :

- Une plage aérienne avec une pente très abrupte. constituée principalement de sables grossiers gris/noirs et de galets ces matériaux sont fournis par les différents systèmes fluviaux dont les 3 principaux sont : oueds Kellal, oued Maxoum et oued Sept.

En été les lits des oueds sont quasiment à sec ou se réduisent à de simple filet d'eau, par contre ils connaissent des crues très violentes pendant les saisons d'hiver.



Figure 11 : les caractéristiques de la plage bois sacré : A : la pente de la plage aérienne,

B: taille et qualité des sédiments, C : Oued MAXOUM

- La zone marque la présence d'une île distante d'environ 2.7km de la cote et d'une falaise rocheuse dans sa partie Ouest, qui connaît une régression jusqu'au ce jour de l'ordre de 20m.



Figure12: la Falaise de la limite Ouest de la plage

5. Morphologie Sous-marine :

Une plage sous-marine dont la pente est irrégulière de l'ordre de 15% avant l'installation des brise lames entre 0 et 3 m de profondeur sur une distance moyenne variant entre 20 et 30m et de 1.3% de -3 a-5m sur une distance d'environ 100m, puis la pente s'adoucit à partir de -5m de profondeur (LEM, 2009).

De très nombreux canyons découpent le plateau continental de la zone dont le plus grand se trouve face au large de Gouraya, qui entraîne la déflation des sédiments fluviatile très fin vers le large.

Les données bathymétriques représentent une information primordiale pour la compréhension des phénomènes hydro sédimentaire près du rivage. L'influence de la profondeur sur la houle contribue dans la génération des courants observés dans la zone de déferlement. Comme on a cité précédemment la plage de Gouraya connait une morphologie sous-marine très complexe qui a subit encore plus de modification après l'installation des ouvrages de protection. (Figure13)

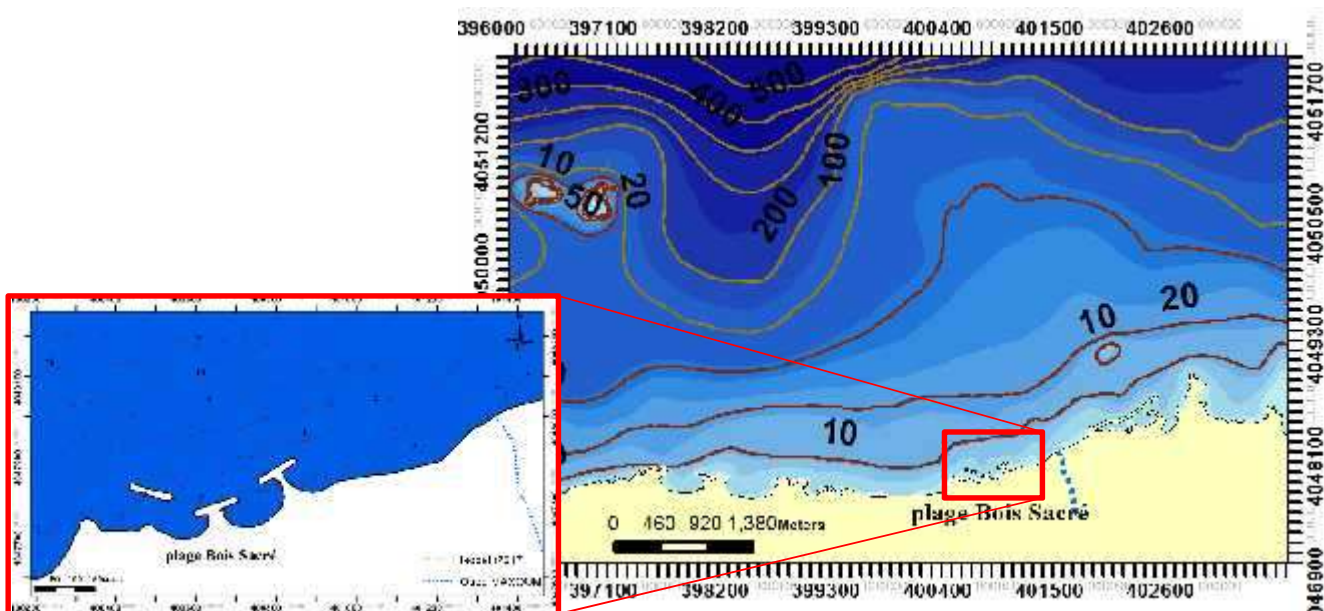


Figure 13: Carte bathymétrique de la zone d'étude

6. Cadre climatologique :

La détermination du caractère de climat est très importante pour mieux apprécier les régimes hydrodynamiques, déployés au niveau de la zone côtière, responsables de toute transformation morpho-sédimentaire.

La région d'étude jouit d'un climat de type méditerranéen tempéré caractérisé par un été sec et chaud et un hiver humide et froid.

Les températures sont comprises entre 0° et 40° ; on note au mois de janvier, une moyenne de 10 et 25° au mois d'août (LEM, 2009).

**Chapitre III : Modélisation numérique des
courants côtiers par un modèle
Hydrodynamique**

1. Introduction :

Il n'existe pas de méthode théorique très satisfaisante pour prédire les états de mer et les houles, et les solutions les plus efficaces restent relativement empiriques. Elles consistent à accumuler les observations de la mer, et à établir, à partir de là, des abaques ou des formules en fonctions de la vitesse du vent et de sa persistance sur laquelle la vitesse du vent est considérée comme stable (**BOUGIS, 1993**).

La description idéale des conditions des vagues quotidiennes sur n'importe quel site d'intérêt serait donc d'avoir des bases de données à long terme d'enregistrement de la houle, mais cela est rarement possible.

En ingénierie côtière il est important d'étudier les différents phénomènes agissant sur les rivages, pour l'élaboration des stratégies d'aménagements et de défense, par des outils d'analyse numérique qui consistent à une description simplifiée de la réalité et qui permettent, par une mise en équation, de simuler le comportement des matières et par suite d'approcher et expliquer les mécanismes mis en jeu. C'est dans ce but que cette étude a été effectuée en s'appuyant sur des modèles numériques appropriées à des mesures locales avec une résolution spatiale fine. Par exemple le cas des zones côtières à morphologie complexe, qui est souvent le siège de multiples phénomènes marins.

2. Méthodologie :

Les méthodes couramment utilisées pour l'étude du comportement hydrodynamique auprès des cotes sont les observations d'ondes continues par des instruments in situ et des prévisions numériques basées sur des données du vent et d'autres forces génératrices et modifiatrices de la houle. (**BACHARI, N.E.I., et al. 2017**). La meilleure solution pour simuler les conditions de la houle quotidiennes, dans différents sites d'intérêt, est l'utilisation des modèles numériques (**MONDON, E et WARNER, P. 2009**).

Pour répondre à notre problématique, nous avons utilisé le modèle SWAN (Simulating Waves Nearshore). Ce modèle est déjà développé, mis en œuvre et validé (**BOOJ. N et al 2009**).

Ce travail a été effectué suivant 4 étapes essentielles :

- La première étape de cette étude consiste à collecter, traiter les données d'entrée concernant les forces de génération des houles.
- La deuxième étape est la préparation des commandes d'exécution du modèle SWAN.
- La troisième étape qui est le calcul des courants de dérive sous Matlab et la simulation du transit sédimentaire.
- La dernière étape consiste à une analyse numérique spatio-temporelle des résultats obtenus.

2.1. Traitement et collecte de donnée :

Cette partie de notre travail consiste à la collecte et le traitement des données input du modèle SWAN.

2.1.1. Les données météorologiques :

Les données météorologiques et climatiques présentent une grande importance pour les travaux maritimes. Certains mouvements de la mer, notamment les houles, dépendent exclusivement des vents, qui représentent la première force génératrice des vagues et des courants superficiels. (moulin, 1978).

La collecte des données météorologiques a pour but de déterminer les conditions hydrologiques en se basant sur des données réelles du vent observées entre 1990 et 2010, par la station météorologique la plus proche de notre zone d'étude « TENES » (36,50°N 1,33°E) indicatif : "60410" située à environ 100 km de la plage de Gouraya. Les données des vents utilisées s'étalent sur une période de 21 ans dont les enregistrements sont prélevés chaque 3heures.

Dans le cadre de cette étude nous avons filtré les vents susceptibles de générer des houles supérieurs à 0.5m au large ; en prenant en considération leurs vitesses, leur Persistance et leurs directions.

Une étude statistique des vents sous Excel nous a permis de mesurer les fréquences journalières des vents du point de vue vitesse, direction et persistance. Un tableau croisé des fréquences (Tableau2) (vitesse-persistance) est donc été réalisé pour chaque direction. ; NNE, NE, E, SE, S, SW, W, NW, NNW.

Tableau 1 : Tableau croisé des fréquences des vents de direction NNE

Persistance	5	8	10	12	14	16	
0	0,96831812	0	0	0	0	0	NNE
1	0,00456323	0,00104302	0,00026076	0,00013038	0	0	
2	0,00352021	0,00391134	0,00104302	0,00026076	0,00013038	0	
3	0,00182529	0,00195567	0,00052151	0,00039113	0	0	
4	0,00378096	0,00052151	0,00052151	0	0	0	
5	0,00234681	0,00065189	0,00026076	0	0	0	
6	0,00286832	0	0	0	0	0	
7	0,00091265	0	0	0	0	0	
8	0,00026076	0	0	0	0	0	
Totale	0,02007823	0,00808344	0,00260756	0,00078227	0,00013038	0	0,03168188

Chapitre III : Modélisation numérique des courants côtiers par un modèle Hydrodynamique

La simulation des conditions limites de la houle que peut générer le vent au large :

En utilisant l'abaque de Brethschneider, un monogramme basé sur les équations de Sverdrup-Munk-Brethschneider 1947, et révisé par Brethschneider en 1977 ; un abaque recommandé par Shore manuel protection est considéré comme l'une des deux formules les plus utilisées en USA avec celle de Hasselmann (Jarry, 2011). Nous avons simulé les hauteurs et les périodes de la houle générée par les vents dans les différentes conditions du vent possible.

Pour effectuer la simulation d'un nombre importants de condition des vents observés durant les 21 ans nous avons numérisé l'abaque de Bretshneider à l'aide d'ArcGIS (Tableu3)

Résultats de la numérisation de l'abaque de Bretshneider

Tableau 1 : Tableaux des hauteurs et des périodes de vagues obtenues à partir de l'abaque numérisé de Bretshneider

	5	8	10	12	14	16	22	
1	0,2	0,7	0,9	1	1,4	2	3,2	HS
2	0,6	1	1,6	1,9	2,4	2,8	4,5	
3	0,6	1,3	1,8	2,7	3,2	3,4	5,1	
4	0,7	1,5	2,1	2,7	3,3	3,9	6,4	
5	0,9	1,6	2,3	2,9	3,8	4,5	7,1	
6	0,9	1,7	2,3	3,1	4	4,8	7,2	
7	0,9	1,7	2,4	3,3	4,3	5,1	7,8	
8	0,9	1,8	2,5	3,5	4,6	5,3	9,2	

	5	8	10	12	14	16	
1	3,1	3,9	4,7	5,2	5,7	6,7	T
2	4,1	5	5,9	6,5	7,2	8,8	
3	4,1	5,1	5,9	6,8	7,5	8,9	
4	4,7	5,7	6,7	7,9	8,9	9,6	
5	5	6,1	7,2	8,7	9	10,2	
6	5,2	6,5	7,8	9	9,2	10,7	
7	5,5	6,9	8,5	9,1	9,6	11,2	
8	5,8	7,4	8,9	9,5	10,3	12	

A partir de ces tableaux, toutes les houles observées durant les 21 ans ont été classées et quantifiées de point de vue hauteur et période pour chaque direction. (voir annexe)

Tableau 2 : exemple d'un tableau des fréquences de différent hauteurs de la houle du NNE

NNE				
Hs	Fr	fr(Fr)	V	T
0-0,5	0,00767712	0,14403292	5	
0,5-1	0,02829568	0,5308642	5	4,7
1-1,5	0,01008993	0,18930041	8	5,1
1,5-2	0,00504497	0,09465021	8	6,9
2-2,5	0,00153542	0,02880658	10	7,23
2,5-3	0,00065804	0,01234568	12	7.35
3_4	0	0		
4_5	0	0		
5_6	0	0		
somme	0,05330116	1		

2.1.2. Données bathymétriques :

Les données bathymétriques représentent une information primordiale pour la compréhension de phénomènes hydro sédimentaire près du rivage. A partir d'une certaine profondeur, la houle peut être altérée par le fond et par la suite subir une série de modifications de ses paramètres physiques.

Les données bathymétriques sont un paramètre clé pour entreprendre une modélisation des phénomènes hydro sédimentaire à proximité de la cote. Il est nécessaire pour notre étude, d'avoir les mesures bathymétriques depuis les eaux profondes jusqu'aux eaux peu profondes afin de simuler les modifications de la houle du large par l'effet du fond.

Pour cette partie de données nous avons exploité la bathymétrie de la zone avant l'implantation du projet d'aménagement 2009 issu du LEM, et d'après l'implantation des brise-lames sur les deux ans 2016 et 2017 résultant du travail de projet de fin d'étude de OUDHA.H et de notre travail terrain.

La bathymétrie de l'avant-projet d'aménagement de 2009 :

Ces données sont issues de la campagne de reconnaissances sur site réalisé en novembre 2004 par le LEM dans le cadre de projet de l'étude de la carte sédimentaire du littoral algérien 2eme tranche.

La bathymétrie après l'implantation des ouvrages de protection 2016 :

Les données bathymétriques du 2016 sont issues du travail de OUDHA 2016, obtenu après une sortie de prélèvement à la plage du bois sacré le 09.04.2016 effectué par méthode classique de prélèvement bathymétrique.

La bathymétrie après l'implantation des ouvrages de protection 2017 :

Pour l'obtention des données bathymétriques de l'année 2017 nous avons effectué une campagne en mer le 27.5.2017.

2.1.3. Compagne en mer :

Dans le cadre de notre étude une sortie de prélèvement et d'observation au niveau de la plage du bois-sacre, Gouraya, wilaya de Tipaza a été effectuée le 27/06/2017. Dans des conditions de mer agitées, un ciel légèrement nuageux et un vent moyen de secteur Ouest, à bord d'un hors-bord (figure14).

L'heure de départ : 09:45 port de GOURAYA.

L'heure de retour : 13:20



Figure 1: embarcation utilisé pour les prélèvements en mer

2.2.4. Préparation de la sortie et du matériel :

Quelque jour avant la sortie, des Cartes illustrant les stations de prélèvement ont été programmées (figure 15).

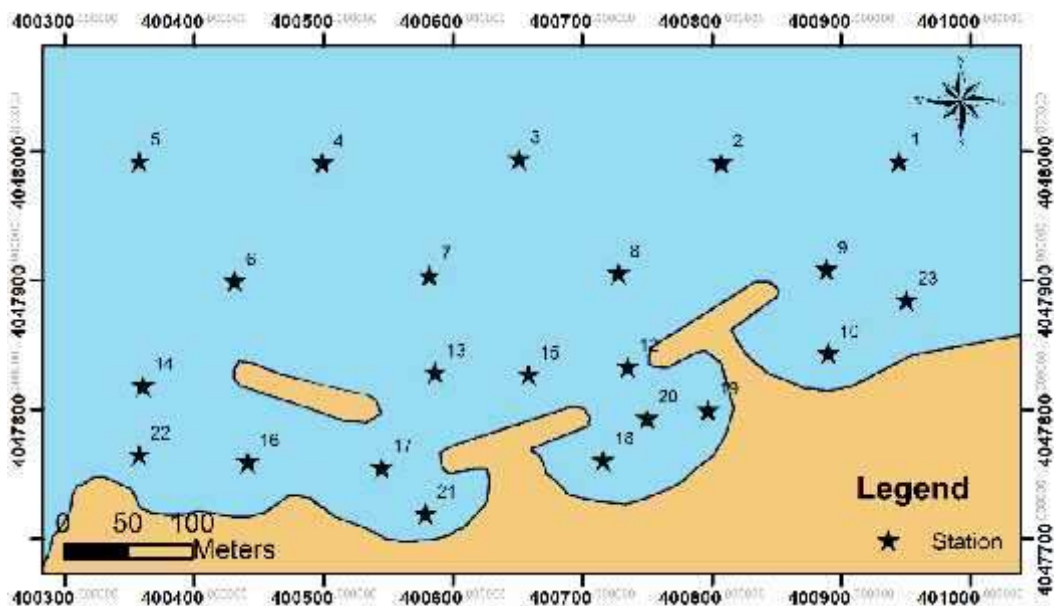


Figure 2 : plan des stations de prélèvement

Chapitre III : Modélisation numérique des courants côtiers par un modèle Hydrodynamique

Les prélèvements prévus sont : les prélèvements de la bathymétrie et les prélèvements des échantillons des sédiments superficiels.

Matériel préparé : Une benne à sédiment, Un échosondeur bi-fréquence de Type Gamin 421s, et Un traceur GPS à main de type Gamin. (Figure 16)



Figure 3: échosondeur gamin 421s et la benne utilisée pour les prélèvements des sédiments.

2.2.5. Les prélèvements effectués

Vue l'état agité de la mer nous n'avons pas réussi à effectuer des prélèvements au niveau des stations illustrées en étoiles noires (figure 15), une activité hydrodynamique très importante a été observée au niveau de cette zone, qui représente une zone à fort risque de navigation.

Au total 18 échantillons ont été prélevés dans des stations réparties aux alentours des brises lames (figure 17) jusqu'à une profondeur maximale de 7m à une distance de 250 mètres de la côte.

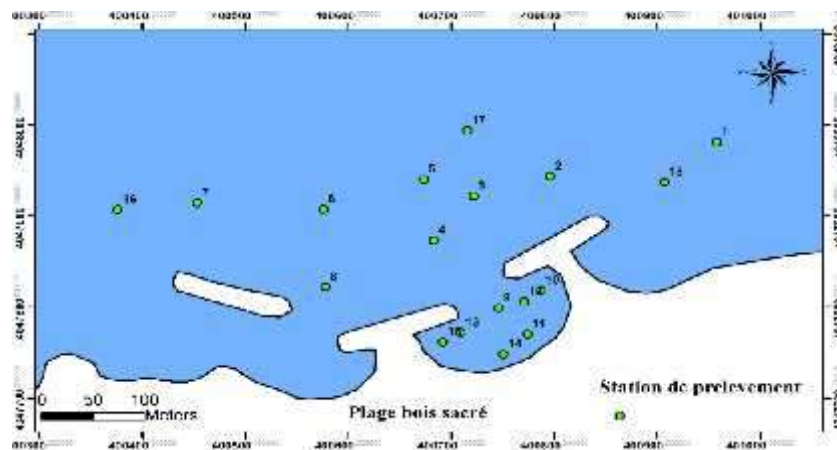


Figure 4: carte de positionnement des points de prélèvement dans la plage sous-marine de Bois sacré.

2.1.5. Traitement des données bathymétriques :

➤ Préparation de la grille numérique pour l'extraction des données bathymétriques :

Les données bathymétriques ont subi le même traitement à l'aide des outils numériques surfer11 et ArcGIS10.3.

Pour la création d'une grille régulière on a utilisé le logiciel Surfer, selon la procédure suivante. Voir (figure X) :

1. Préparer un fichier Excel des coordonnées des quatre points qui délimitent la zone d'intérêt et attribuer, pour chaque point, une valeur bathymétrique donnée.
2. Sur surfer et à l'aide de la commande **Grid** ouvrir le fichier Excel : (GRID data)
3. régler la géométrie des lignes de la grille (Définir l'espacement) selon les exigences de l'étude, dans notre cas nous avons un espacement de 30m en X et en Y.
4. définir le fichier de sortie et enregistrer fichier de grille de sortie sous format.dat



Figure 5: étapes de préparation de la grille sous surfer

Sur Excel, Importer les coordonnées des points de la grille créer à partir du fichier.dat (éliminer les valeurs bathymétriques).

➤ Préparation des grilles bathymétriques:

Une fois la grille numérique est préparé et l'interpolation par masque des donnée bathymétrique soit effectuer sous ArcGIS, nous avons projeté la grille sur les résultats d'interpolation a fin d'extraire les données bathymétriques.(Figure 18)

2.1.6. Traitement des données Sédimentaires :

Les données sédimentaires ont été utiles pour le calcul du transport sédimentaire au niveau de la zone d'étude en utilisant le D50 comme données d'entrer sur Matlab.

- Les données d'avant le projet sont issues de LEM.
- Les données de 2016 résultant du travail de OUDHA.H.
- Les données de 2017 résultats de notre travail terrain.

2.1.7. Préparation des fichiers de commande du model SWAN :

Le modèle SWAN a un langage spécifique, de ce fait les conditions de modélisation, ainsi que les donnée d'entrer et de sortie du modèle et leurs unités, doivent être définie dans un texte de commande, ce texte doit être écrit dans un fichier de format (.SWN) fourni avec le code source téléchargé de SWAN. (Figure 19)

1. Après avoir préparé le fichier (.txt) de la bathymétrie, un traitement approprié au langage spécifique du SWAN est effectué ; un tri décroissant de la colonne des latitudes(X) et un tri croissant de la colonne des longitudes (Y) puis les cellules vides qui correspondent à la terre (bathymétrie 0) sont remplacées par -999,000.
2. La colonne des variations bathymétriques va être copiée vers une feuille .txt on remplaçant les virgules par des points.

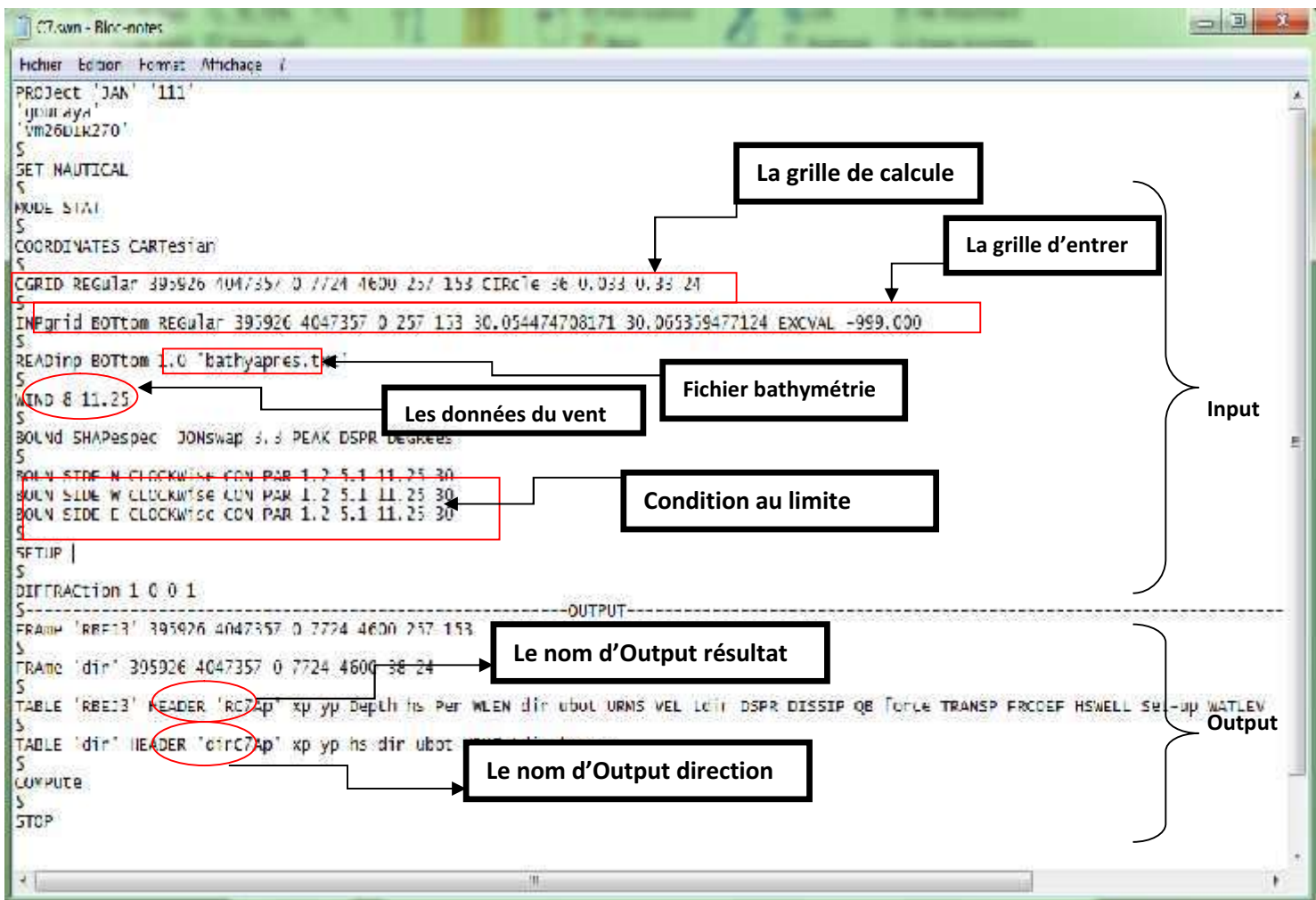


Figure 6: fichier de commande du modèle SWAN

2.1.8. Données de sortie du modèle utilisé :

Nous avons plusieurs données de sortie de SWAN dont les plus importantes pour notre étude sont la hauteur significative de la houle, l'énergie de la houle, la surélévation, l'énergie transmise, la force de la houle au déferlement, les courants de dérive littorale, les courants orbitaux et le transit sédimentaire.

2.2. Mesure du courant de dérive et du transit sédimentaire :

Les calculs de ces deux paramètres ont été effectués en utilisant MatLab à partir des résultats de sortie de Swan accompagné par des données du D50 et de l'aspect du rivage.

2.2.1. Courant de dérive littoral

Lorsque les vagues atteignent une certaine obliquité dans la plage, elles génèrent un courant linéaire parallèle au rivage appelé dérive Long-shore.

La vitesse de la dérive littorale dépend de plusieurs facteurs : la période, l'angle d'incidence de la houle, par rapport au rivage, la zone de déferlement des vagues, la pente en pourcentage et la rugosité du fond.

Pour estimer la vitesse de dérive de Long-shore, il existe deux formules qui sont souvent confirmés par des mesures de vérification réalisées sur le terrain.

- La formule de Longuet-Higgins (1970) modifiée par la C-E.R.C. (Coastal Engineering Research Centre des États-Unis) (Paskoff, R. 1994), donnée par :

$$u = 20,7 \sqrt{gHpsin2\alpha} \quad (7)$$

- La formule de Putnam, Munk et Traylor (1949), édité par J. Larras (Larras, J. 1979):

$$u = 2,58 \sqrt[3]{\frac{gH^2}{r} + psin2\alpha} \quad (8)$$

Nous avons utilisé ces deux formules pour calculer la vitesse du courant de dérive.

2.2.2. Transport de sédiments

La dérive littorale provoque généralement un transport sédimentaire parallèle au rivage.

Ces mouvements peuvent entraîner une érosion ou une accumulation significative à l'échelle locale ou régionale (Manuel, S. P. 1984), cette variation peut alors influencer la propagation des ondes et vice versa.

Chapitre III : Modélisation numérique des courants côtiers par un modèle Hydrodynamique

Pour estimer le transport sédimentaire du littoral, nous avons utilisé la formule du Laboratoire central français de l'hydraulique (L.C.H.F).

$$Q = \frac{1.8 \cdot 10^{-6}}{\bar{d}} \frac{gT^2t}{X_0} \sin 2\alpha \quad (9)$$

Avec :

Q : volume de la charge transportée en m³ pendant le temps d'action t,

G : accélération de la pesanteur,

T : période d'onde en secondes,

H : hauteur de l'onde de rupture,

X₀ : est l'ondulation de la cambrure dans les eaux profondes et α est l'angle d'incidence de l'onde par rapport au littoral

2.3. Présentation des résultats :

Nous avons programmé un modèle de traitement et d'affichage des résultats obtenues en sortie de SWAN à l'aide de l'outil de programmation intégré sur ArcGIS (python scripte) (Figure 20).

- au final tous ces résultats ont été cartographiés sous ArcGIS, en utilisant un modèle « swanview », qu'on a programmé.

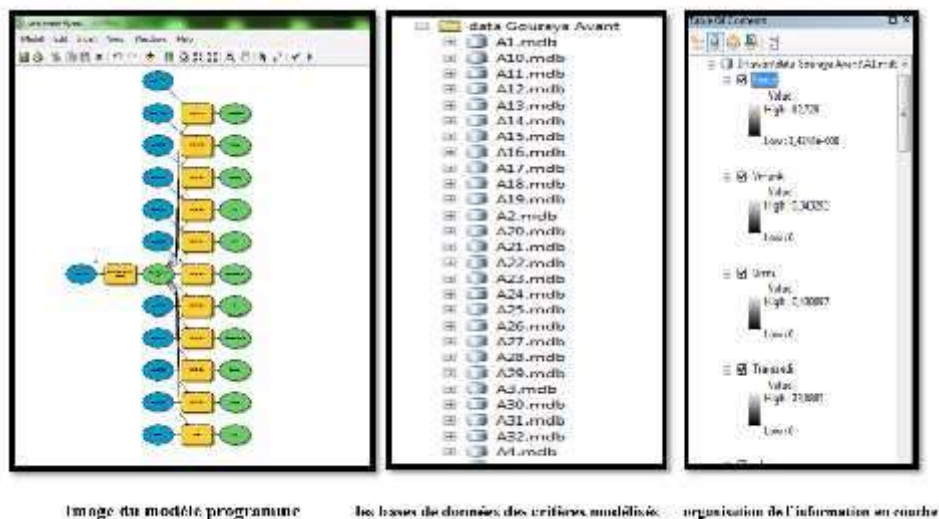


Figure 7 : les étapes suivies pour la présentation des résultats

Vue le nombre important de carte plus que 1000 cartes, Les cartes réalisées ont été exportés dans 32 bases de données tabulaires de format Access .chaque base de donnée comprend les résultats d'un des 32 états de la houle enregistré durant 21 ans.

Analyse Spatial des résultats :

Vue le volume important des informations et afin de mieux interpréter les résultats, nous avons choisi d'effectuer une analyse statistique spatiale avec une étude spatiotemporelle.

Calcul de moyenne pondérer (de 21ans) :

Cette partie consiste à calculer les moyenne pondérée, variance et le maximum concernant cinq caractéristiques physiques de la houle avec celle des courants orbitaux et des courants de dérive littoral ainsi que celles des transit sédimentaire , pour cela nous avons utilisé le module d'analyse spatial Map-algebra, sous ArcGIS .

- Formule pour le calcul de la moyenne pondérée :

$$m = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{32} n_i X_i \quad (10)$$

Avec i : Chaque condition de la houle :

N : Nombre de jours total = 4559 jours.

n_i : Nombre de jours correspond au cas i

- Formule pour le calcul de la variance :

$$VAR = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{32} F_i N X_i^2 - N m \quad (11)$$

Pour bien mener notre étude spatiotemporelle, nous avons choisi 12 points bien repartis dans la plage et autour des ouvrages de protection. Les informations concernant les moyennes, les variances et les maximums des vitesses de courant orbital et des courant de dérive littoral ont été extraire sous Arcgis avec d'autre résultats de l'énergie de la houle et du transit littoral afin de réaliser des courbe d'évolution temporelle (figure 21)

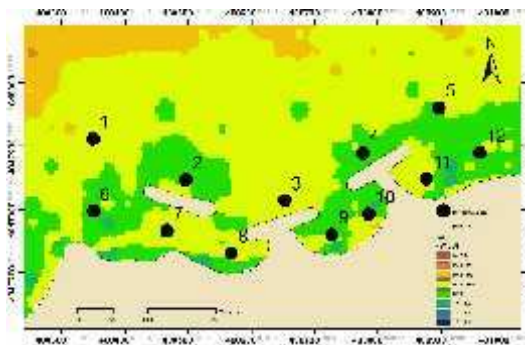
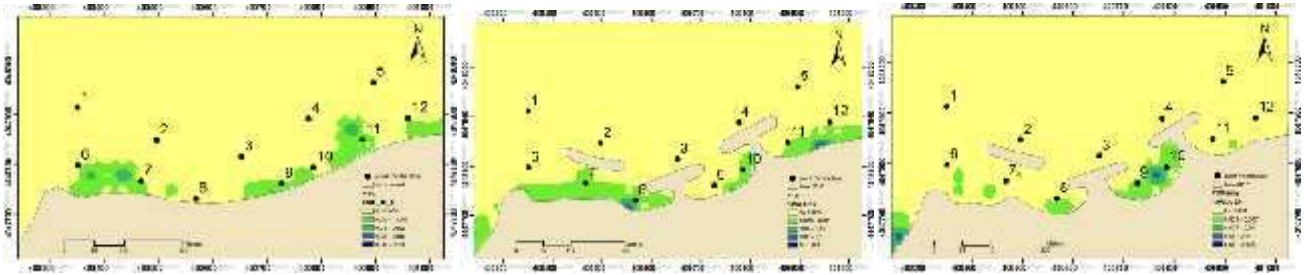


Figure 8: carte illustrant les 12 point d'extraction utilisé pour tracer les courbes d'évolution

3. Résultats et discussion :

- Le courant de derive littoral :



2009

2016

2017

Figure 9 : cartes des moyennes pondérées de courant de dérive à bois sacré

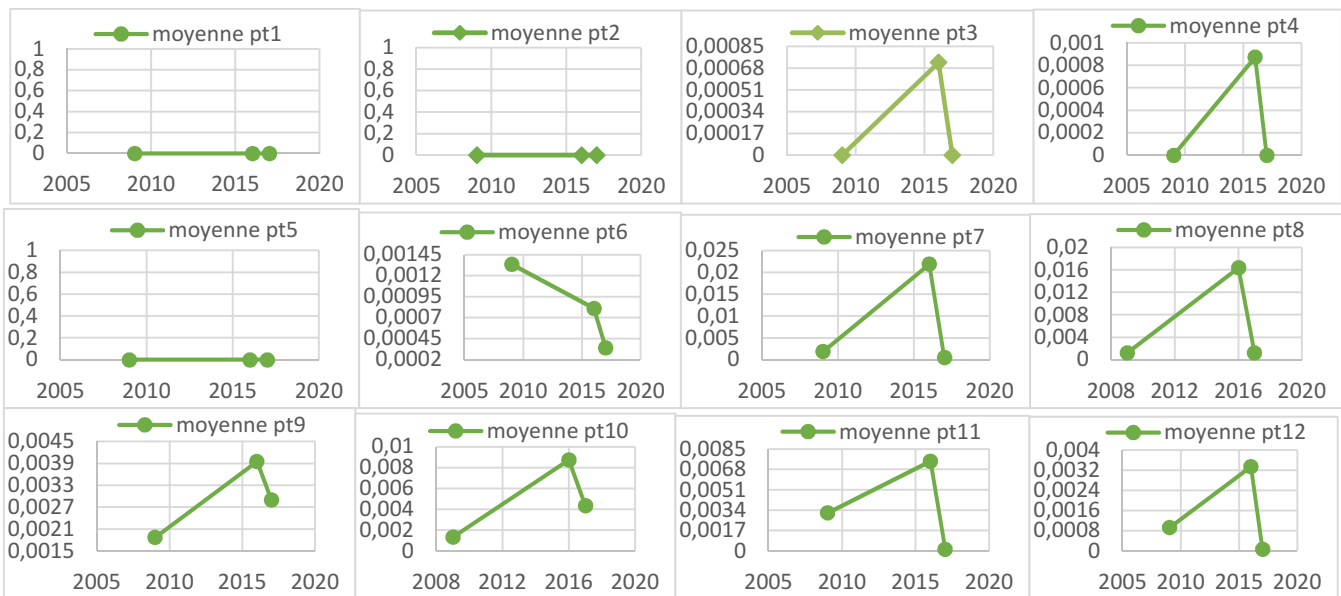


Figure 10 : Les représentations graphiques des moyennes pondérées de courant de dérive pour chaque station

Les cartes de variations spatiotemporelle du courant de dérive, réalisée en 2009-2016 et 2017, a montré une différence de son évolution au niveau de la plage de bois sacré avant et après la mise en place des brise lames, dont la tendance générale a montré une accélération de la vitesse moyenne après l'implantation des ouvrages en 2016 jusqu'à atteindre une valeurs de 0,3m/s cela est confirmé par les graphes au niveau des points 3, 4, 7, 8, 9, 10, 11 et 12, puis elle diminue a 0,09m /s en 2017 dans tous les stations .Avant la réalisation des ouvrages en remarque une très faible dérive a l' exception au niveau de la station 6 dont la vitesse était d'environ 0,0012m/s et diminue en 2017 a environ 0.0003m/s.

- Les résultats de la vitesse maximale de courant de dérive

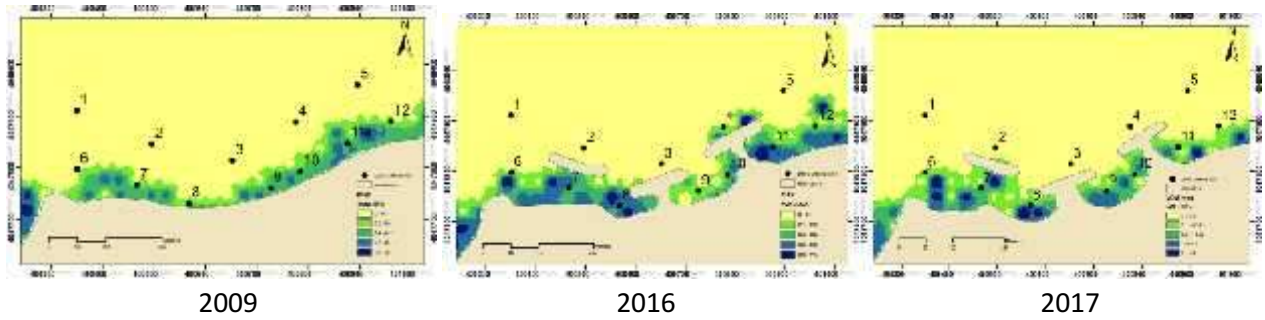


Figure 11: cartes des vitesses maximums de courant orbital à bois sacré



Figure 12: Les représentations graphiques des vitesses maximums de courant de dérive pour chaque station.

Les graphes de la vitesse maximale du courant de dérive montrent que les valeurs maximales sont observées en 2016. Les stations 1, 2 et 5 montrent des valeurs presque qui tendent vers le 0 vu qu'ils se trouvent en dehors de la zone de déferlement.

On remarque une forte augmentation de la vitesse maximale du courant de dérive après l'installation des ouvrages dans la station 8 située entre les deux brise lames ; ouest et centre, dont la valeur a augmenté de 0.2 à 0.6 m/s. Ainsi en générale on observe une augmentation des valeurs maximales le long de la cote après l'installation des ouvrages.

Chapitre III : Modélisation numérique des courants côtiers par un modèle Hydrodynamique

- Les résultats de la vitesse moyenne du courant orbital :

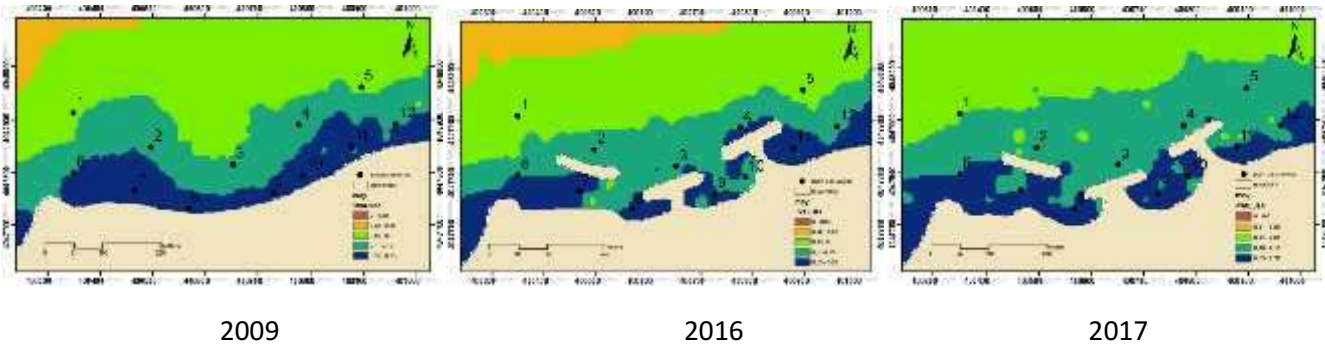


Figure 13: cartes des moyennes pondérées de courant orbital à bois sacré.



Figure 14: Les représentations graphiques des moyennes pondérées du courant orbital pour chaque station.

L'analyse de l'évolution spatiotemporelle du courant orbital dans la zone d'intérêt a donné un comportement différent de la vitesse moyenne des courants orbitaux au niveau des stations 5 et 12 situées à l'Est de la plage par rapport aux autres stations ; une baisse en 2016 puis une augmentation en 2017 pour la station 5 et une tendance d'augmentation en 2016 et 2017 pour la station 12. Tandis que pour les autres stations la tendance générale de la moyenne de courant orbitale est la baisse de la vitesse moyenne entre 2009 et 2017. Cette diminution est due à la dissipation de la houle par les ouvrages de protection vu que le courant orbitale dépend essentiellement de la hauteur de la houle.

Chapitre III : Modélisation numérique des courants côtiers par un modèle Hydrodynamique

- Résultats des Courant orbital maximal :

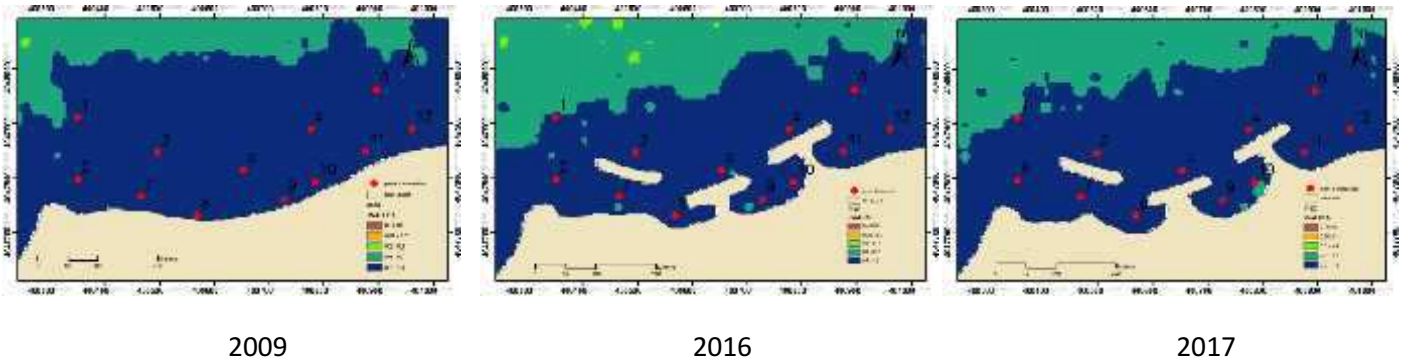


Figure 15: cartes des maximums de courant orbital à bois sacré

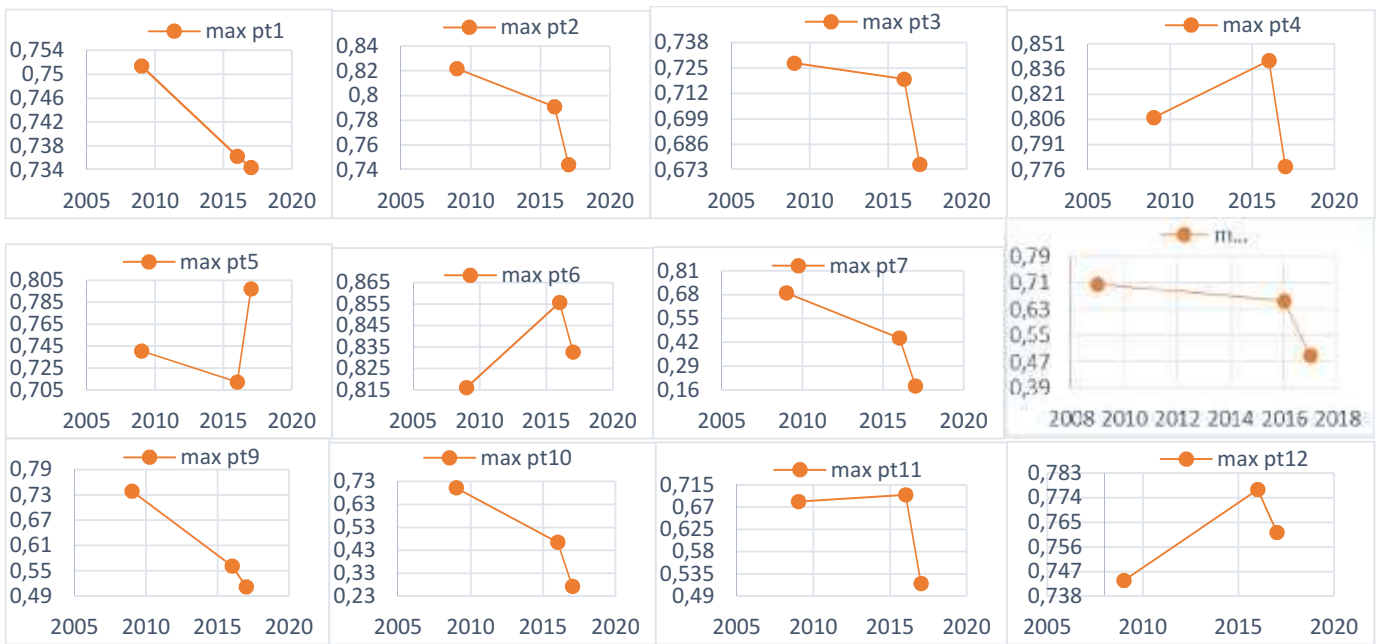


Figure 16: Les représentations graphiques des maximums de courant orbital pour chaque station

Les vitesses maximal du courant orbital on suivie la même évolution que les vitesses moyennes, sauf pour les stations 4, 6, 11 dont on observe des valeurs maximale très élevée entre 2009 et 2016.

Entre 2016 et 2017 on remarque une augmentation des vitesses maximales de courant dans la partie ouest de la plage et une diminution dans la partie Est de la plage.

L'étude spatiotemporelle de l'énergie de la houle transmise moyenne a montré une évolution décroissante pour les stations 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 11 entre 2009 et 2017, tandis que l'évolution au niveau de la station 12 est croissante.

L'énergie transmise au niveau de la station 5 a connu une diminution pour atteindre une valeur moyenne d'environ 1 kW/m en 2016 puis elle augmente en 2017 contrairement à la station 6 où l'énergie transmise moyenne augmente en 2016 jusqu'à 1.14kW/m puis elle diminue en 2017 à 1.06 kW/m.

En ce qui concerne les variations maximales de l'énergie transmise diminue dans les stations 5, 7, 8, 9 et 10.

Pour les stations 1, 2, 6, 11 et 12 on assiste une augmentation de l'énergie transmise maximale entre 2009 et 2016 puis elle diminue en 2017. En revanche, une diminution en 2016 puis une augmentation en 2017 au niveau des stations 3, 4, et 8.

Chapitre III : Modélisation numérique des courants côtiers par un modèle Hydrodynamique

- **Energie de la houle par unité de surface :**

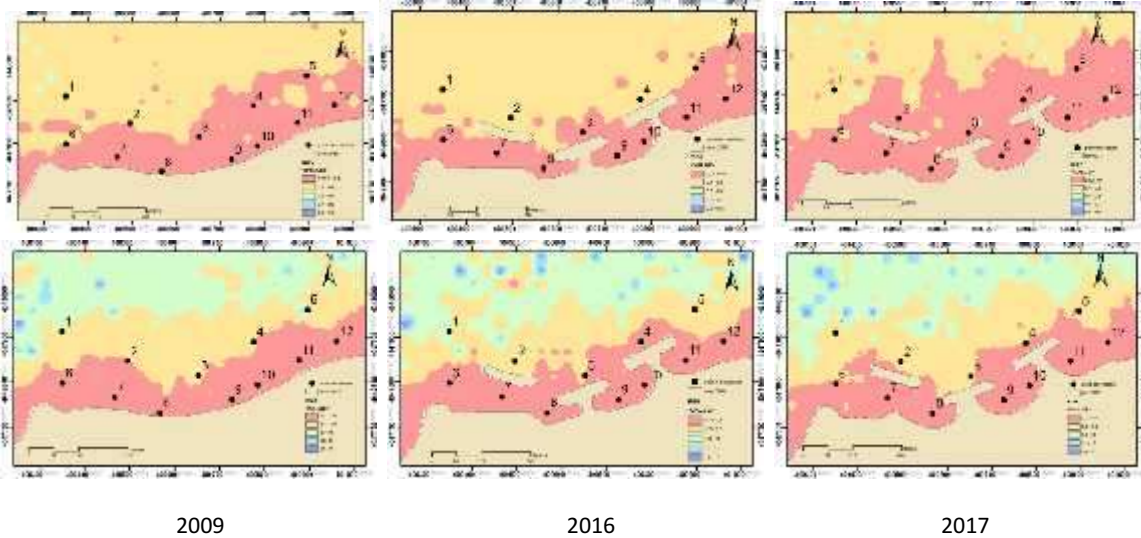


Figure 19: cartes des moyennes pondérées et des maximums de l'énergie de la houle par unité de surface à bois sacré

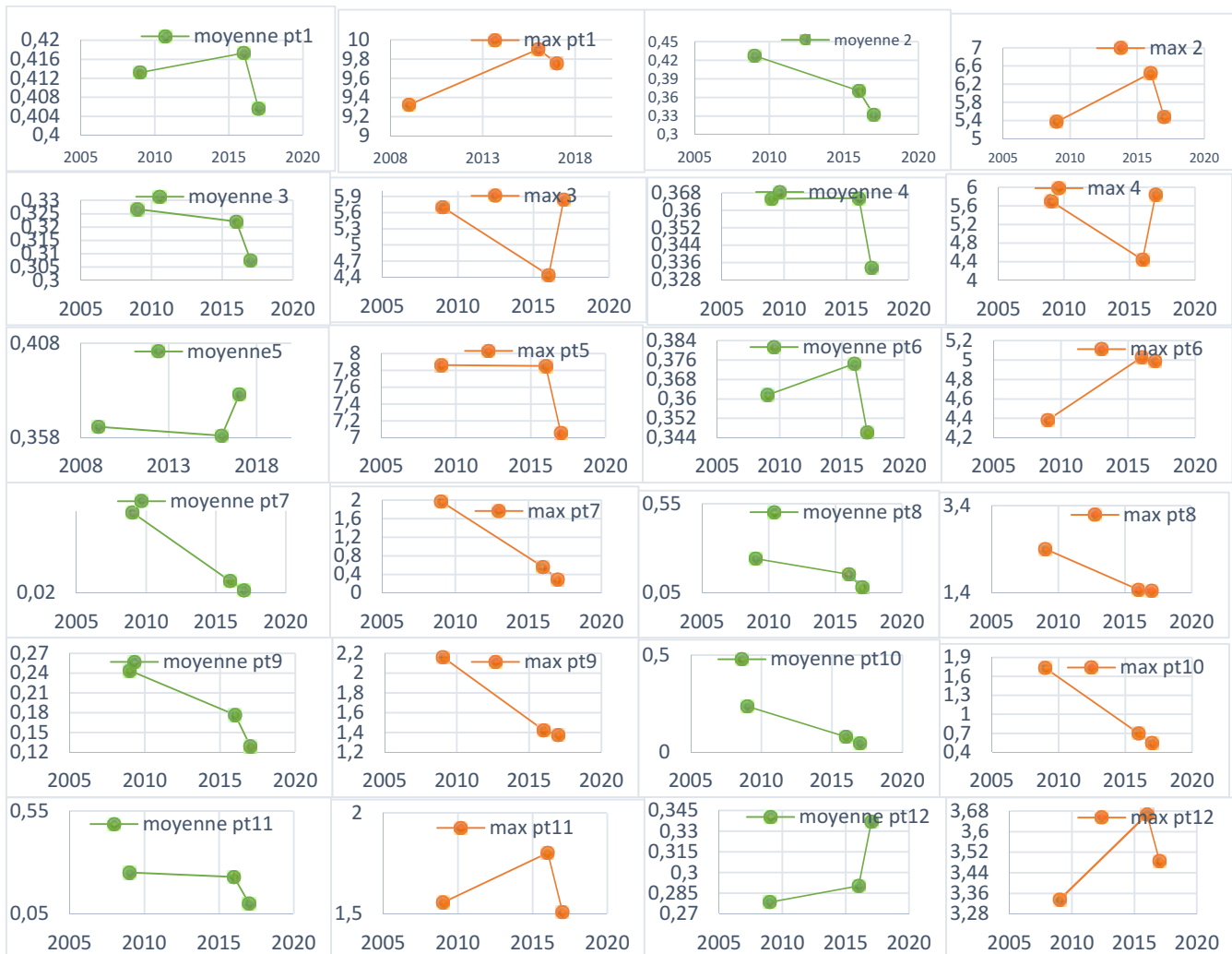


Figure 20: les représentations graphiques des moyennes pondérées et des maximums de l'énergie de la houle pour chaque station

Chapitre III : Modélisation numérique des courants côtiers par un modèle Hydrodynamique

Ces résultats montrent une forte augmentation de l'énergie moyenne de la houle au niveau de la station 1, 4 et 6 jusqu'à une valeur moyenne qui dépasse 0.4 kJ/m^2 en 2016 puis elle diminue en 2017 contrairement à la station 5 qui montre une diminution en 2016 puis une élévation en 2017. Alors au niveau des stations 7, 8, 9, 10 et 11 cette énergie moyenne de houle diminue entre 2009 et 2017.

Cependant, les résultats montrent une augmentation des valeurs maximales d'énergie de la houle et au niveau des stations 1, 2, 5, 6, 11 et 12 en 2016 puis elle diminue en 2017. En revanche ; une diminution en 2016 et élévation en 2017, pour les stations 3 et 4.

Au niveau des stations 7, 8, 9 et 10 à l'abri du brise-lames les valeurs maximales de l'énergie de la houle diminuent entre 2009 et 2017 par l'effet de présence des ouvrages de protection dont le rôle est d'atténuer l'énergie de la houle.

- **Résultats du Transit sédimentaire moyen :**

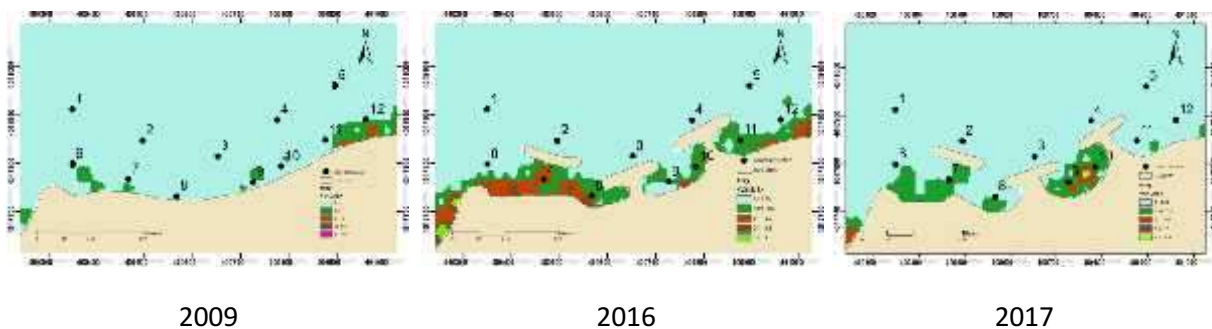


Figure 21: cartes des moyennes pondérées de transit sédimentaire à Bois Sacré.

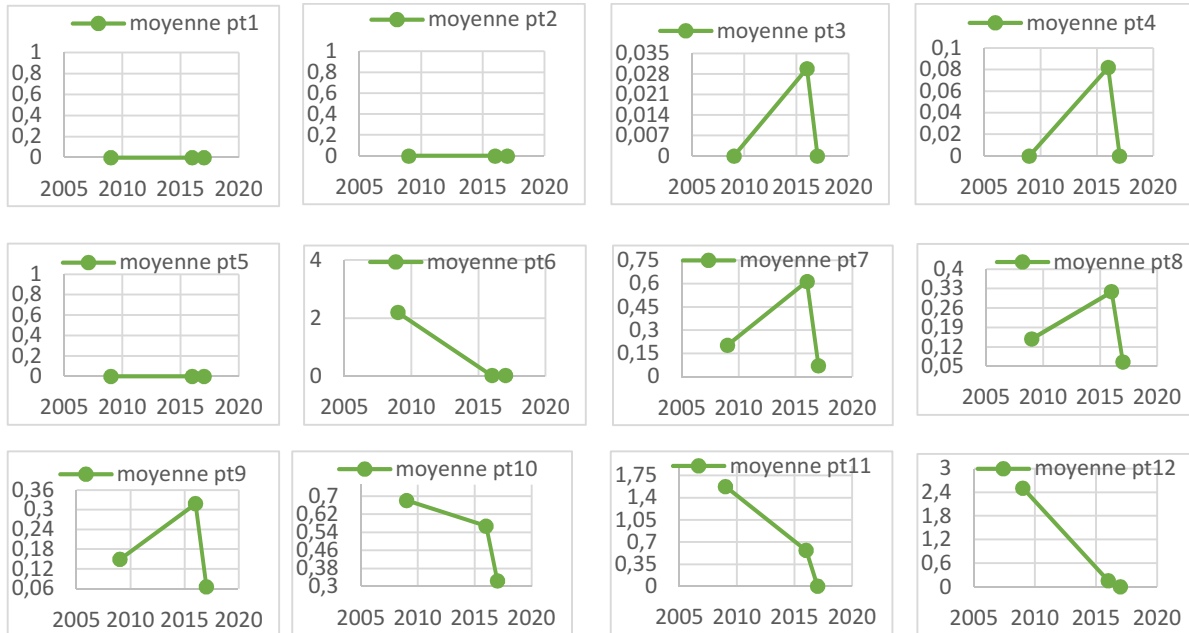


Figure 22: les représentations graphiques des moyennes pondérées de transit sédimentaire pour chaque station.

Chapitre III : Modélisation numérique des courants côtiers par un modèle Hydrodynamique

La côte de Gouraya présente des formes d'érosion littorale, caractérisées par un rétrécissement des plages de sable et un recule au niveau de la falaise rocheuse.

Les cartes du transit sédimentaire de l'année 2009, 2016, 2017 montrent qu'il y a une variation dans la dynamique sédimentaire de la plage de bois sacré cela est confirmé par la représentation graphique au-dessous.

Les stations 1, 2 et 5 on a enregistré un transport sédimentaire presque nulle durant les trois années car elles se situent en dehors de la zone de déferlement, comme on a aussi remarqué une augmentation moyenne dans les stations 3, 4, 7, 8 et 9 en 2016 puis elle diminue en 2017.

Alors qu'au niveau des stations 6, 10, 11 et 12 on remarque une forte diminution du transit sédimentaire entre 2009 et 2017.

- **Résultats du transit sédimentaire maximale :**

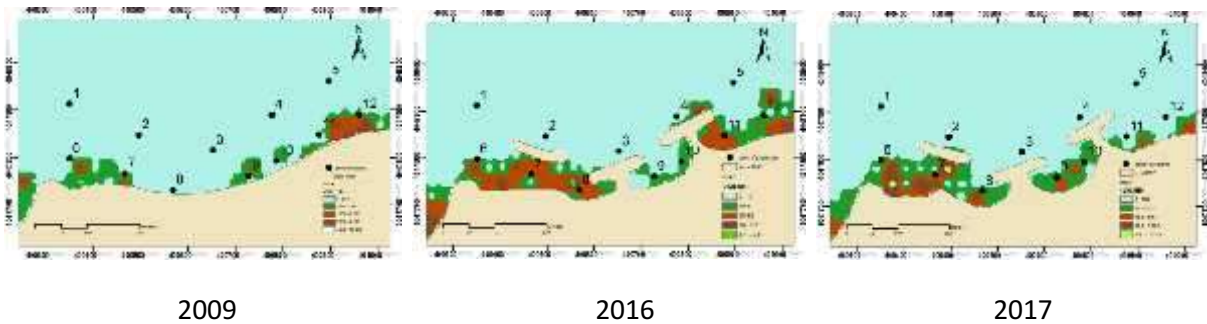


Figure 23: cartes des maximums du transit sédimentaire a bois sacré bois sacré

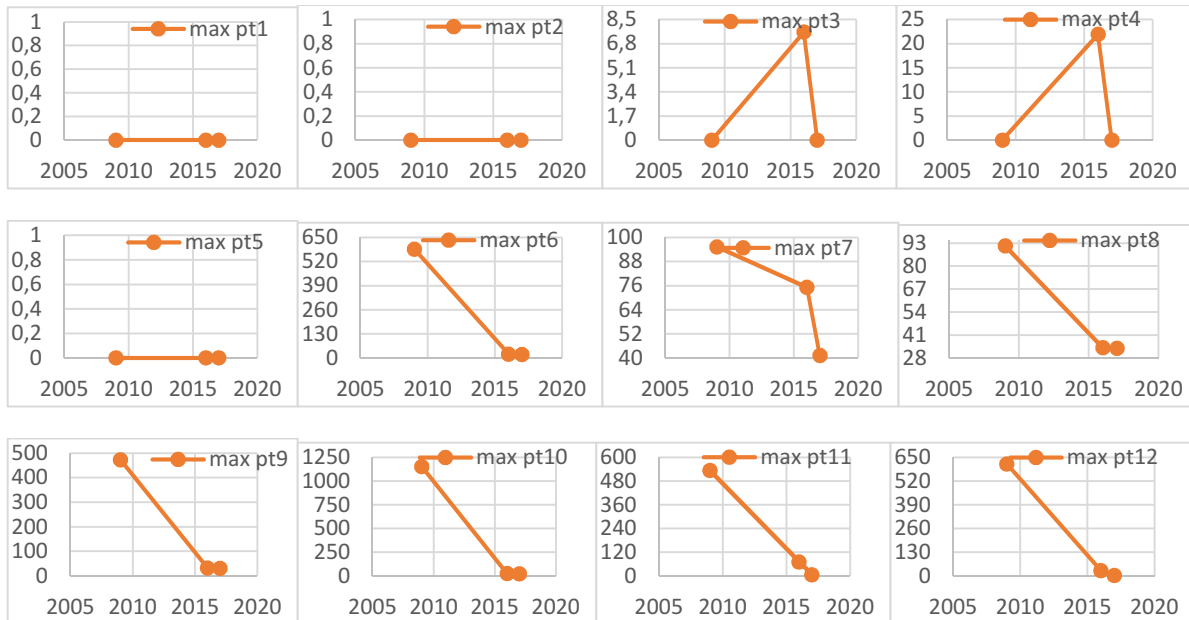


Figure 24: les représentations graphiques des maximums de transit sédimentaire pour chaque station.

Les cartes de la dynamique du transit sédimentaire maximale montrent qu'il y a une variation dans les taux des sédiments déplacés dans la zone d'étude ou on a une forte augmentation au niveau des points 3 et 4 avec une valeur maximale d'environ 23 m^3 En 2016 puis diminution accélérée en 2017 jusqu'à atteindre une valeur minimale (presque nulle), cela est expliqué par le fait de la morphologie sous-marin de la zone.

Au niveau des stations 6, 8, 9, 10, 11, 12 on assiste à une forte diminution des valeurs maximales du transit sédimentaire entre l'année 2009 et 2017

Conclusion :

La modélisation numérique des processus hydrodynamique nous a permis de conclure que l'implantation des ouvrages de protection à la plage de bois sacrées a affecté tous les processus hydro sédimentaires de la zone par modification des paramètres physiques de la houle ce qui engendre par la suite des modifications de la dynamique sédimentaire , traduit par les fortes variations des courants de dérive, et des courants orbitaux, de l'énergie de la houle et de transit sédimentaires de la zone.

Les vitesses des courants est fortement diminuer au niveau de la plage de bois sacré, mais les ouvrages de protection n'ont pas seulement diminuer les courants, ils ont constitué un barrage qui empêche les sédiments d'alimenter la plage ou de circuler.

Cette diminution de la circulation peut constituer un risque de pollution par la stagnation des eaux et des sédiments pollués.

**Chapitre IV : Modélisation des courants
côtiers par modèle analytique des tendances
de la taille du grain**

Introduction :

Différents modèles ont été mis en œuvre pour l'analyse du transport sédimentaire dont la variation spatiale entraîne des phénomènes d'érosion ou d'accrétion.

Afin d'étudier les courants côtiers dans la zone de bois sacré, des simulations sur les tendances aux transports ont été réalisées à l'aide du modèle GSTA (Grain Size Trend Analysis).

1. Modèle analytique des tendances de la taille du grain G.S.T.A :

C'est un modèle numérique développé par Gao et Colin permettra d'appréhender le transit sédimentaire sous l'action de l'hydrodynamisme côtier, ce modèle fournit les directions préférentielle de transport sédimentaire sur la base des filiations inter-granulaires établies par comparaison du grain moyen, de classement et de l'asymétrie (GAO, S., & COLLINS, M. B., 1994)

2. Donnée d'entrée :

Les données utilisées dans la modélisation du transport sédimentaire on utilisant le modèle GSTA :

1. Les indices granulométriques (D_m , S_o , S_k).
2. La distance critique (D_{cr}) entre les échantillons ; cette valeur représente généralement la distance maximale séparant deux points voisins afin d'inclure le maximum de points dans le calcul des vecteurs de transport.
3. Le nombre des stations de prélèvement.
4. Le Coefficient qui dépend du type des coordonnées choisies, dans le cas des coordonnées métriques en prend le numéro un (1)

3. Etudes granulométrique :

Après avoir obtenu tous les échantillons nécessaires aux déroulements des travaux au laboratoire (chp. III, 2.1.3), nous avons procédé à différentes analyses granulométrique et calcimétrique.

Les analyses des sédiments sont déroulées au sein du laboratoire de l'ENSSMAL.

L'analyse granulométrique d'un sol consiste à déterminer la proportion des diverses classes de grosseur des particules. Elle permet de suivre le mouvement sédimentaire leur distribution et dépôt gouverner par la courantologie de la zone.

3.1. Principe et méthode :

L'analyse granulométrique consiste à classer les différents grains d'un échantillon en utilisant une série de tamis ou passoires, emboîtés les uns sur les autres, dont les ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas selon la norme AFNOR, afin de déterminée les pourcentages de chaque classe de tailles contenant dans chaque échantillon.

3.2. Mode opératoire :

Pour chaque station, une fraction de l'échantillon est mise dans une tare et placée dans une étuve à 105°C pendant 24h. Ensuite, on pèse 200g (P1) du sédiment sec que l'on rince sous l'eau dans un tamis de 40µm de diamètre afin de soustraire la fraction fine pelitique. Les échantillons (sans pelite) sont remis à l'étuve pendant 24h également sous une température de 105°C.

A la fin de cette opération, les échantillons sont pesés une deuxième fois (P2) afin de calculer le taux de la fraction fine.

On procède ensuite à un tamisage qui consiste à passer les poids (P2) obtenus dans une série de tamis (AFNOR) emboîtés les uns sur les autres dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes de haut vers le bas pour unité de micron (1600, 1400, 1000, 800, 630, 500, 400, 315, 250, 200, 180, 160, 140, 100, 80, 63, 50, 40).

Après 10min de tamisage à une fréquence de 45 HZ. On obtient dans chaque tamis une fraction des sédiments appelée Refus.

A l'aide d'une balance de précision on pèse le refus de chaque tamis.

Cette méthode est résumée par le diagramme illustré dans la figure 40



Figure 38: matériel utilisé dans l'analyse granulométrique (A : balance de précision, B : étuve, C : boîte de pétrie-pissette-couteau-pinceau).

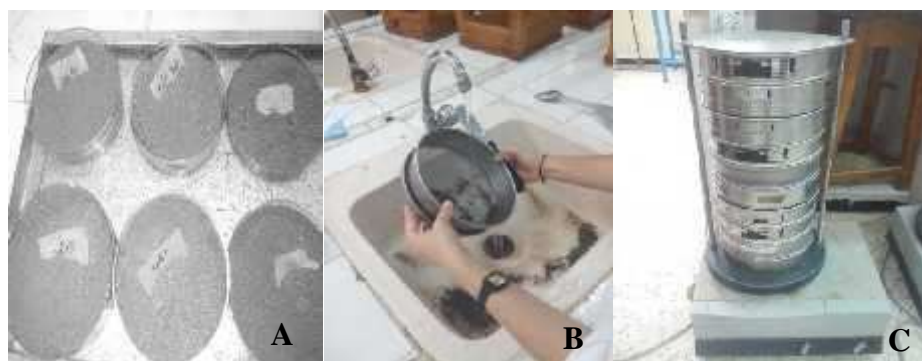


Figure 39: les étapes de l'analyse granulométrique : A : récupération des échantillons, B : élimination de la fraction pelitique, C : tamisage

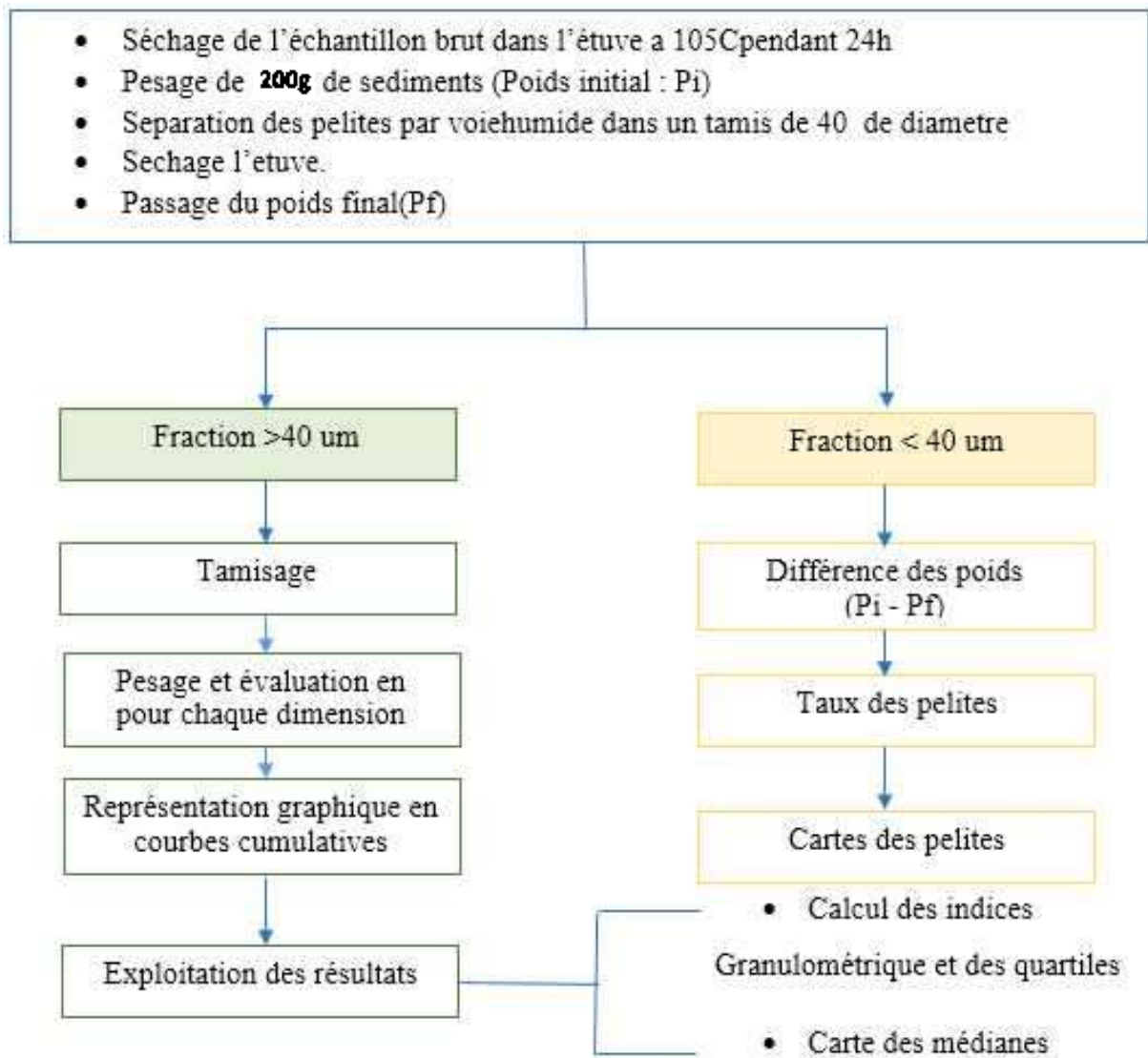


Figure 40 : diagramme de l'analyse granulométrique.

4.3. Calculs des paramètres et des indices granulométriques :

Pour la Modélisation des courants côtiers par modèle analytique des tendances de la taille du grain G.S.T.A, il est nécessaire de calculer les différents indices granulométriques pour les 18 échantillons.

L'étude granulométrique nous a aussi permis d'effectuer une étude spatio-temporelle de l'évolution morpho-sédimentaire, afin d'avoir une idée sur la tendance générale des courants avant et après l'installation des brise lames.

4.4. Résultats et discussions

4.4.1. Résultats de la fraction fine (pelite) :

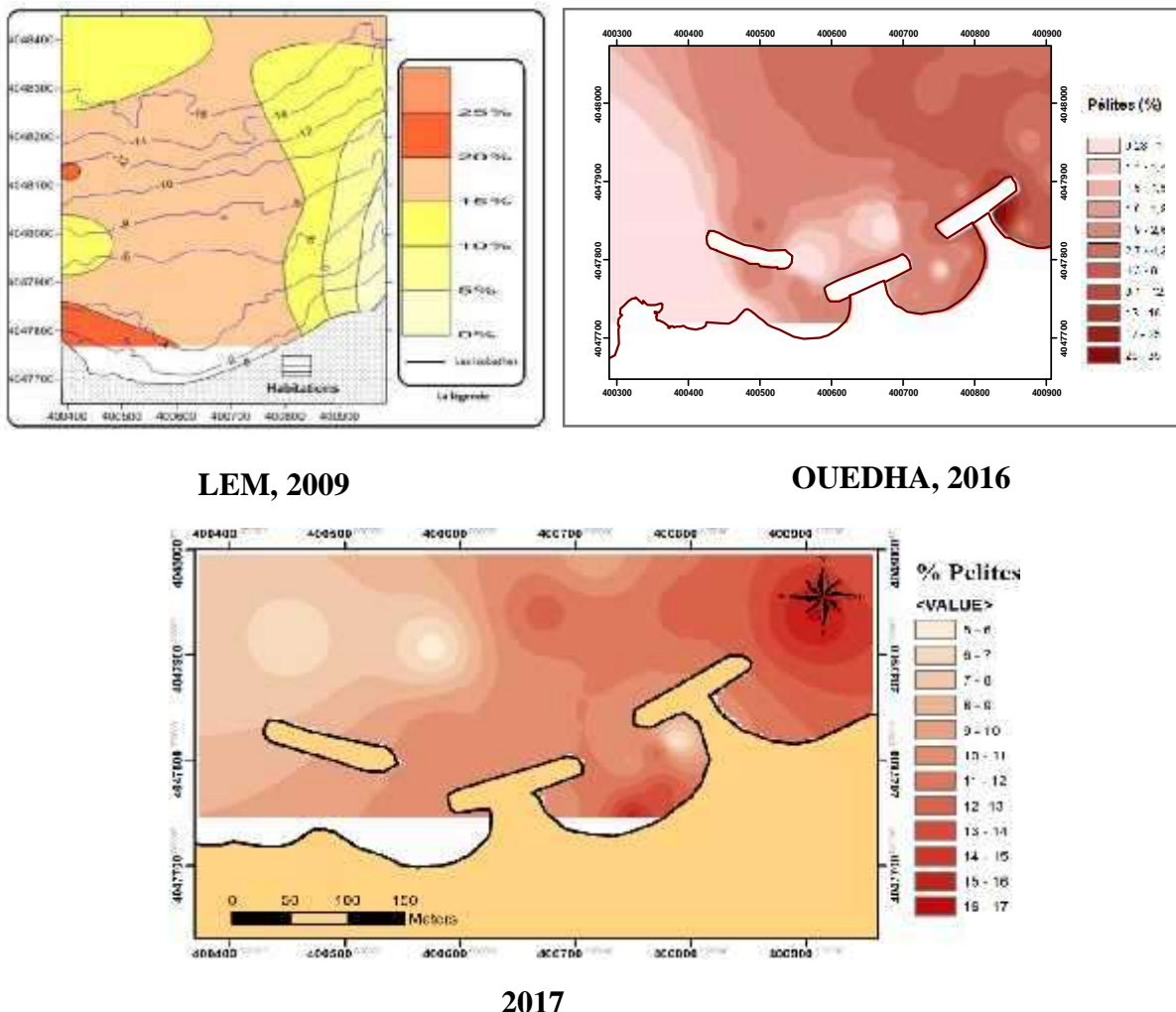


Figure 41: cartes de répartition de la fraction pélitique dans la plage de Bois sacré avant et après la réalisation du projet.

Les 3 cartes montrent la répartition spatiotemporelle de la fraction pélitique en pourcentage dans la plage de bois sacré avant et après la réalisation du projet d'aménagement, qui consiste à la mise en place d'une série de 3 brise-lames dans le but d'arrêter la déperdition des sédiments vers le large et donc protéger la plage contre l'érosion.

en 2009, avant l'installation des brise-lames, on observe un pourcentage des pélites faible d'environ 5% et qui commence à augmenter au fur et à mesure qu'on approche à la falaise Ouest pour atteindre 23% cela peut être expliqué par la courantologie de la zone dominante qui est de direction Ouest.

Après la réalisation du projet, les cartes d'isopélite de 2016, 2017 montrent une répartition presque identique de la fraction pélitique dont les pourcentages les plus élevés se trouvent près des brise-lames Est avec une teneur d'environ 13-17% et les pourcentages les plus faibles à côté de la

falaise avec des taux entre 0.28-1% en 2016, cela peut être due à la forte activité hydrodynamique auprès de cette falaise.

En générale, la répartition après l'installation des brise lame a subi une très grande modification, ce qui explique l'impact de ces brise lames sur la modification des courant côtier.

4.4.2. Résultats de la fraction grossière :

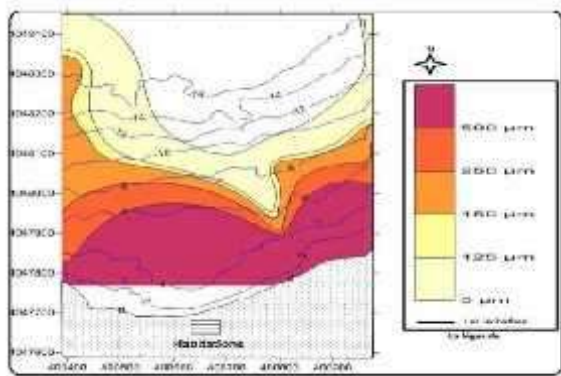
Les Quantiles :

Les cartes présentent dans cette partie sont établis à partir des quartiles granulométrique tirées des courbes cumulative, elles montrent la répartition spatio-temporelle des sédiments dans la zone d'étude.

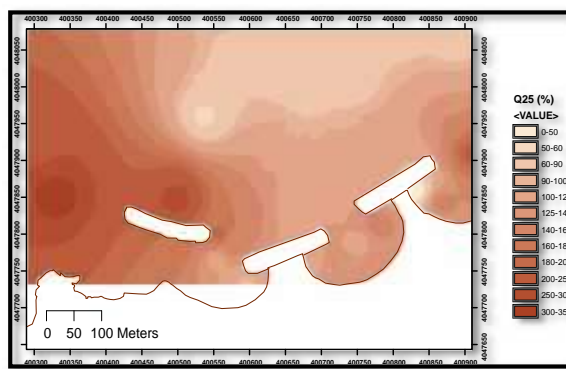
Remarque :

Le calcul des différents indices granulométriques et les paramètres qui permettent de caractériser la distribution granulométrique des sédiments est fait en premier lieu à l'aide d'un programme Matlab qui nous a donné un résultat biaisé ce qui nous mène à refaire les calculs manuellement sous Excel.

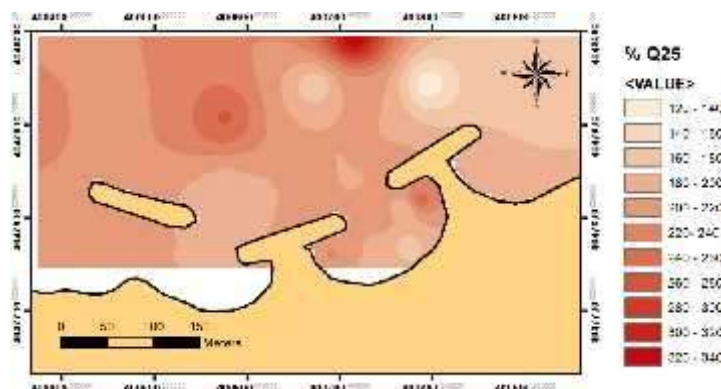
Le quartile inférieur (Q25) :



LEM, 2009



Ouedha, 2016



2017

Figure 42 : cartes de répartition du quartile inférieur (Q25) dans la plage de Bois sacré avant et après la réalisation du projet.

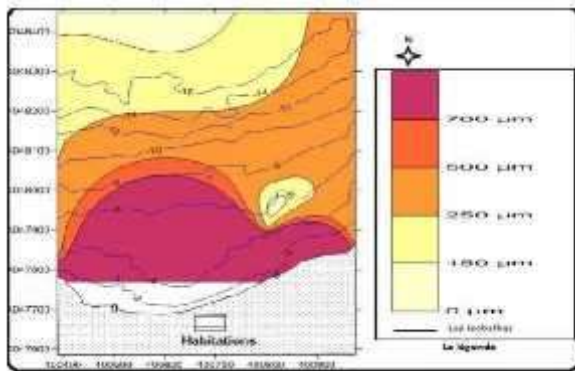
Chapitre IV : Modélisation des courants côtiers par modèle analytique des tendances de la taille du grain G.S.T.A

La répartition de Q25 en 2009 est plus en moins régulière, les valeurs varient entre 120 et 550 μm , avec une dominance toujours de diamètre très fine au large (0-125 μm) et des diamètres grossier à l'extrémité de la cote >500 μm dans les profondeurs qui ne dépassent pas les 7m. (Abdelalime, 2012)

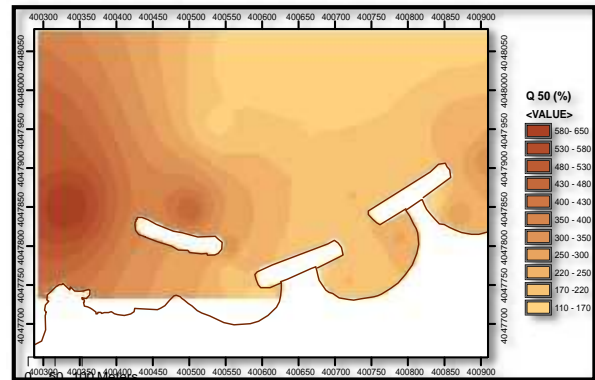
La distribution de Q25 en 2017 suit la même tendance que celle de 2016 avec des valeurs de diamètre différentes, où en 2017 25% de sédiment dont le diamètre compris entre 120 et 200 μm se trouvent dans le coté Est tandis que à l'Ouest 25% ont un diamètre compris entre 220-280 μm .

Après l'installation des brises lames on remarque que les pourcentages des Q25 ont été fortement diminué au près des côtes plus pressement dans la partie Est de la plage.

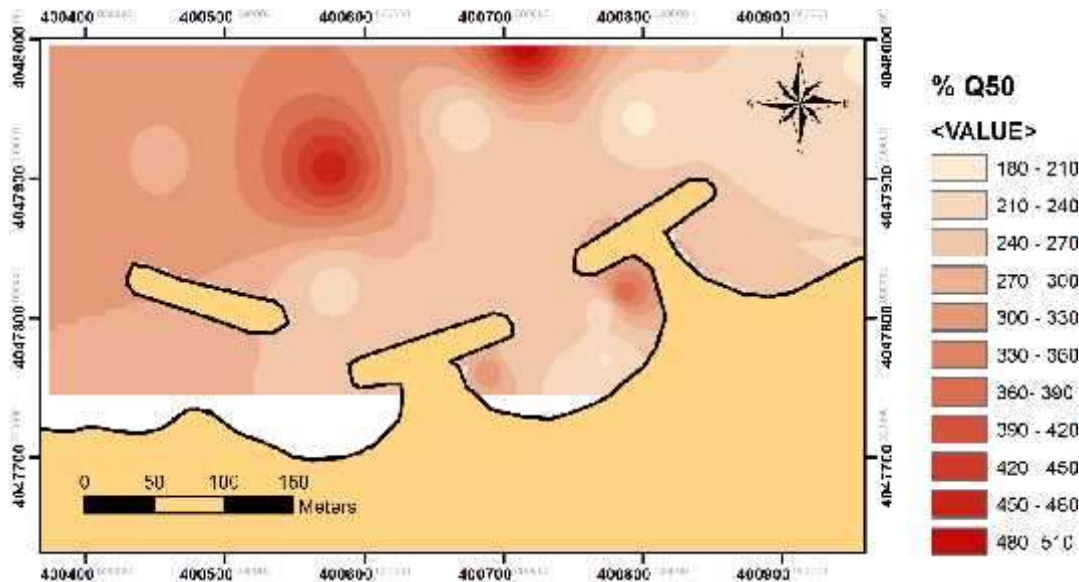
Le quartile médian (Q50) :



LEM, 2009



OUEDHA, 2016



2017

Figure 43 : cartes de répartition de la médiane (Q50) dans la plage de Bois sacré avant et après la réalisation du projet.

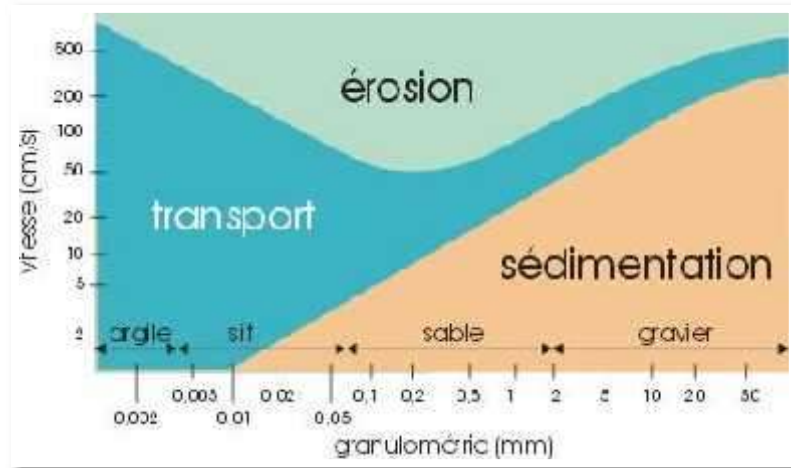


Figure 46 : Diagramme d'Hjulstrôm

- Calculs des indices granulométriques

3.4.4. Indice de tri S_0 :

Appelé également « sorting de trask » et noté S_0 , cet indice représente la dispersion des tailles de part et d'autre de la médiane. Cet indice est l'une des données d'entrée nécessaire pour l'exécution du modèle GSTA avec le Sk et le $D50$.

$$S_0 = \sqrt{\frac{Q75}{Q25}} \quad (12)$$

Table 2 : Classement des sédiments selon l'indice de trask (S_0).

Les valeurs de S_0	Le classement
$S_0 < 1$	Sédiment très bien classé
$1 < S_0 < 2.5$	Sédiment bien classé
$2.5 < S_0 < 3$	Sédiment normalement classé
$3 < S_0 < 4$	Sédiment mal classé

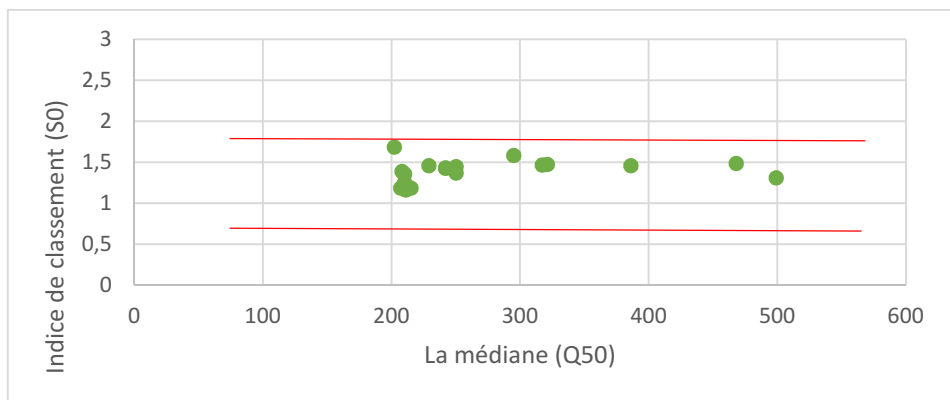


Figure 47 : relation entre l'indice de classement et la médiane

Dans notre zone d'étude, les valeurs de S_0 calculées varient entre 1.16 (station 14) et 1.68 (station 02) « voir annexe S_0 sk ». Elles sont donc comprises entre 1 et 2.5, qui traduisent un bon classement des sédiments.

4.4.5. Indice d'asymétrie ou indice de skewness (SK) :

Cet indice indique le tri d'un sédiment par rapport à la médiane, il informe sur l'homogénéité et l'évolution du sédiment. Il est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$SK = \frac{Q_{25} \cdot Q_{75}}{Q_{50}^2} \quad (13)$$

Table 3 : Classement des sédiments selon l'indice de Skewness

La valeur de Sk	L'asymétrie
$Sk < 1$	Classement maximum vers les fines
$Sk = 1$	La symétrie est parfaite
$Sk > 1$	Classement maximum vers les grossiers

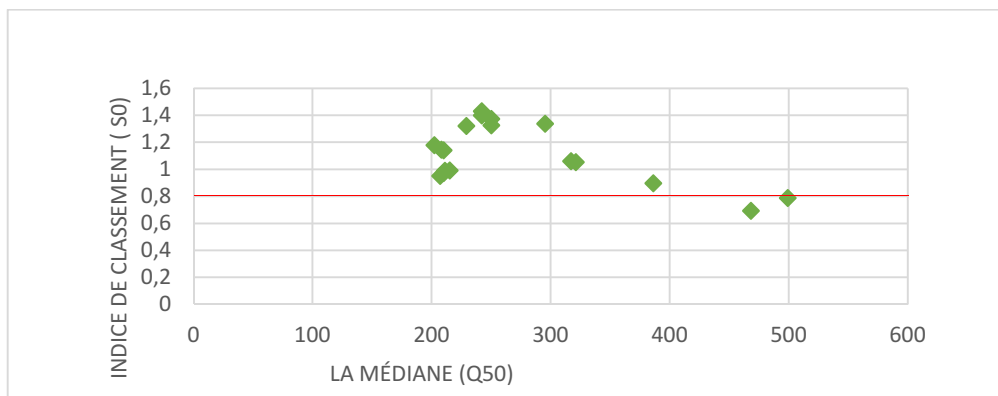


Figure 48 : Relation entre l'indice de skewness et la médiane

Le calcul de l'indice d'asymétrie nous a permis de définir :

-39% des échantillons (stations 6, 10, 11, 12, 14, 17, 18) ont un $SK < 1$, ce qui signifie que le classement des sédiments est maximale du coté fin.

-61% des échantillons (station 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 13, 15, 16) ont un $SK > 1$, ce qui veut dire que les échantillons présentent un tri maximum du coté grossier.

4. Exécution du modèle analytique des tendances de la taille du grain G.S.T.A:

Pour réaliser une carte de transport sédimentaire à l'aide d'un model GSTA on procède comme suite :

1. Ouvrir La grille d'entrée dans le modèle GSTA par surfer.
2. Enregistrer le projet Surfer sous forme « .dat ».
3. Ouvrir le model GSTA et faire entrer le nom de fichier d'entré et le nom de fichier de sortie.
4. Ouvrir le fichier créer par le model GSTA avec le bloc-note et eliminer la partie inutile et enregistre a nouveau le fichier.
5. Ouvrir le fichier format « .txt » sous Excel et enregistre-le.
6. Ouvrir le fichier Excel traité sous ArcGIS.

5. Résultats et discussions :



Figure 49 : Carte de la modélisation des courants côtiers par modèle analytique des tendances de la taille du grain G.S.T.A.

A partir des résultats obtenus de la modélisation du transport sédimentaire avec le modèle de GSTA, nous avons pu déduire que le transport sédimentaire dans la plage de bois sacré connaît un comportement toujours dynamique. On remarque une très faible corrélation entre les résultats obtenus en 2016 et les résultats obtenus en 2017.

En 27-06-2017 on remarque que le déplacement des sédiments tend vers le large, tandis qu'au 09-04-2016 les sédiments se convergent vers le centre de la plage. Cela peut expliquer que les courants qui régissent la région connaissent une forte variation journalière.

Du point de vue intensité du transit sédimentaire estimé par le modèle, les intensités enregistrés en 2016 représente presque le double de celle de 2017. Cela confirme que ces résultats doit être traité séparément, vu qu'il fournit des informations journalières qui dépendent des états de la mer enregistrés les jours qui précèdent les deux sorties de prélèvements.

Conclusion :

- L'application du modèle GSTA pour la modélisation du transit sédimentaire nous a permis de conclure que la plage de bois sacré est caractérisée par une courantologie côtière très variable.

- Vu les fortes variations dans la distribution des sédiments observés entre avril 2016 et mai 2017 on ne peut pas s'appuyer sur les résultats fournis par le modèle, pour décrire les courants au niveau de notre zone d'étude. On conclut par cela que pour une étude des courants côtiers dans la plage de bois sacré en utilisant un modèle analytique des tendances de la taille du grain G.S.T.A, il est important d'effectuer des prélèvements journaliers dans les mêmes points de mesure et durant une période importante avec une combinaison des résultats obtenus avec les données météorologiques et les données hydrodynamiques de la houle.

Le résultat obtenu par cette analyse nous a permis de décrire les directions du courant qui a dominé les jours qui précèdent nos sorties de prélèvements.

**Chapitre V : Utilisation des images
satellites pour l'étude du courant côtier**

1. Introduction :

Les observations satellitaires des phénomènes marins est désormais comme une information primordiale aux océanographes; permettant de relier la variabilité temporelle a la variabilité spatiale. Par conséquent, l'avènement de la télédétection a permis de combler cette lacune avec des informations qui couvre une grande superficie.

Les images satellitaire plus précisément les images visible offre une information spatial réel, à partir de laquelle il est possible d'observer les différent couche superficiel de l'eau de mer, plus exactement le panache turbide. Ce panache turbide représente les particules mise en suspension issu des oueds ou par l'agitation des fonds, et la dispersion de ce panache dans la mer dépend des différents courants présents dans la zone.

2. Méthodologie :

L'approche méthodologique de cette partie consiste à réaliser une étude des courants côtiers et d'apprécier au mieux sa direction, en se basant sur le suivi et l'observation du panache turbide qui résulte de la mise en suspension des dépôts sédimentaires par les courants.

Cela se fait en utilisant des images satellites ASTER, acquissent avant et après la mise en place des ouvrages de protection (brise-lames). 12 images satellitaires dont on observe un panache auprès de notre zone d'études ont été utilisées.




L'exécution des bandes visibles des images satellitaires et la composition colorée des images ont été effectuée par le logiciel Arcgis 10.3

2.1. Collecte et traitement des données :

2.1.1. Téléchargement des images satellites :

Les données utilisées pour cette étude sont des images satellitaires aster d'une haute résolution fournies par le site japonais (open source) <https://gbank.gsj.jp/madas/map/> .

Pour télécharger des images ASTER à partir du site nous avons procédé de la manier suivante :

- 1- Chercher la zone qui vous intéresse sur la carte à l'aide de la commande 
- 2- Délimiter la zone par un polygone en utilisant la commande 
- 3- Appuyez sur  pour faire un zoom sur la zone désiré.
- 4- Apres avoir bien déterminé la zone voulue, faite remplir Les information ci-dessous :

2.1.2. Affichage des images :

Les images satellitaires issues du capteur ASTER sont obtenues dans 14 bandes spectrales différentes allant du visible à l'infrarouge thermique, dont seule enregistrée dans le visible et le proche de l'infrarouge sont utilisées pour notre étude.

Les images format GeoTIFF ont été exécuté et traitées par composition coloré sous le logiciel d'information géographique Arcgis 10.3 en utilisant la commande Windows dans le ruban des commandes (figure 51).

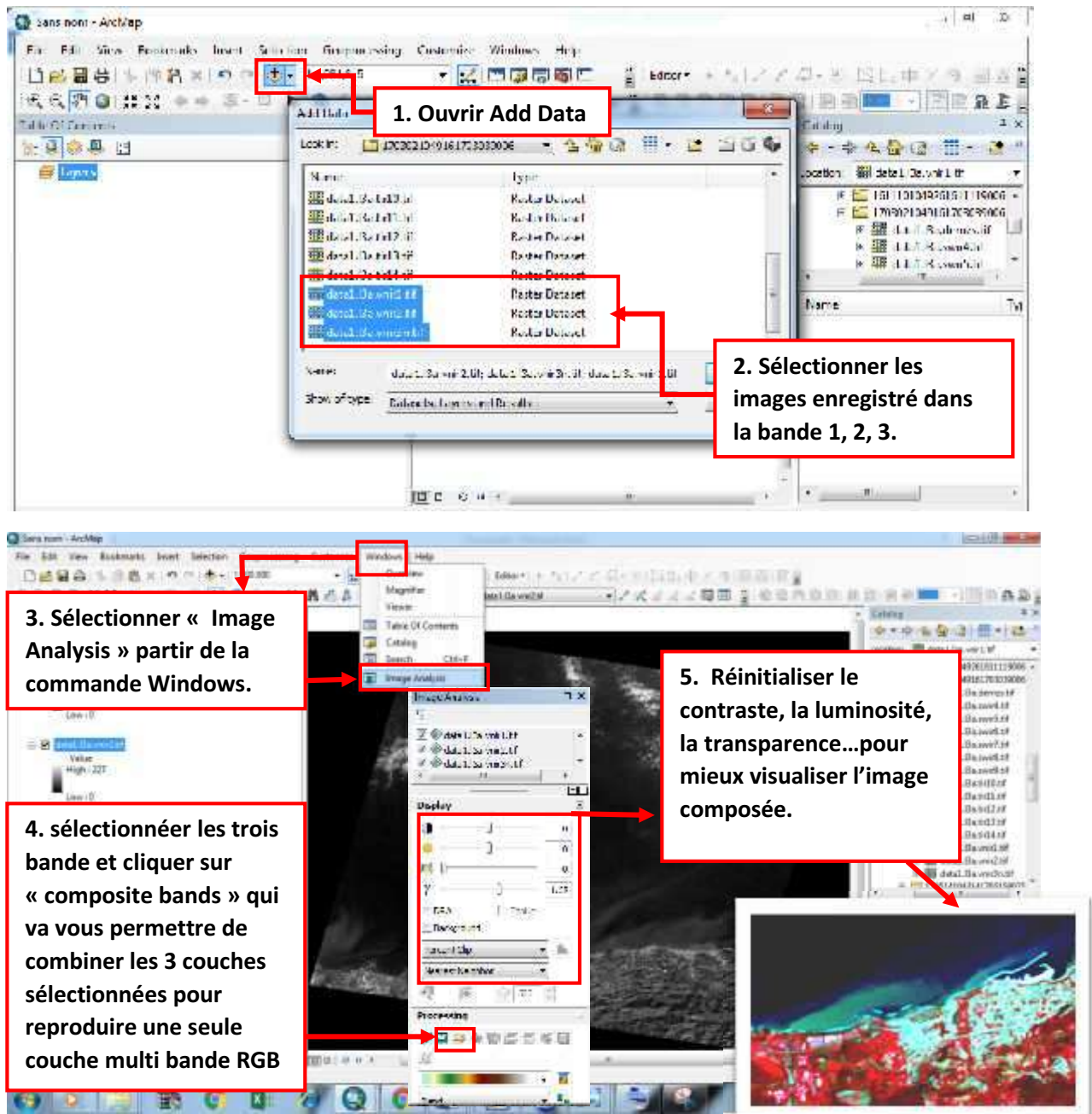


Figure 51 : les étapes de traitement des images satellitaires Aster par composition coloré sous Arcgis10.3

3. Résultats et discussion :

Le traitement des images satellitaires ASTER prises au niveau du secteur de bois sacré avant et après la réalisation du projet a montré que :

Le suivi du sens de déplacement des panache turbides, indiqué par les flèches jaune (figure 52) nous a permis d'observé que la zone de bois-sacré est soumis à l'action du courant de dérive de deux directions différente :

3.1. Avant la mise en place du projet :

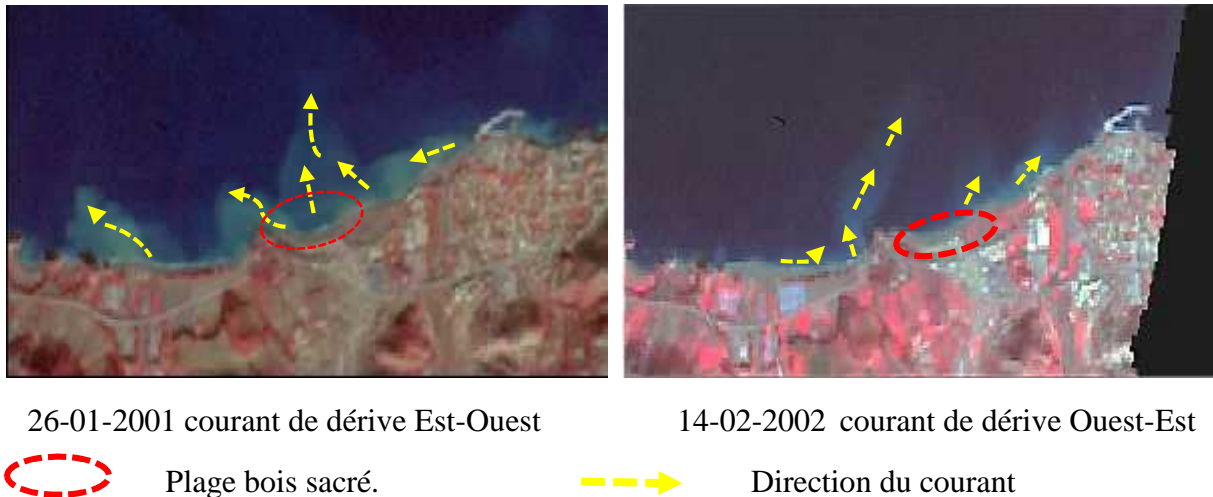


Figure 52 : Image satellitaire ASTER du courant de dérive dans la plage de de Bois sacré prise en deux dates différent avant la mise en place des brise-lames.

Avec des courant de derive Est-Ouest, on remarque que Le déplacement de la matière en suspension en arrivant à la plage de bois sacré se dirige vers le large absorber par la micro fosse qui se prouve au niveau de cette plage, ce qui explique l'amaigrissement de la plage qui a nécessité une intervention pour la protection de cette plage en 2009 par le LEM

Cependant avec des courant de dérive Ouest-Est le déplacement du panache turbide venant de la plage Ouest dérive vers le large en arrivant à la plage du bois sacré. Cela est principalement due à la morphologie naturelle de la cote qui constitue un immense obstacle vis-à-vis les quantités des matériaux transporter par les courants de direction Ouest-Est tout en empêchant l'alimentation de la plage.

En générale en conclue que qu'elle que soit l'orientation du courant de dérive, on arrivant vers la plage du bois sacré, les sédiments sont transportés par un courant de retour vers le large.

3.2. Après la construction des ouvrages :

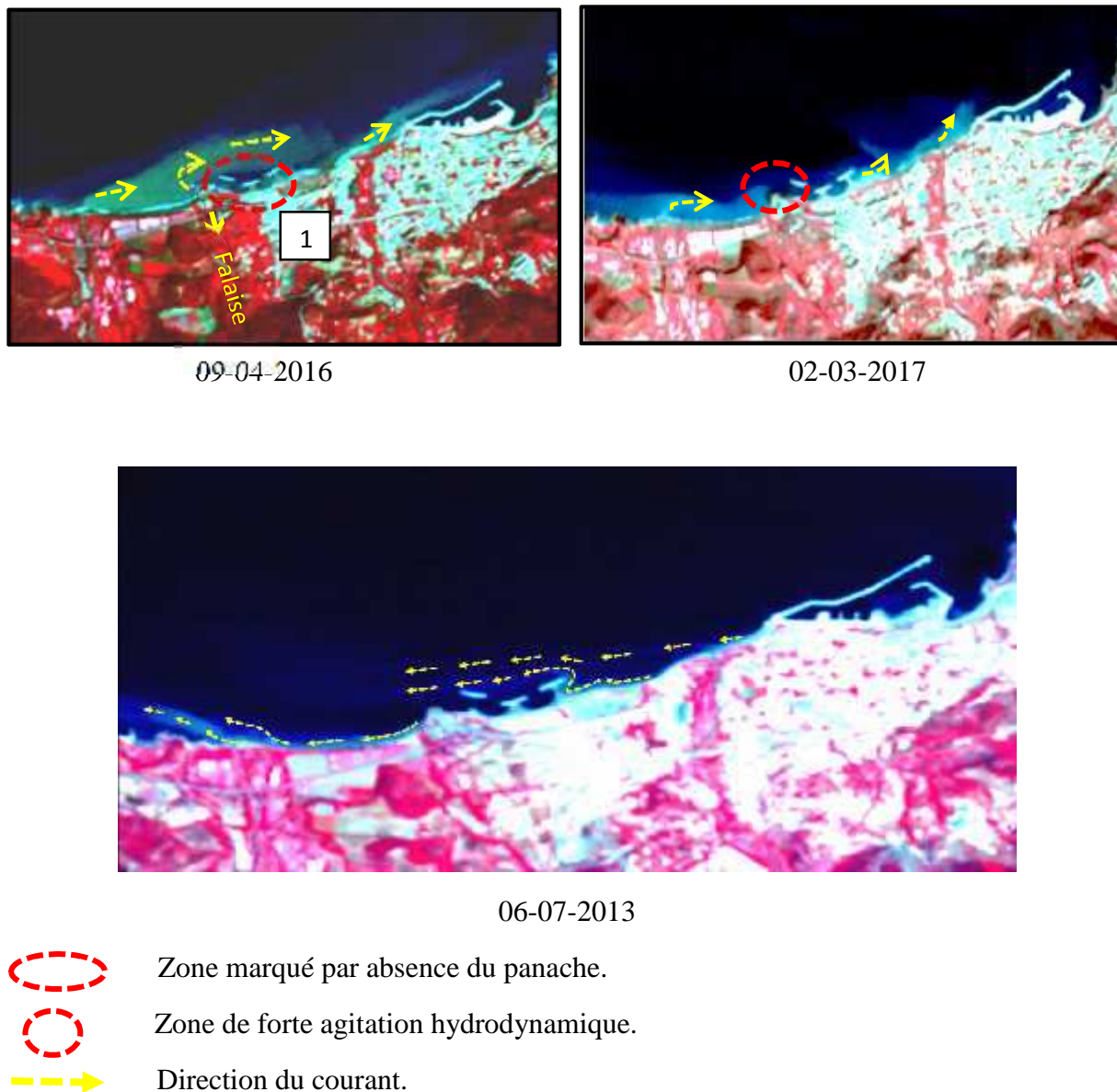


Figure 53 : Image satellitaire Aster du courant de dérive dans la plage de de Bois sacré prise en deux dates différant après la mise en place des brise-lames.

Le déplacement du panache orienté vers l'Est et figuré dans l'image satellitaire du 9-4-2016 prise une journée avant la sortie de prélèvements de OUEDHA 2009. Montre que les sédiments dérivée de la plage Ouest, s'orientent en dehors de la zone abritée des brises lames juste après la falaise.

Dans la même image précisément dans la zone 1 présenté par le cercle rouge, on remarque que les eaux sont claires. Cette zone n'est donc pas alimentée par les sédiments de la dérive Ouest-Est, et les brise lame ne jouent aucun rôle pour leur stockage.

Dans les trois images prise à des dates différentes montrant une dérive Est-Ouest, on observe que le panache turbide venant de l'Est est bloqué par le tombolo du brise lames Est et contourné en dehors de la plage du bois sacré.

Cela explique que le tombolo formé derrière le brise-lame empêche le stockage des sédiments dans la plage du bois sacrée.

Conclusion :

En général, quel que soit la direction de la dérive on remarque l'absence du panache en aval de l'ouvrage et près de la falaise ce qui confirme que la plage de bois sacré ne peut en aucun cas être alimentée par les courants de dérive de secteur Ouest et de secteur Est.

Le traitement des images satellitaires nous a permis de déterminer les courants régnant le secteur bois sacré et d'apprécier leur direction réelle.

L'imagerie satellitaire représente un outil très important dans la compréhension de la courantologie côtière, en donnant une information spatio-temporelle réelle. Il est donc nécessaire de faire recourir à l'historique des images satellitaires pour tous projets d'aménagement côtier, vu qu'elle présente une information visuelle réelle non erronée.



**Recommandation et
proposition**

Recommandation et proposition :

D'après les différentes conclusions, obtenues durant ce travail nous avons réalisé des scénarios qui permettent d'améliorer l'aménagement de la plage du bois sacré afin d'assurer une bonne alimentation de cette dernière en garantissant ainsi une bonne circulation des eaux pour éviter l'accumulation des polluants.

Les brise-lames de Gouraya sont implantés dans l'objet d'empêcher la déperdition des sédiments vers le large ainsi d'assurer l'alimentation de la plage Bois sacré par des sédiments venant des oued et de la grande plage Ouest, ce qui n'est pas le cas, d'après cette étude.

Pour surmonter cela, nous avons proposé deux scénarios possibles :

Scénario 1 :

Ce scénario vise à assurer l'alimentation de la plage par les courant Est-Ouest

- Dessablement du tombolo Est pour assurer l'alimentation de la plage par les sédiments d'oued Maxoum qui sont actuellement déviés vers le large par ce tombolo, comme il est illustré dans L'image satellitaire (**Figure 53 chapitre V**).
- En parallèle en utilisant les sédiments du tombolo, on alimente le pied de la falaise Ouest (**figure 12 Chapitre II**) qui a subis une forte érosion.

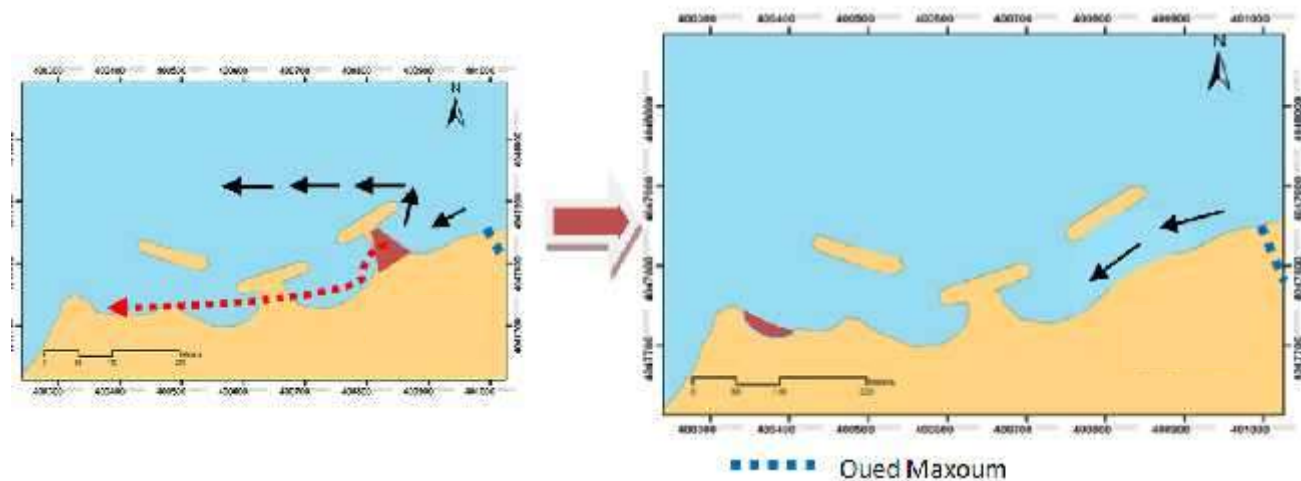


Figure 54 : Scénario 1

Scénario 2 :

Ce scénario vise à assurer l'alimentation de la plage par les courants Oust-Est

Les courants Ouest-Est se dirigent vers le large, par l'effet de la falaise rocheuse. Comme il est illustré dans l'image satellitaire (**Figure 53 chapitre V**).

Nous proposons donc l'implantation d'un brise lame (figure 55) face à la falaise, a une distance bien étudié afin d'assurer la formation d'un saillant au Pier de la falaise et éviter la formation d'un tombolo. Ce brise lame va constituer un barrage pour les sédiments apportés des grandes plages Ouest par les courants Ouest-Est, ainsi il diminuera l'énergie de la houle transmise à la falaise (**Figure 30 chapitre III**).

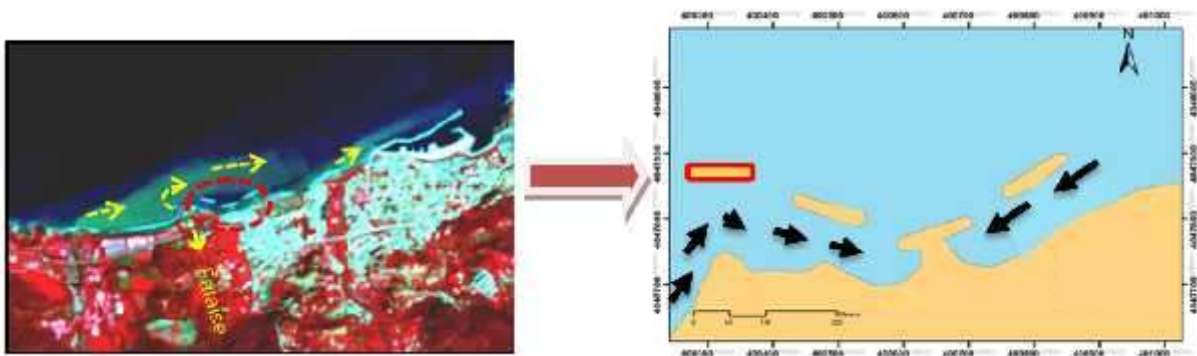


Figure 55 : Scénario 2

Pour une étude d'aménagement côtier il est sollicité d'utiliser des données d'entrées précises et fiables à savoir l'utilisation des données réelles d'observation des vents au lieu d'utiliser des données de prévision qui évoquent plein d'erreur.

Une étude comparative des correspondances entre le résultat de modèle numérique et une image satellitaire pour les mêmes conditions de houle serait une très bonne évaluation des résultats obtenus dans une étude pareille.

Conclusion générale

Conclusion Général :

La prise en compte des principaux processus hydro-sédimentaires nécessite la reproduction des bases de données à long terme. Cette reproduction est complexe du fait de la difficulté d'effectuer des mesures in situ en raison de la variabilité et la complexité qui les caractérisent, ce qui nécessite l'utilisation des techniques numériques, de ce fait la télédétection et la modélisation numérique apparaissent comme deux outils complémentaires, dont leur combinaison permet un suivi spatiotemporel en vue d'étudier et de quantifier les courants côtiers.

Au niveau de la cote plusieurs forces se traduisent en courant côtier dont principalement la houle, L'étude de cette dernière nous a permis de simuler deux courants dominants qui sont le courant orbital et le courant de dérive. Ces deux forces de la houle ont aussi une influence sur cette dernière et vice versa.

En l'absence des instruments de mesure des courants, le recours à des modèles numériques accompagnés par des observations basées sur des images satellitaires, nous a permis de bien observer et de quantifier les différents courants côtiers au niveau de notre zone d'étude. Cette méthode nous a aussi permis d'effectuer une analyse spatio-temporelle de ces courants, et d'étudier son comportement après un projet d'aménagement, en se basant sur des données archivées et des données terrain actuelles. L'analyse granulométrique nous a permis de conclure que la plage sous-marine de Bois Sacré est constituée de sable de différentes tailles et que leur répartition après l'installation des brise-lames a subi une très grande modification, ce qui explique l'impact de ces brise-lames sur le comportement du courant côtier.

Autre que les modèles hydrodynamiques, Les résultats de cette analyse ont montré que la tendance générale des sédiments en 2017 est complètement différente avec celle de 2016. L'utilisation d'un modèle analytique des tendances de la taille du grain G.S.T.A pour une étude des courants côtiers, nous a permis de conclure qu'il est nécessaire d'effectuer des prélèvements journaliers dans les mêmes stations durant une période importante, avec une combinaison des résultats obtenus, des données météorologiques et des données hydrodynamiques de la houle, pour la valorisation et la réussite d'une telle analyse.

Le traitement des images satellitaires nous a permis de déterminer et d'apprécier la direction réelle des courants de dérive des deux secteurs Est et Ouest, et d'observer la tendance des matières mises en suspension en arrivant à la plage du Bois Sacré. Les résultats de cette étude nous ont permis de conclure qu'après l'installation des brises lames, plus précisément après la formation du tombolo Est, les sédiments dérivés par les courants ont tendance à se diriger vers le large en arrivant à la plage du Bois Sacré, cette plage est donc mal alimentée par les sédiments. Il est préférable d'effectuer un dessablement du dépôt qui a formé ce tombolo.

Avant l'implantation des brises lames de Gouraya et pour optimiser le fonctionnement de la série des brise-lames il fallait prendre en considération une seule direction de courant qui est la direction Ouest car ce sont ces courants d'Ouest qui alimentent la zone par le sédiment ; alors que les courants Ouest-Est se dirigent vers le large, par l'effet de la falaise rocheuse.

Il est très important dans différent projet d'aménagement de faire recoure à l'imagerie satellitaires qui nous offrent une information spatiale fiable à temps réel sur la courantologie côtière surtout après les périodes de crues.

Ce travail nous a permis de développer une nouvelle méthodologie pour l'étude des courants côtiers et d'appliquer cette méthodologie pour le suivie du comportement de ces courants après un projet d'aménagement.

Nous avons approfondis nos connaissances dans le domaine de la modélisation numérique hydrodynamique, par la maitrisé du modèle numérique Swan, et du modèle analytique des tendances de la taille du grain G.S.T.A, ainsi nous avons développé nos connaissance sur les SIG et nous avons appris à effectuer des Analyses spatiales en utilisant l'outil Map-Algebra sous ArcGIS. Ainsi à l'aide d'un modèle qu'on a développé sous ArcGIS nous avons créé une base de donnée qui comporte plus de 1000 cartes représentant les paramètres physiques hydrodynamiques des vagues et des courants, après avoir modélisé de tous les conditions de la houle générée par un vent locale durant 21 ans , apporté chacune à leur fréquence.

Bibliographie

References bibliographies:

1. **AMAROUCHE, K. (2015).** Contribution à la recherche des zones à fort potentiel d'énergie houlomotrice à base d'un modèle hydrodynamique. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL. 111 p.
2. **BACHARI, N.E.I., HOUMA, F., AMAROUCHE, K. (2017).** Combination of Satellite Images and Numerical Model for the State Followed the Coast of the Bay of Bejaia-Jijel. IJEGEO. Vol. 4, n°1, 7 p.
3. **BONNEFILLE, R. (1992).** Cours d'hydraulique maritime. 3eme éd. France : Masson. 208 p.
4. **BOUGIS, J. (1993).** Les houles périodiques simples. Rapport. Document non publié. France : Institut des Sciences de l'Ingénieur de Toulon et du Var : Université de Toulon et Du Var.
5. **BOUGIS, J. (2003).** Les états de mer naturels. Rapport. Document non publié. France : Institut des Sciences de l'Ingénieur de Toulon et du Var, Université de Toulon et Du Var.
6. **BRIERE, C. (2005).** Etude de l'hydrodynamique d'une zone côtière anthropisée: l'embouchure de l'Adour et les plages adjacentes d'Anglet. Thèse de doctorat. Hydraulique maritime et transport sédimentaire. France : université de Pau et des pays de l'Adour. 257 p.
7. **BOOIJ, N., HAAGSMA, I. J. G., HOLTHUIJSEN, L. H., ET AL. (2004).** SWANcycle III version 40.41 user manual. Delft University of Technology. Vol. 115. 128 p.
8. **CAMINADE, D. (1996).** Ouvrages de protection des côtes. Techniques Ingénieur. Vol. CE1, n°C4690. p.p 1-15.
9. **CASTELLE, B. (2004).** Modélisation de l'hydrodynamique sédimentaire au-dessus des barres sableuses soumises à l'action de la houle: application à la côte aquitaine. Thèse de doctorat. Sciences de l'environnement. Océanographie, paléo-océanographie. France : Université de Bordeaux. 344 p.
10. **DAHMANI, A ET ZENATI, A. (2012).** Etude de protection du rivage du Bois Sacré à Gouraya - Wilaya de Tipaza. Mémoire d'Ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL. 80p.
11. **DANIAULT, N. (2005).** Océanographie Physique pour l'École Navale. Rapport. Document non publié. Brest : Université de Bretagne Occidentale.
12. **DEAN, ROBERT GEORGE. (1973).** Heuristic models of sand transport in the surf zone: Engineering Dynamics of the Coastal Zone. Rapport. Document non publié. Australia: Institution of Engineers.

13. **DJEHA ,L., MATOUK ,Z.(2009)** .Avant projet sommaire de la protection du rivage de Bois Sacré – Gouraya. Rapport d’activité.Document non publié. Alger : Laboratoire des Etudes Maritimes.
14. **DOGLIOLI, A. M. (2010)**.Notes du Cours Circulation Générale en Méditerranée. Rapport. Document non publié. Marseille : Centre d’Océanologie de Marseille, Université de la Méditerranée.
15. **DOGLIOLI, A., PETRENKO, A. A. (2015)**.Dynamique des Océans. Rapport. Document non publié. Marseille : Université d’Aix-Marseille.
16. **EAU, C. (1990)**.Manuel sur l’hydrodynamique sédimentaire et l’érosion et sédimentation du littoral-Deuxième partie : érosion et sédimentation du littoral. France : Centre d’études techniques maritimes et fluviales.122 p.
17. **GAGNAIRE-RENOU, E. (2009)**. Amélioration de la modélisation spectrale des états de mer par un calcul quasi-exact des interactions non-linéaires vague-vague. thèse de doctorat. Sciences de l’univers. France : Université du Sud Toulon Var.233p.
18. **GAO, S., COLLINS, M. B. (1994)**. Analysis of grain size trends, for defining sediment transport pathways in marine environments. Journal of Coastal Research. Vol. 10, n° 1, p.p 70-78.
19. **GARLAN, THIERRY. (2004)**. Apports de la modélisation dans l’étude de la sédimentation marine récente. Thèse de doctorat. Océanographie physique. France : Université des sciences et techniques de Lille.196p.
20. **HOUNGUE, GUY HERVE. (2012)**.Caractérisation du forçage en vagues sur la côte nord du golfe de guinée. Mémoire de master. science en Océanographie Physique et Applications. Benin : Université d’Abomey-Calavi.43 p.
21. **JARRY,B. (2011)**. Caractérisation et conception des fonctions différentielles RF et Millimétriques: Bruit stabilité linéarité. Rapport. Document non publié. France. Université de Limoges.
22. **KERSALE, M. (2013)**.Dynamique de processus océaniques de méso-et de subméso-échelle à partir de simulations numériques et de données in situ. Thèse de doctorat. Oceanographie. Marseille : Université d’Aix-Marseille.168p.
23. **LARRAS, J. (1979)**. Physique de la houle et des lames. France : Eyrolles, Vol.36, n 03. p.p 3-17.

24. **LAUGEL, A. (2013).** Climatologie des états de mer en Atlantique Nord-Est : analyse du climat actuel et des évolutions futures sous scénarios de changement climatique par descente d'échelle dynamique et statistique. Thèse de doctorat. Génie Côtier. Paris : Université Paris-Est. 196 p.
25. **LAUGIER, M., MORTIER, L., DEKEYSER, I.(1994).** Un modèle bidomaine aux équations primitives en océanographie physique. *Oceanologica acta*, vol. 4, n° 17, p.p 355-367.
26. **LECLERC, J. P., BELLESSORT, B.,MIGNIOT, C. (1976).** Action de la houle sur les sédiments. Rapport. Document non publié. France : IFREMER.
27. **MAGANGA, F. (2011).** Caractérisation numérique et expérimentale des effets d'interaction entre une hydrolienne et le milieu marin. Thèse de doctorat. Science de l'ingénieur.France : Université du Havre.243 p.
28. **MIGNIOT. C. (1990).** manuel sur l'hydrodynamique sédimentaire et l'érosion et sédimentation du littoral. 1ere Ed. France : Centre d'Etudes techniques maritimes et fluviales .159 p.
29. **MILLOT, C., TAUPIER-LETAGE, I. (2005).**Circulation in the Mediterranean Sea. Rapport.Document non publié. France : The Mediterranean Sea.
30. **MULLIN, J. B. (1965).** The spectrophotometric determination of silicate-silicon in natural waters with special reference to sea water. *AnalyticaChim Acta*. Vol. 46, n° 7, p.p 491-501.
31. **NADIR, MOHAMMED. (2016).** Modélisation numérique de la morpho dynamique d'une côte sableuse soumise à l'effet des vagues et des houles cas : Plage Est de SIDI Fredj. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL.149 p.
32. **OTMANI, H. (2014).** Impacts des infrastructures maritimes sur le littoral : cas de Cap Djinet. Thèse de Magister. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL.151 p.
33. **OUADHA.H. (2016).** Impact des Ouvrages de Protection sur la Morphodynamique des cotes : Bois Sacré Gouraya -TIPAZA. Aménagement du littoral .Alger : ENSSMAL.113 p.
34. **PASKOFF, R. (1992).** Les côtes en danger.1ere édition. Paris : Masson. 250 p.
35. **PASKOFF,R. (2010).** Les littoraux : impacte des aménagements sur leur evolution.3^e édition.France : ARMOND COLIN. 257 p.
36. **PEDREROS, R., LECACHEUX, S., IDIER, D. (2009).** Etude des conditions de vagues sur le littoral de la Côte Basque. Rapport d'activité. Document non publié. France. BRGM Infoterre. 51 p.

37. **SAFARI, M. IMAM. (2006).** Analyse de la performance hydraulique d'un nouveau type de bloc artificiel utilise pour la protection ctiere. Thèse de doctorat. Science de l'environnement. France : Université de Caen.211 p.
38. **SAFFACHE, P. (2003).** Dictionnaires simplifié de la géographie. Paris : Publibook. 347 p.
39. **SALOMON, J. C., LE HIR, P. (1981).** Etude de l'estuaire de la Seine-Modélisation numérique des phénomènes physiques. Rapport .Document non publié. France : IFREMER.
40. **STEPANIAN,A. (2002).** Evolution morphodynamique d'une plage macro tidale à barres : Omaha Beach (Normandie).Thèse de doctorat. Sciences de la Terre et de l'Univers, Espace. Caen : L'Université de Caen.
41. **SAMAT, O. (2007).** Efficacité et impact des ouvrages en enrochement sur les plages microtidales: Le cas du Languedoc et du Delta du Rhône. Thèse de doctorat. Géographie. France : Université d'Aix-Marseille. 342 p.
42. **SENECHAL, N. (2003).** Etude de la propagation des vagues au-dessus d'une bathymétrie complexe en zone de surf. Thèse de doctorat. Océanographie, paléo océanographie. France : Université de BORDEAUX I. 285 p.
43. **SLANY, M., CAMINADE, A. M. , MAJORAL, J. P.(1996).** Specific functionalization on the surface of dendrimers. Tetrahedronletters. Vol. 37, n  50, p.p 9053-9056.
44. **THAN, V. V. (2015).** Modélisation d'érosion ctiere : application à la partie Ouest du tombolo de Giens .Thèse de doctorat. Mathématiques .France : université d'Aix-Marseille.398 p.
45. **VOITURIEZ, B. (2012).** La circulation générale océanique, Publication. Rapport. Document non publié. L'institut océanographique.
46. **WRIGHT, J., COLLING, A., PARK, D. . (1999).** Waves, tides, and shallow-water processes. 2^{eme} Ed. Dave. Vol.4, n  3 .234 p.
47. **ZHAO, M., RUNNING, S. W., NEMANI, R. R. . (2006).** Sensitivity of Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) terrestrial primary production to the accuracy of meteorological reanalyses. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences .Vol. 111, n  1, p.p 7-29.

Annexe

Résultat de calcul de la variance :

En plus le calcul de la moyenne pondéré l'analyse spatiotemporelle nous a permis de calculer la variance des caractéristiques physiques de la houle avec celle des courants orbitaux et des courants de dérive littoral ainsi que celles des transit sédimentaire au niveau des 12 points choisis et la représentation graphique de ce calcul.

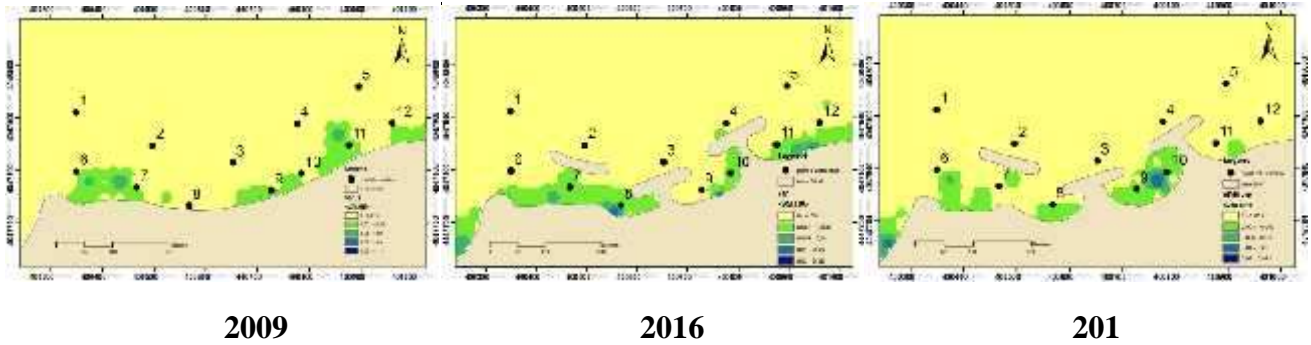


Figure1 : cartes des variances de courant de dérive

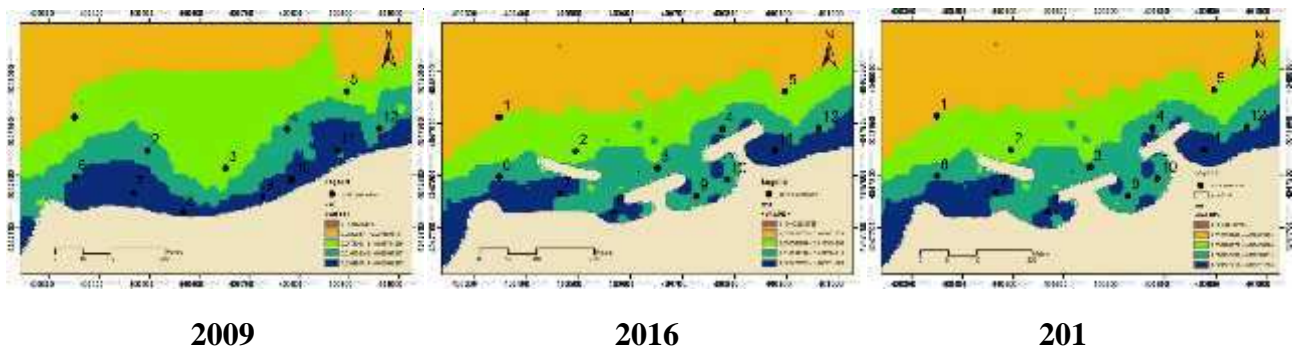


Figure2 : cartes des variances de courant orbital

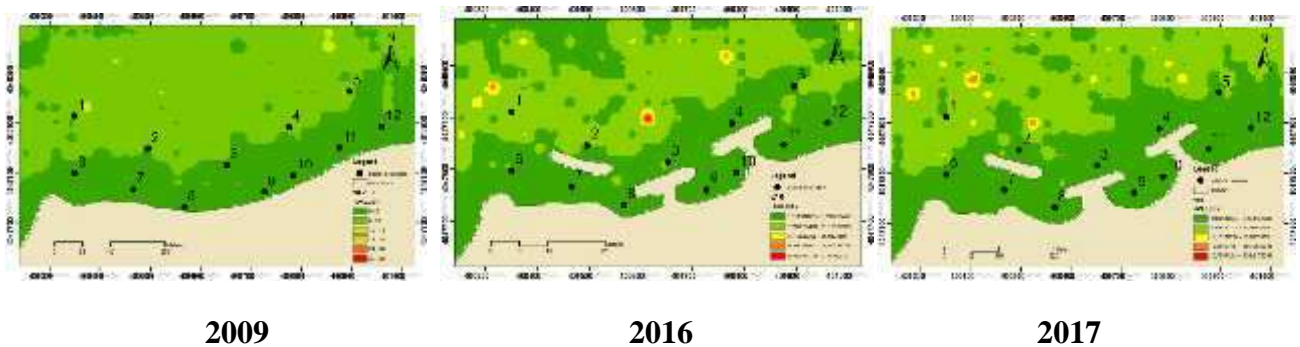


Figure 3 : cartes des variances de l'énergie transmise

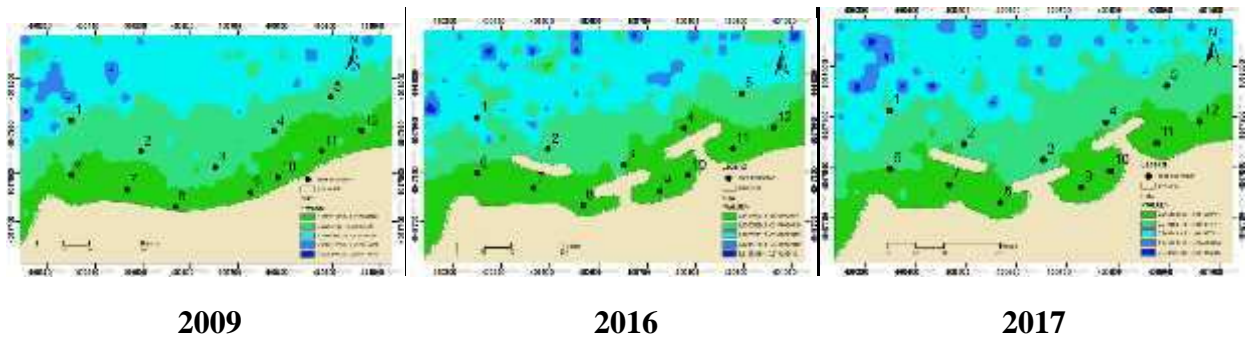


Figure8 : cartes des maximums de la hauteur de Houle

La force de la houle au déferlement :

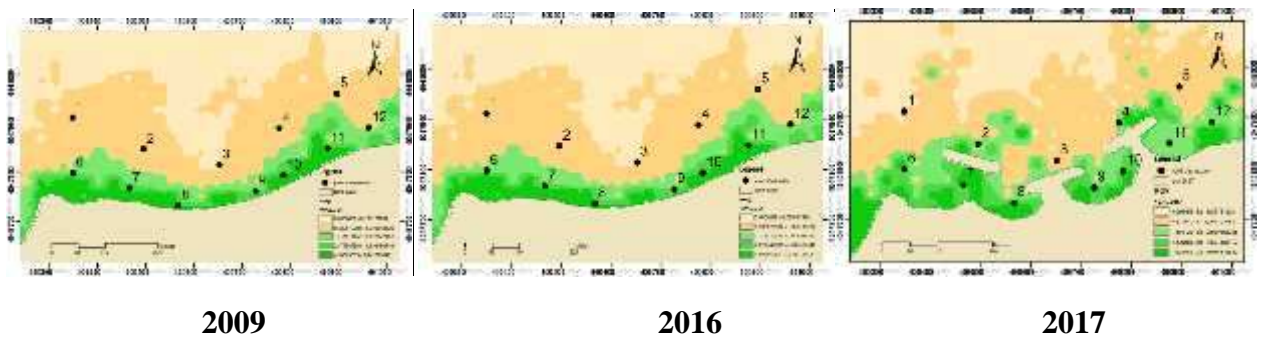


Figure9 : cartes des moyennes de la force de la houle au déferlement

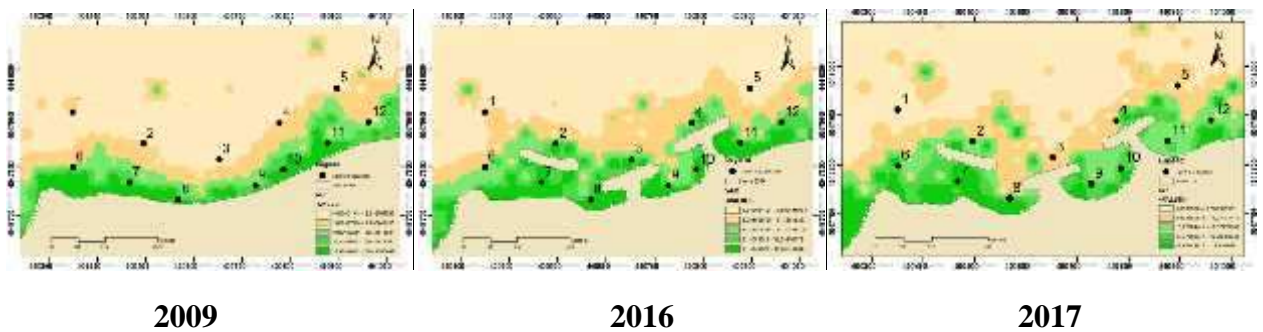


Figure10 : cartes des variances de la force de la houle au déferlement

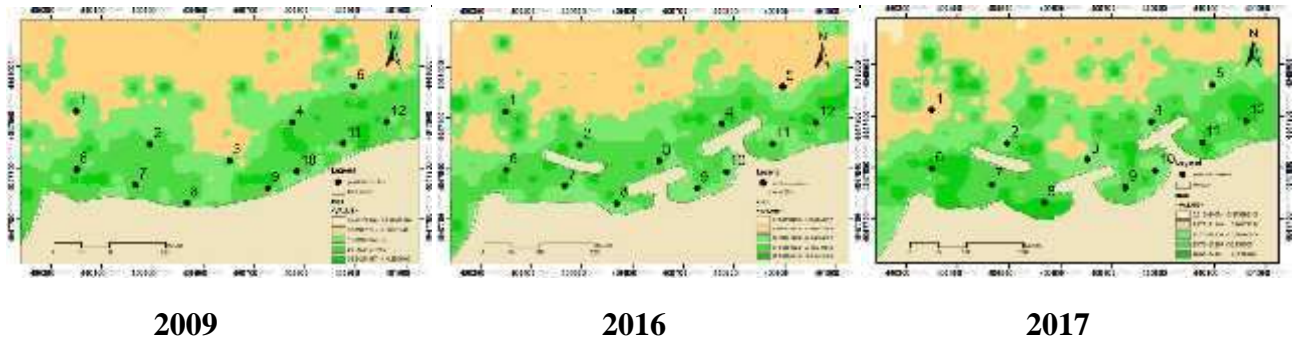
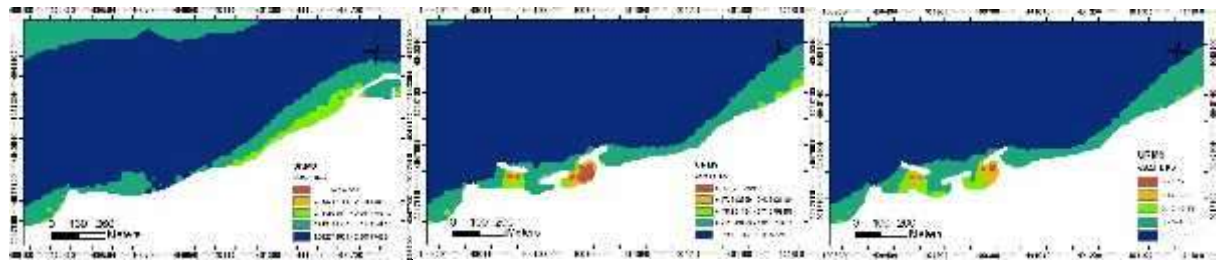


Figure11 : cartes des maximums de la force de la houle au déferlement

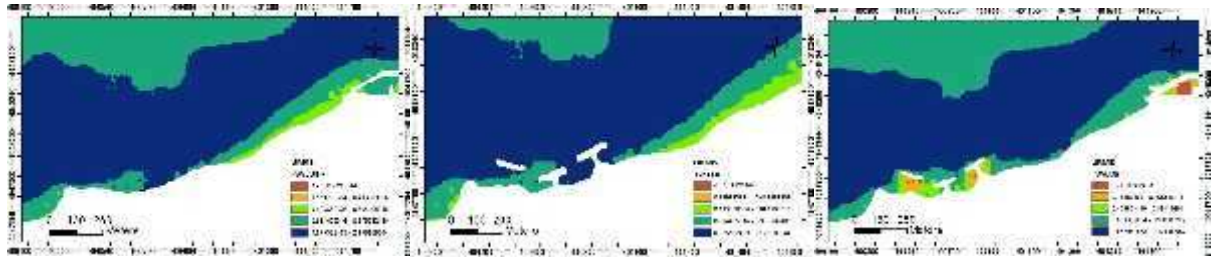


Avant-projet N

2016N

2017N

Figure16 : cartes de du courant orbital de la houle dans la plage de bois sacré (vent Nord)

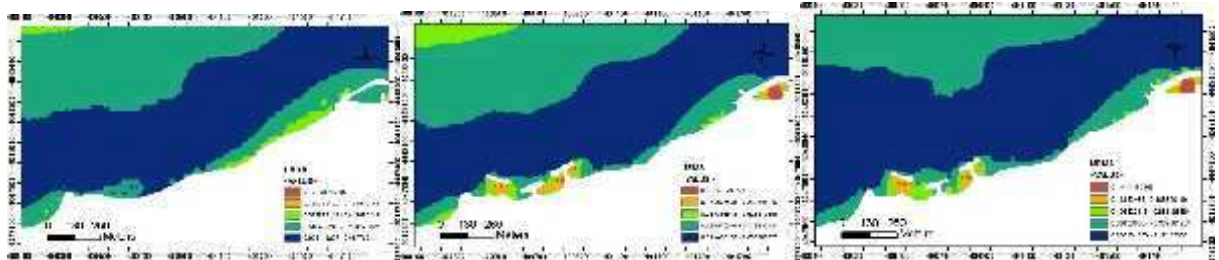


Avant-projet NE

2016 NE

2017 NE

Figure17 : cartes de du courant orbital de la houle dans la plage de bois sacré (vent Nord-Est)



Avant-projet NW

2016NW

2017 NW

Figure18 : cartes de du courant orbital de la houle dans la plage de bois sacré (vent Nord-Ouest)

Tableaux des fréquences de hauteurs significatives de la houle pour les différentes directions :

E					NNE					
Hs	Fr	fr(Fr)	V	T	Hs	Fr	fr(Fr)	V	T	
0-0,5	0,00938722	0,10714286		5	0-0,5	0,00456323	0,14403292		5	
0,5-1	0,04498044	0,51339286		5	4,7	0,5-1	0,01681877	0,5308642	5	4,7
1-1,5	0,02216428	0,25297619		8	5,1	1-1,5	0,00599739	0,18930041	8	5,1
1,5-2	0,00964798	0,11011905		8	6,7	1,5-2	0,0029987	0,09465021	8	6,9
2-2,5	0,0011734	0,01339286		10	7,23	2-2,5	0,00091265	0,02880658	10	7,23
2,5-3	0,00026076	0,00297619		12	7,35	2,5-3	0,00039113	0,01234568	12	7,35
3_4	0	0				3_4	0	0		
4_5	0	0				4_5	0	0		
5_6	0	0				5_6	0	0		
somme	0,08761408	1				somme	0,03168188	1		
NNW					W					
Hs	Fr	fr(Fr)	V	T	Hs	Fr	fr(Fr)	V	T	
0-0,5	0,00182529	0,23728814		5	0-0,5	0,00860495	0,18435754		5	
0,5-1	0,00273794	0,3559322		5	4,7	0,5-1	0,01473272	0,31564246	5	4,7
1-1,5	0,00156454	0,20338983		8	5,1	1-1,5	0,00912647	0,19553073	8	5,1
1,5-2	0,00130378	0,16949153		8	6,9	1,5-2	0,01029987	0,22067039	8	6,7
2-2,5	0,00013038	0,01694915		10	6,95	2-2,5	0,00260756	0,05586592	10	7,23
2,5-3	0,00013038	0,01694915		12	7,35	2,5-3	0,0011734	0,02513966	12	7,35
3_4	0	0				3_4	0,00013038	0,0027933	14	8,9
4_5	0	0				4_5	0	0		
5_6	0	0				5_6	0	0		
somme	0,00769231	1				somme	0,04667536	1		
NW					NE					
Hs	Fr	fr(Fr)	V	T	Hs	Fr	fr(Fr)	V	T	
0-0,5	0,02490222	0,178338		5	0-0,5	0,02868318	0,26410564		5	
0,5-1	0,05801825	0,41549953		5	4,7	0,5-1	0,06740548	0,62064826	5	4,7
1-1,5	0,03780965	0,27077498		8	5,1	1-1,5	0,0083442	0,07683073	8	5,1
1,5-2	0,01551499	0,11111111		8	6,7	1,5-2	0,00365059	0,03361345	8	6,9
2-2,5	0,00104302	0,00746965		10	7,23	2-2,5	0,00026076	0,00240096	10	9,95
2,5-3	0,00156454	0,01120448		12	7,35	2,5-3	0,00026076	0,00240096	12	7,35
3_4	0,00078227	0,00560224		14	8,9	3_4	0	0		
4_5	0	0				4_5	0	0		
5_6	0	0				5_6	0	0		
somme	0,13963494	1				somme	0,10860495	1		

Tableau3 : Les 32 conditions de houle modélisées à partir des données réelles du vent

cas	Hs	Periode	Vitesse	Direction
1	0,7	4,7	5	NNE
2	0,7	4,7	5	NE
3	0,7	4,7	5	E
4	0,7	4,7	5	W
5	0,7	4,7	5	NW
6	0,7	4,7	5	NNW
7	1,2	5,1	8	NNE
8	1,2	5,1	8	NE
9	1,2	5,1	8	E
10	1,2	5,1	8	W
11	1,2	5,1	8	NW
12	1,2	5,1	8	NNW
13	1,7	6,9	8	E
14	1,7	6,9	8	W
15	1,7	6,9	8	NW
16	2,2	7,23	10	NNE
17	2,2	7,23	10	E
18	2,2	7,23	10	W
19	2,2	7,23	10	NW
20	2,7	7,35	12	W
21	2,7	7,35	12	NW
22	3,45	8,9	14	W
23	3,45	8,9	14	NW
24	1,7	6,9	8	NE
25	2,7	7,35	12	NNE
26	1,7	6,9	8	NNE
27	2,2	9,95	10	NE
28	2,7	7,35	12	NE
29	2,7	7,35	12	E
30	1,7	6,9	8	NNW
31	2,2	6,95	10	NNW
32	2,7	7,35	12	NNW

Station	X	Y	Z	%pellite	Q50(μm)	D50(μm)	S0	Sk	Q25(μm)	Q75(μm)	CaCO3
1	400958	4047981	4,242	13,52	208	277,376	1,39194	1,1464	160	310	12,1
2	400796,2	4047944	4,203	12,455	202	292,92	1,68705	1,1788	130	370	10,05
3	400721,6	4047922	4,378	11,885	250	373,271	1,4505	1,3736	202	425	9,05
4	400682,9	4047873	3,411	10,805	242	359,439	1,43178	1,4002	200	410	9,1
5	400673,3	4047940	5,277	12,585	210	281,94	1,35959	1,1412	165	305	10,05
6	400575,7	4047907	4,447	5,62	468	518,272	1,48786	0,6938	262	580	8,7
7	400452,9	4047914	5,209	6,265	295	380,953	1,58774	1,339	215	542	8,8
8	400577,6	4047822	5,033	10,455	229	339,458	1,46249	1,3215	180	385	8,85
9	400746,1	4047799	2,659	9,875	250	355,844	1,37148	1,3272	210	395	9,95
10	400786,9	4047818	1,331	5,6	386	493,446	1,46287	0,8977	250	535	8,7
11	400774	4047770	1,39	13,575	207	266,763	1,18818	0,9522	170	240	9,35
12	400770,7	4047806	2,816	12,33	215	282,967	1,19024	0,993	180	255	9,8
13	400709	4047772	2,22	11,445	242	354,821	1,43334	1,4314	202	415	9,05
14	400750,2	4047748	1,556	15,3	211	269,529	1,16667	0,9905	180	245	10,65
15	400691,8	4047761	1,497	10,34	317	402,685	1,47043	1,0604	222	480	9,9
16	400375,7	4047907	5,726	7,19	321	402,759	1,47779	1,054	223	487	9,25
17	400715,4	4047994	6,517	9,07	499	539,097	1,31415	0,7877	337	582	9,45
18	400907	4047937	3,744	16,09	210	273,508	1,25529	0,9728	165	260	10,5

Tableau4 : calculs des indices et quartiles pour les échantillons prélevés

➤ **Analyse calcimétrique :**

L'étude des carbonates consiste à déterminer la teneur en CaCO₃ dans le sédiment et d'apprécier le déplacement de sédiments par l'hydrodynamisme côtier.

1. principe de la méthode :

Le procédé consiste à mesurer la différence du poids après attaque du sédiment à l'acide chlorhydrique, la réaction et la suivante :



Remarque : Les éléments n'ayant pas réagi avec le HCl peuvent être : argile, quartz.....

2. Mode opératoire :

1- pesage de 20g du sédiment sec dans une tare (P1 : poids initial).

2-Decalcification à HCL, après effervescence ; rinçage et séchage complet de l'échantillon dans une étuve à 105°C pendant 24h.

3-pesage du sédiment décalcifié sec (P2).



Figure : rinçage et récupération de l'eau après attaque par HCl.

La différence entre le poids du sédiment sec brut et le poids du sédiment décarbonaté représente le poids du calcaire (P) :

$$P(g) = P1 - P2$$

Le taux de carbonate existant dans le sédiment est donné par la formule suivante :

$$\%CaCO_3 = \frac{P1 - P2}{P1} * 100$$

Analyse calcimétrique :

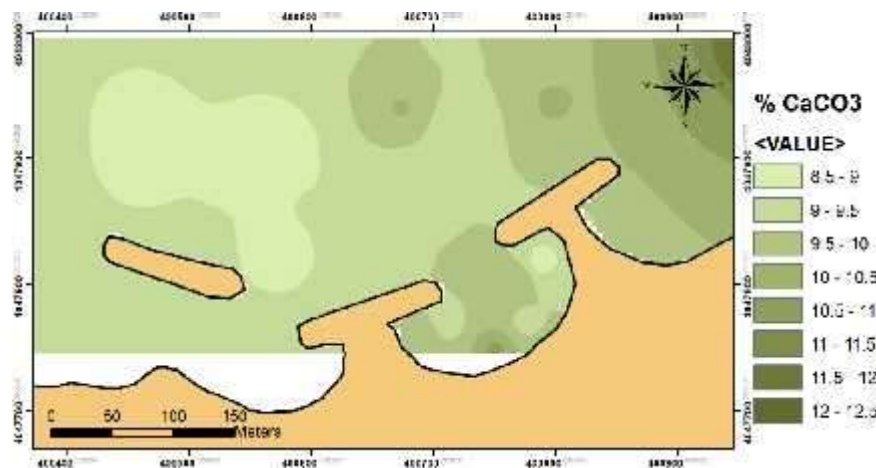


Figure : cartes de répartition des carbonate de calcium (CaCO₃) dans la plage de Bois sacré avant et après la réalisation du projet.

La répartition du taux des carbonates de calcium se fait d'une manière graduée, au fur et à mesure qu'en allant de l'Ouest vers l'Est le taux des carbonates de calcium augmentent.

Le taux le plus faible : 8.7% est marqué au niveau de la station 6 à l'Ouest de la zone ceci est due à l'origine des sédiments et la direction du courant dans la zone. La diminution de la teneur en carbonates peut aussi être liée à des apports faibles de calcaires ainsi qu'à leur dissolution rapide liée aux facteurs climatiques.

Les taux les plus élevés :12.1% au niveau de la station 01, et 10.65% au niveau de la station 14 cela s'explique par le dépôt important des débris de coquille et de squelette d'organismes calcaires déposer après transport par la courantologie qui règne la zone.

D'une façon générale, nous pouvons constater, que la gamme de variation du taux des carbonates des calciums d'une station à une autre est faible, cela pourrait être interprété par l'hydrodynamisme local et la granulométrie des grains (éléments grenus) qui défavorise l'adsorption des molécules de CaCO_3 .

Conclusion :

Donc nous pouvons dire que la granulométrie et la teneur en carbonate de calcium sont conditionnées essentiellement par l'hydrodynamisme local de la plage du Bois sacré.

Combinaison des modèles numériques et des images satellites pour la détermination des courants côtiers.

Résumé :

La cote algérienne est soumise à différentes forces hydrodynamiques, citant principalement la houle qui est à l'origine de plusieurs types de courants qui agissent à proximité des côtes, ce qui rend les mesures hydrodynamiques une démarche préliminaire pour toute construction côtière de protection ou de développement d'activités socio-économiques.

L'objectif de cette étude était, tout d'abord, de mettre en évidence les courants dans la plage de Bois Sacré, qui s'étend sur un linéaire côtier d'environ 1km avec une morphologie sous-marine et côtière très complexes. Ensuite, de voir l'intérêt que portent les ouvrages de protection du site en termes de dissipation de l'énergie incidente de la houle, et les modifications du comportement des courants induites par ces houles, en se basant sur des données archivées et des données terrain actuelles.

Pour se faire, on s'est intéressé en premier lieu à la modélisation des courants côtiers par un modèle hydrodynamique SWAN, après avoir filtré les vents susceptibles de générer des houles supérieurs à 0.5m au large; en prenant en considération leurs vitesses, leurs persistances et leurs directions; ensuite on a effectué une analyse spatiotemporelle tout en exploitant 32 conditions de la houle pour déterminer le courant de la dérive littoral et le transit sédimentaire. Un autre modèle appelé GSTA a été utile pour cette modélisation, en permettant la simulation de la dynamique sédimentaire dans la zone d'étude.

En fin, pour confirmer les résultats de la modélisation numérique, et apprécier la direction réelle des courants de dérive, on a utilisé des images satellitaires ASTER multi-date qui offrent une vue synoptique et instantanée des panaches turbides issus de la mise en suspension des particules apportées par oued MAXOUM, ou par agitation du fond de la plage.

La combinaison des modèles numériques et des images satellitaires constitue une approche scientifique, qui a connu un succès dans l'obtention des résultats fiables et justes lors de l'étude des courants.

Mots clés : modèles numériques, images satellitaires, mesures hydrodynamiques, construction côtière, courants côtiers, plage de Bois Sacré.

Abstract :

The Algerian coast is subjected to different hydrodynamic forces, mainly citing swell, which is the source of several types of currents, which act near the coast, making hydrodynamic measurements indispensable for any coastal construction for protection or development of Socio-economic activities.

The objective of this study was first to show the currents in the Bois Sacré beach, that extends over a coastline of about 1 km with a very complex underwater and coastal morphology. Second, to see the interest of the site protection works in terms of dissipation of the incident energy of the swell, and the changes in the behavior of the currents induced by these swells, based on archived data and field data current.

In order to achieve this objective, we first concentrated on the modeling of coastal currents by a hydrodynamic model (SWAN) after having filtering the winds capable to generate swells higher than 0.5m off shore; Taking into consideration their speeds, their persistence and their directions. Then a spatial-temporal analysis was carried out while exploiting 32 wave conditions to determine the coastal drift current and the sedimentary transit. Another model called GSTA has been useful for this modeling by allowing the simulation of the sedimentary dynamics in the study area. Finally, in order to confirm the result of the numerical modeling and to appreciate the real direction of the drift currents. Multi-date ASTER satellite images have been used, which offer a synoptic and instantaneous view of the turbid plumes resulting from the suspension of the particles brought by MAXOUM's river, or by agitation of the bottom of the beach.

The combination of numerical models and satellite imagery is a scientific approach that has succeeded in obtaining reliable and accurate results in the study of currents

Keywords: numerical models, satellite imagery, hydrodynamic measurements, coastal construction, coastal currents, Bois Sacre beach.

Combinaison des modèles numériques et des images satellites pour la détermination des courants côtiers.

:

الجزائري يخضع لقوى هيدروديناميكية مختلفة مشيرا في المقام الأول تضخم الذي هو مصدر التيارات التي حماية أو تطوير الأنشطة الاجتماعية والاقتصادية. , مما يجعل الهيدروديناميكية لا غنى عنها

الهدف من هذه الدر تسليط الضوء على تيارات الذي يمتد على ساحل 1 بنية نية ساحلي معقدة للغاية. حماية الشاطئ بموقع من حيث تبديد يران سلوك التيارات الناجمة عن هذه الموجات، استنادا إلى البيانات المحفوظة والبيانات الميدانية الحالية. للقيام بذلك هتم نمذجة التيارات الساحلية مستخدمين نموذج الهيدروديناميكي SWAN لرياح يمكن أن تولد 0.5 بين بعين الاعتبار , ية واتجاه الرياح تحليل المكانية نية مستعملين 32 لتحديد مسار التيارات . وأخيرا، لتأكيد نتائج النمذجة العددية مسار التيارات من خلال قيامنا بتواريخ مختلفة . لتحديد الاتجاه الحقيقي للتيارات المائية صور الأقمار ASTER أو عن طريق التحريض بين النماذج العددية وصور الأقمار الصناعية نهج صحيحة في دراسة التيارات.

الكلمات المفتاحية:

النماذج العددية , قمار الصناعية , الهيدروديناميكية , التيارات الساحلية ,