

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
École 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 D'ÉTAT ET DU GRADE DE MASTER EN SCIENCES DE LAMER

OPTION : AMÉNAGEMENT DU LITTORAL

Étude du fonctionnement hydro-sédimentaire De la plage de Palm-Beach

Présenté par :

- BALASKA Amina
- BENHAIK Kaouthar

Soutenu le 02/07 /18 devant le jury suivant :

M. MEZOUAR K.	Maître de conférences A	(ENSSMAL)	Président
M. BELKESSA R.	Professeur	(ENSSMAL)	Promoteur
M. OTMANI H.	Maître assistant A	(ENSSMAL)	Co promoteur
M^{me}. MOUHOUBI I.	Doctorante/Chercheur	(LEM)	Co promotrice
M. FERNANE L.	Maître assistant B	(ENSSMAL)	Examinateur
M^{me}. BOUDOUMA Z.	Ingénieur en chef	(LEM/ENSSMAL)	Examinatrice

Promotion : 2018

Remerciements

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

Nous remercions Monsieur BELKESSA R. professeur à l'ENSSMAL d'avoir encadré notre projet de fin d'étude.

Nous remercions Monsieur MEZOUAR K. maître des conférences A et directeur des études à l'ENSSMAL de nous avoir fait honneur de présider le jury.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à Madame BOUDOUMA Z. et Monsieur FERNANE L. d'avoir acceptés de consacrer de leur temps pour examiner notre travail.

Nous sommes reconnaissantes envers Monsieur OTMANI, H. maître assistant à l'ENSSMAL et Madame MOUHOUBI N.I. chercheur et cadre au niveau du Laboratoire des Études Maritimes, pour leurs conseils et orientations.

Un grand merci à Monsieur KASSALI N. qui nous a accueillis pour un stage pratique au niveau de l'Office National de la Météorologie, pour sa collaboration, son temps, son implication et son soutien.

Nous remercions les doctorants de l'ENSSMAL qui nous ont aidés, particulièrement : Monsieur CHAIB W. pour ses conseils, sa disponibilité et son aide précieuse, ainsi qu'à M^{elle} BENGOUFA S. pour ses instructions et ses encouragements. Sans oublier monsieur AOUDJ C pour sa collaboration.

Nos profonds remerciements s'adressent à l'ensemble de nos camarades de la promotion aménagement du littoral 2017-2018, pour leur présence et leur soutien moral, ainsi que notre camarade de la promotion environnement Monsieur HOGGAS CE. Pour son aide précieuse.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à mes très chers parents Mounira et Ali, dont ma gratitude envers eux ne saurait être exprimée, pour leurs sacrifices, leurs patiences sans limites envers l'enfant difficile que je suis, mais surtout leur amour inconditionnel et sans fin.

À ma petite sœur adorée Ines, ma lumière et ma joie de vivre, qu'aucune distance ne pourra jamais nous séparer, ainsi qu'à mes deux grand frères Mohsen et Nabil, les supports sur lequel je peux me reposer sans craintes.

À tous les membres de ma belle et grande famille.

À Nawel, ma sœur de cœur, ma fidèle et généreuse meilleure amie, celle qui partage avec moi mes joies et mes peines, mes larmes et mon sourire.

À Kaouthar, mon binôme, qui a subi avec moi toutes les difficultés, et qui m'a encouragé et aidé à me relever durant les moments de faiblesse, ensemble on a fini par réussir.

BALASKA Amina

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être, ma maman et mon défunt père espérant que votre bénédiction m'accompagne toujours.

À ma défunte Yemma, pour laquelle je porte un amour profond et sincère.

À mes deux sœurs, pour leur soutien, leur présence, leurs grandes patiences, merci pour tout, qu'ALLAH vous garde pour moi.

À toute la grande famille BENHAIK, qu'on reste toujours uni et proche.

À mon binôme Amina, malgré toutes les difficultés et les tensions, on a réussi à les surmonter ensemble et on est resté soudés jusqu'au bout.

BENHAIK Kaouthar

Sommaire

Remerciement.....	2
Dédicaces	3
Sommaire	4
Liste des figures.....	8
Liste des tableaux.....	11
Liste des abréviations.....	12
Introduction générale.....	14

Chapitre I Généralités sur La zone d'étude

I.1 Situation géographique	17
I.1.1 La baie de Bou-Ismaïl	17
I.1.2 La zone d'étude.....	17
I.2 Caractéristiques géomorphologiques.....	18
I.2.1 Contexte régional	18
I.2.2 Contexte local	18
I.3 Caractéristiques géologiques.....	18
I.3.1 Géologie régionale	18
I.3.2 Géologie locale	18
I.4 Caractéristiques hydrologiques.....	20
I.4.1 Cadre régional	20
I.4.2 Cadre local	20
1. Caractéristiques de l'oued Mazafran	21
2. Formations géologiques spécifiques au niveau de l'oued.....	21
3. Fonctionnement de l'oued Mazafran	21
I.5 Conditions météorologiques et climatiques	21
I.5.1 Le climat	21
1. Climat régional	21
2. Climat local	22
I.5.2 Les températures.....	23

Sommaire

I.5.3 Les précipitations	24
I.5.4 Les vents	24
I.6 Conditions océanographiques	24
I.6.1 Les marées.....	24
I.6.2 Les courants.....	24
a. Le Courant de houle.....	25
b. Courants dus à la marée ou induits par le vent.....	25
I.6.3 Les houles	26
a. Fréquences mensuelles de la houle	27
b. Relation période amplitude de la houle au large	28
c. Directions des houles au large	28
d. Les houles extrêmes du large	29
I.7 Cadre général d'évolution de la zone d'étude	29
I.7.1 Causes naturelles.....	29
I.7.2 Causes anthropiques	29
I.7.3 ouvrages en cours	29

Chapitre II Dynamique hydromorphologique

II.1 Évolution du trait de côte	32
II.1.1 Introduction.....	32
II.1.2 Méthodes d'acquisition et de traitement des données.....	32
II.1.3 Interprétation des résultats	34
II.2.2 Description du modèle SWAN.....	37
II.2.4 Données de base	38
II.2.4.1 Données bathymétriques.....	39
II.2.4.2 Données de houles au large	40
II.2.5 Résultats et interprétation.....	41
II.3.7 Conclusion.....	42

Chapitre III Fonctionnement et modélisation hydro-sédimentaire

III.1 Introduction	44
III.2 Modélisation du transport sédimentaire par le Mike 21	45
III.2.1 Données nécessaires	45
III.2.1.1 Les données bathymétriques	45
1. Approche méthodologique.....	47
2. Résultats et interprétation.....	48
III.2.1.2 Les données relatives au climat et conditions météorologiques	48
1. La houle	48
2. Le Vent.....	49
III.2.2 préparation du modèle	49
III.2.2.1 Configuration du maillage	50
III.2.2.2 Configuration du modèle DHI-Mike FM	50
1. Conditions aux limites	50
2. Paramètres de calcul	51
III.2.3 Simulation de la propagation de la houle par le module SW.....	51
III.2.3.1 Configuration du module SW	51
1. Conditions du niveau marin	51
2. Les conditions de courant.....	51
3. Rupture des vagues	51
4. Conditions initiales des limites.....	52
III.2.3.2 Présentation et interprétation des résultats	53
III.2.3 Simulation des champs de courants générés par la houle par le module HD.....	55
III.2.3.1 Configuration du module HD	55
1. Frottement sur les fonds	55
2. Viscosité turbulente	55
3. Force de Coriolis	55
4. Force des Vents	55
5. Les radiations des champs de houle	55
6. Conditions initiales	55
III.2.3.2 Présentation et interprétation des résultats	56

Sommaire

III.2.4 Modélisation du transport sédimentaire sous l'effet de la houle et du courant ...	58
III.2.4.1 Configuration du module ST	58
III.2.4.2 Présentation et interprétation des résultats	59
III.3 Modélisation du transport sédimentaire par le modèle GSTA	60
III.3.2 Procédure analytique	60
III.3.3 Présentation et interprétation des résultats	61
III.4 Conclusion.....	62
 Chapitre IV Évaluation de la vulnérabilité côtière	
IV.1. Introduction	64
IV.2 Cadre conceptuel	64
IV.3 Méthodologie de l'élaboration de vulnérabilité côtière	65
IV.3.1 Choix des variables pour le CVI physique	66
A. Variable géomorphologique.....	66
B. Variable : trait de côte.....	68
C. Variable : pente.....	69
D. Variable : variation du niveau marin.....	70
E. Variable : hauteur des vagues.....	71
F. Variable : marnage	72
IV.3.3 Choix des variables pour le CVI socio-économique	73
A. Variable : agglomération.....	74
B. Variable : chemin de fer.....	75
C. Variable : réseau routier.....	76
D. Variable : occupation du sol.....	78
E. Variable : héritage culturel	79
F. Variable : statut de protection.....	80
IV.4 Cartes de synthèse de l'indice de vulnérabilités côtière (physique et socio-économique)	81
IV.5 Conclusion	82
Conclusion générale.....	83
Bibliographie	86
Annexe	91

Liste des figures

Figure1 :Situation géographique de la zone d'étude	17
Figure 2: Carte géologique régionale (Bennie1983 in Amghar et Sahraoui, 2005.....)	19
Figure 3 : réseaux hydrographie de la baie de Bou-Ismaïl.....	20
Figure 4 : Statistiques du climat dans la zone de Zéralda. (LEM, 2009).....	22
Figure 5 : Roses récapitulatives des directions de houle au large du secteur (275°-55°). (K.N.M.I in Zemenzer 2004).....	26
Figure 6 : Photos de la sortie de prospection a la plage de Palm Beach, Mai 2018.....	29
Figure7: Organigramme représentant les étapes d'analyse et de traitement par DSAS.....	32
Figure 8 : Illustration de l'évolution du trait de côte (EPR).....	33
Figure 9 : Représentation graphique du taux net de variation du trait de côte de la zone d'étude.....	34
Figure 10 : Carte de l'évolution du trait de côte (2003-2017).....	35
Figure 11 : Organigramme du déroulement des étapes de calcul.....	38
Figure 12 : Carte bathymétrique de la cote algéroise (2017).....	39
Figure 13 : Carte de réfraction de la houle direction 315°.....	39
Figure 14: Présentation graphique de la bathymétrie de la zone d'étude.....	45
Figure15: Roses des vents pour les periode hivernale et estivale (2017).....	46
Figure 16 : Présentation du modèle du maillage effectué pour la simulation.....	48
Figure 17 :Présentation de la propagation des houles secteur 45° NE (Hs =2.56 Tp=8).....	50
Figure 18 : Présentation de la propagation des houles secteur 270° O (Hs =2.67 Tp=8).....	51
Figure 19 : Présentation de la propagation des houles secteur 315° NO (Hs =2.64 Tp=8).....	52
Figure 20 : Représentation du champ de courant induit par les houles de secteur 315°NO.....	54
Figure 21 : Représentation du champ de courant induit par les houles de secteur 45°NE	
Figure 22 : Diagramme récapitulatif de la procédure analytique pour le module ST du Mike 21.....	56
Figure 13 : Présentation du sens du transport sédimentaire par la houle de Provence 45° NE.....	57
Figure24 : Sens du transport sédimentaire.....	58

Liste des figures

Figure 25 : Modélisation du transport sédimentaire dans la zone de Palm Beach par le modèle GSTA.....	59
Figure 26 : Méthodologie de calcul de l'indice de vulnérabilité.....	65
Figure 27 : Schéma structural simplifié du Sahel d'Alger (Boudiaf,1996).....	67
Figure 28 : Représentation du degré de vulnérabilité, liée à la variable géomorphologie.....	67
Figure 29 : Représentation du degré de vulnérabilité, liée à la variable trait de côte.....	69
Figure 30 : Représentation du profil topographique sur Google Earth.....	69
Figure 31 : Représentation du degré de vulnérabilité, liée à la variable pente.....	70
Figure 32: Carte de la distribution géographique des vitesses de variation du niveau de la mer (Topex,1993).....	71
Figure 33: Représentation du degré de vulnérabilité, liée à la variable niveau de la mer.....	72
Figure 34 : Représentation du degré de vulnérabilité, liée à la variable hauteur des vagues.....	73
Figure 35 : Représentation du degré de vulnérabilité, liée à la variable marnage.....	74
Figure 36 : Représentation du degré de vulnérabilité, liée à la variable agglomération.....	75
Figure 37 : carte représentant le réseau ferré de la banlieue d'Alger avec la nouvelle ligne de Birtouta à Zéralda et les projets d'extensions	76
Figure 38: Représentation du degré de vulnérabilité, liée à la variable chemin de fer.....	77
Figure 39 : Carte google maps du réseau routier de la commune de Zéralda.....	77
Figure 40 : Représentation du degré de vulnérabilité, liée à la variable réseau routier.....	77
Figure 41 : Représentation du degré de vulnérabilité, liée à la variable occupation du sol.....	87
Figure 42 : Représentation du degré de vulnérabilité, liée à la variable héritage culturel.....	79
Figure 43 : Représentation du degré de vulnérabilité, liée à la variable statut de protection.....	80

Liste des figures

Figure44 : Carte de synthèse représentant le CVI (Physique) de la plage de Palm-Beach.....	81
Figure45 : Carte de synthèse représentant le CVI (Socio-économique) de la plage de Palm-Beach.....	81

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Tableau récapitulatif des caractéristiques de l'oued Mazafran	20
Tableau 2 : Températures enregistrées sur l'année 2017 dans la région d'Alger	22
Tableau 3 : Moyennes des vitesses du vent et direction dominante station Alger port pour l'année 2017 (Tutiempo algerie).....	23
Tableau 4 : Fréquences d'apparition du vent par vitesse et par direction au large d'Alger (LEM, 1999).....	23
Tableau 5 : Fréquences mensuelles % de la houle au large d'Alger par direction (LEM, 1999)...	25
Tableau 6 : Répartition des états de mers par période (rapport DTWPA2011).....	26
Tableau 7 : Hauteurs des houles extrêmes (m) par secteur de provenance au large d'Alger (LEM, 1999).....	27
Tableau 8 : Caractéristiques de la houle.....	47
Tableau 9 : Les variables utilisé pour le calcul de l'indice de vulnérabilité.....	60
Tableau 10 : des variables du CVI physique (by Hammar et al.2010).....	61
Tableau 11 : des variables du CVI Socio-économiques (by Mclaughlin et al.2001).....	69
Tableau 12: Population des deux communes de la zone d'étude (geohive,2008).....	70
Tableau 13: résultats finaux de la classification.....	73

Liste des Abréviation

CVI : Indice de Vulnérabilité Côtière.

DSAS : Digital Shoreline Analysis System.

DHI : Danish Hydraulic Institute.

D.T.P.W.A: Direction des Travaux publics de la Wilaya d'Alger

EPR : End Point Rate.

GSTA : Grain Size Trend Analysis.

HD : Hydrodynamic model.

Hs : Hauteur significative.

LEM : Laboratoire des Études Maritimes.

ONM : Office National de Météorologie.

SGH: Sogreah.

SHFN : Service Hydrographique des Forces Navales (France).

SHOM : Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (France).

SIG : Système d'Information Géographique

ST : Sand Transport model.

SW : Spectral Wave model.

SWAN : Simulating WAVes Nearshore.

Tp : Période de pique.

WGS 84 : World Geodesic System 1984

γ : Cambrure de la houle

α :Pente locale du fond

Introduction générale

Introduction générale

Les systèmes côtiers sont des entités en équilibre dynamique à l'égard des facteurs hydrodynamiques, sédimentaires et géomorphologiques (**Carter, 1988**). Toutefois, cet équilibre est fragile, comme en témoigne l'érosion côtière sévère qui affecte les littoraux des différentes régions côtières du monde (**Stone et Orford, 2004**).

En effet, l'espace littoral fait l'objet de nombreuses convoitises et ce, d'autant plus que les migrations de populations vers les littoraux sont de plus en plus importantes. L'homme se trouve dans l'obligation de construire des ouvrages et d'aménager son littoral.

Or, cet espace d'interface terre mer est fragile, il est le siège d'un équilibre souvent précaire entre différents facteurs naturels ou humains, alors il est nécessaire qu'il soit protégé avec respect.

Environ 20 % des côtes de la planète sont constituées de plages dont près de 70 % traversent une phase d'érosion, 20 % sont stables et 10 % manifestent des signes d'engraissement.

Pays à façade maritime, l'Algérie n'a pas échappé au phénomène séculaire, constaté au niveau mondial en général et en Méditerranée en particulier, de concentration des hommes et des activités sur les régions littorales. Ce phénomène se manifeste à travers l'importance des établissements humains et des activités économiques sur la frange littorale mais aussi et surtout à travers les dommages qui en résultent sur le milieu et ses ressources.

La plage de Palm Beach, de la commune de Zéralda à l'Ouest d'Alger, constituant un tronçon de la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl, est soumise à ce phénomène d'érosion.

Ce phénomène est lié aux facteurs naturels régissant la dynamique littorale de cette plage, à l'urbanisation proche de la mer et à la fréquentation excessive des hauts de plages. La somme de tous ces facteurs s'est soldée par l'altération de l'équilibre naturel du littoral.

L'étude des processus hydro-sédimentaires visent à améliorer la compréhension de la réponse de la zone littorale aux scénarios des forçages actuels et futurs.

Pour répondre à cette problématique, nous avons structuré notre travail selon la méthodologie suivante :

Introduction générale

Chapitre I : Description de la zone d'étude afin de se familiariser avec la nature du milieu et les différents indicateurs qui peuvent influé son évolution.

Chapitre II : Les défis portent sur l'analyse des facteurs de forçage en jeu dans les mécanismes d'érosion et opérant à différentes échelles de temps et d'espace.

Chapitre III : Les approches combinant des méthodes d'observation de terrain et de la modélisation doivent permettre d'évaluer les risques littoraux liés aux aléas naturels.

Chapitre IV : L'étude portant sur la vulnérabilité débouchera sur de nouveaux paradigmes pour une gestion durable et intégrée des risques côtiers.

Chapitre I
Généralités sur
La zone d'étude

I.1 Situation géographique :

I.1.1 La baie de Bou-Ismaïl :

La Baie de Bou Ismaïl, est l'une des plus importantes baies de la côte Algérienne, elle est située dans la partie centrale du littoral Algérien, à 50 km de l'Ouest d'Alger dans la wilaya de Tipaza, entre 2°25' à l'Ouest et 2°55' à l'Est.

I.1.2 La zone d'étude :

La zone de Palm Beach est située au niveau du secteur Est de la baie de Bou-Ismaïl dans la commune de Staoueli à environ 27Km à l'Ouest d'Alger, elle s'étend sur un linéaire côtier de 2000m, délimitée à l'ouest par la Méditerranée, à l'est par la commune de Zéralda, au Nord par le port présidentiel, au Sud par l'épi transversal et les brise-lames du complexe touristique de Zéralda, au niveau des:

- Latitudes : 36°43'44" à 36°44'48".
- longitudes : 2°50'12" à 2°50'44".

Du fait de sa proximité cette zone convoitée subit énormément de pressions dues aux flux touristiques conséquents notamment durant la saison estivale.

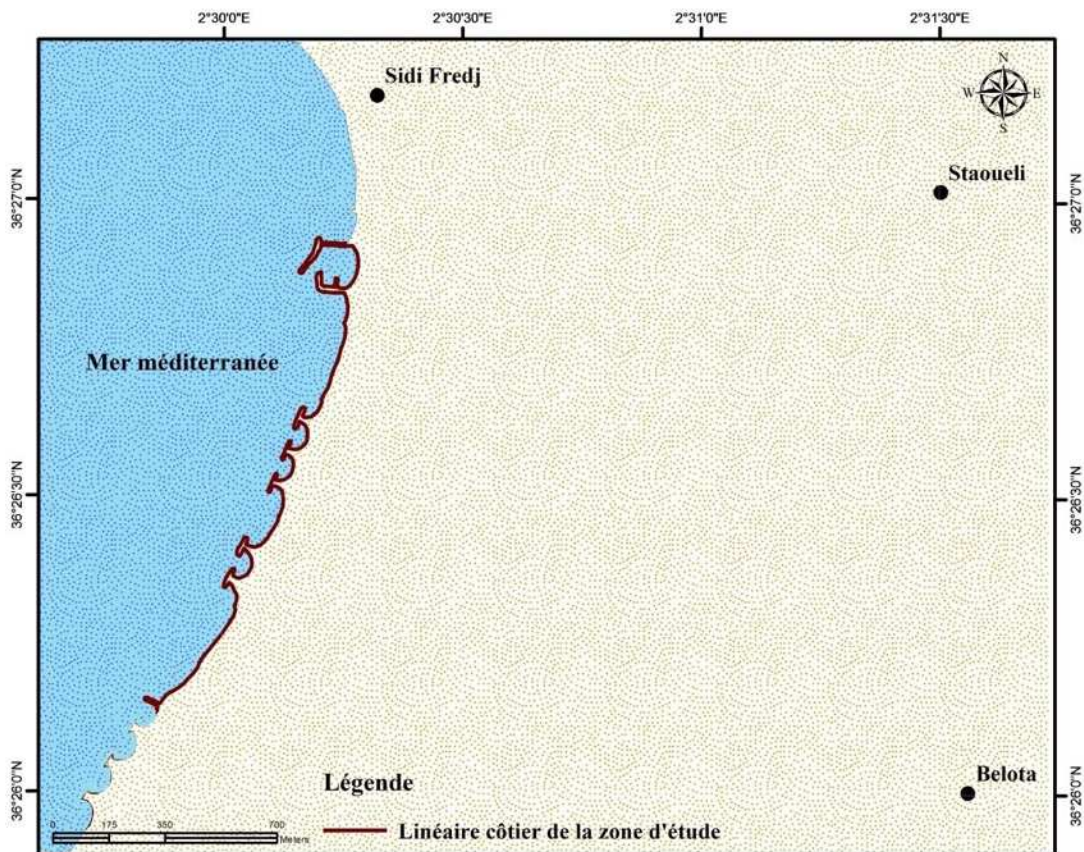


Figure 1 : Situation géographique de la zone de Palm-Beach

I.2 Caractéristiques géomorphologiques :

I.2.1 Contexte régional :

La région de l'Algérois présente une topographie contrastée, variant des zones basses et plates aux reliefs escarpés passant par une zone intermédiaire à pente douce modelée par des écoulements à lits encaissés.

La plaine est une zone plane de 40 à 50 m d'altitude, elle est formée de la juxtaposition de sous bassins versants s'articulant en quatre ensembles : bassin occidental, bassin de Mazafran, bassin d'El-Harrach et le bassin oriental.

Le Sahel un bombement anticlinal à pente faible sépare la plaine de la mer.

I.2.2 Contexte local :

La côte de Palm Beach fait partie du littoral du Sahel occidental d'Alger et correspond à une étroite plaine côtière dont la largeur et l'altitude sont respectivement comprises entre 500m et 1000m entre 0 et 25m de profondeur.

Les côtes sont en général basses et surtout sableuses à l'Est de l'oued Mazafran. Devant ce dernier, le plateau continental retrouve son individualité et prend une extension maximale pour la baie de Bou-Ismaïl, soit 11 Km de large (**Leclaire, 1972**).

I.3 Caractéristiques géologiques :

I.3.1 Géologie régionale :

La région d'Alger est constituée d'un socle métamorphique primaire « le massif d'Alger » qui est bordé de dépôts sédimentaires du Sahel et de la Mitidja.

Cette région se trouve à la limite de deux domaines géologiques bien distincts : les Bibans au Nord et la zone Sud-Tellienne au sud séparés par une dépression topographique.

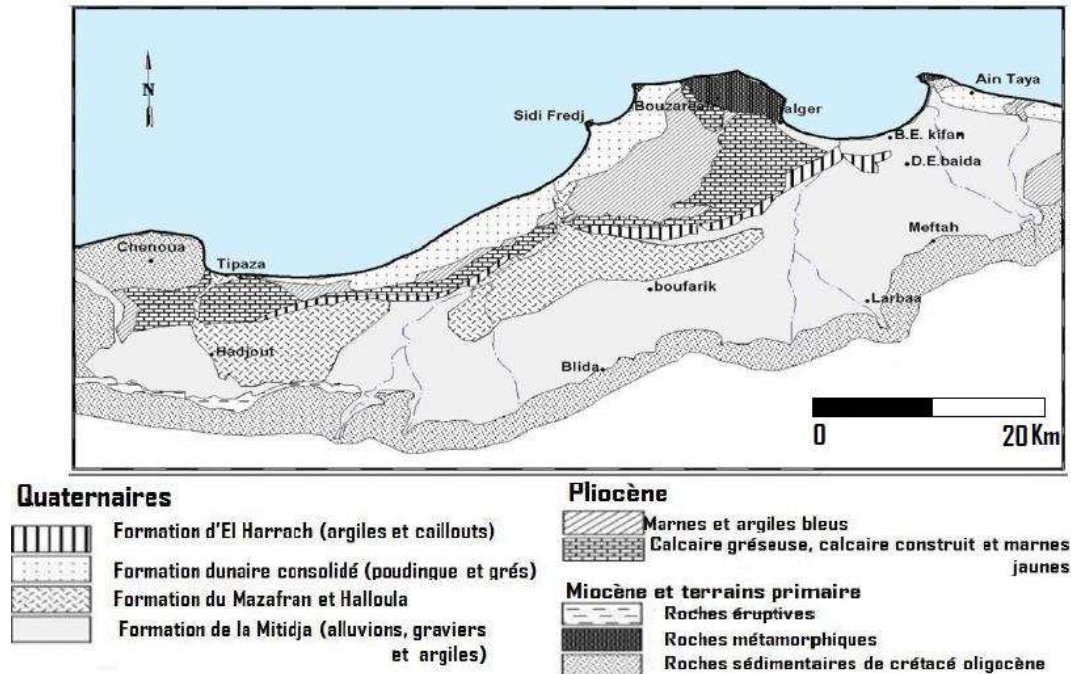


Figure 2 : Carte géologique régionale (Bennie1983 in Amghar et Sahraoui, 2005)

On peut distinguer quatre ensembles géologiques :

- Le Crétacé inférieur formé par la chaîne des Bibans, un alignement de hauts djebels sous végétation naturelle.
- Le crétacé moyen avec des limites stratigraphiques Les bancs calcaires forment un alignement de petites collines boisées.
- Le crétacé supérieur est une puissante série de marnes grises, avec quelques rares blancs calcaires que l'érosion a fortement entaillés.
- Le Miocène présente des reliefs plus tourmentés.

I.3.2 Géologie locale :

Le littoral de Palm Beach est caractérisé par une importante accumulation, d'alluvions, de sables et de graviers. Le faciès du Quaternaire marin présente une succession de couches de dépôts de plage (atteignant 10 m d'épaisseur maximum) (Dagorne, 1970).

I.4 Caractéristiques hydrologiques

I.4.1 Cadre régional

La zone côtière renferme des nappes généralement peu profondes mais de qualité variable, exploitées par de nombreux puits pour l'irrigation.

On distingue les principaux oueds de direction Est-Ouest : au niveau du bassin versant occidental oued Nador avec 2 sous bassins versants de l'oued Mazafran et oued El-Harrach.

Tous ces oueds sont issus de différents affluents provenant de l'Atlas coulant généralement suivant une direction Sud-Nord, traversent la plaine de la Mitidja avant de déverser en mer.

I.4.2 Cadre local :

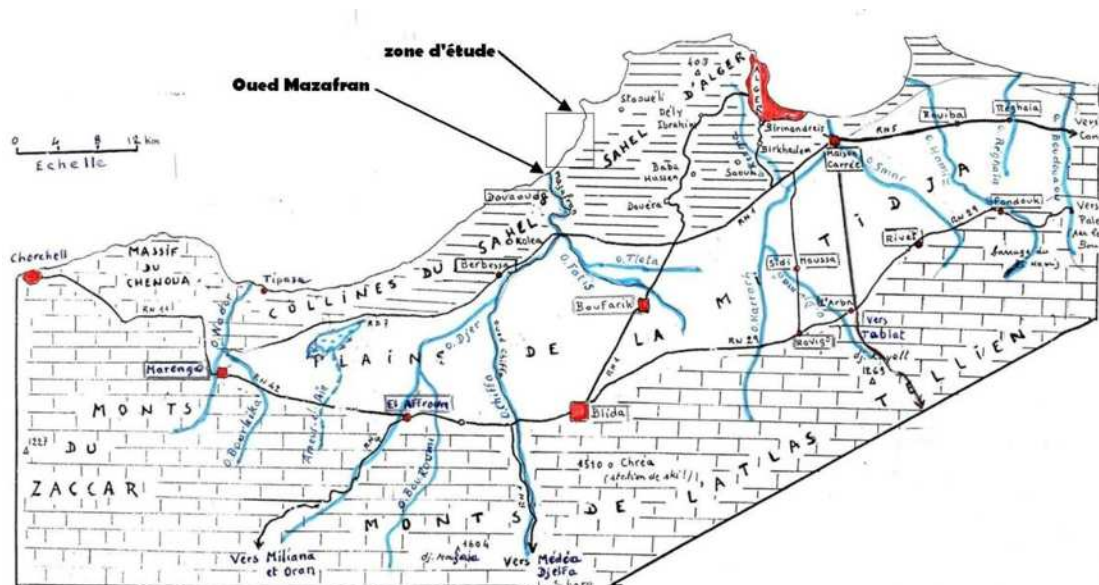


Figure 3 : réseaux hydrographie de la baie de Bou-Ismaïl

L'oued Mazafran qui prend sa source dans les gorges de la Chiffa est l'un des plus importants de la région et influençant principalement la dynamique littorale de la plage de Palm Beach.

❖ Caractéristiques de l'oued Mazafran :

Tableau 1 : Tableau récapitulatif des caractéristiques de l'oued Mazafran (Al Sid Chikh S,2011)

Longueur	Étiage	Débit solide	Pluviométrie moyenne	Variations des apports
24 km ²	6 mois (long)	5,4 millions de m ³ /an.	720mm/an	De quelques mg/l à plus de 15g/l

❖ Formations géologiques spécifiques au niveau de l'oued :

- Erodables : schistes, marnes et calcaire.
- Résistantes : marnes bleues (miocène inférieur et pliocène), grès et poudingues (miocène inférieur), andésites, doreïtes et rhyolites (roches éruptives).

❖ Fonctionnement de l'oued Mazafran :

Crues d'hiver et de printemps soudaines, fortes et rapides, les suspensions d'hiver, sont presque entièrement minérales et très abondantes pendant les crues, ce sont elles qui fournissent l'essentiel des apports à la mer tandis que les suspensions d'été, sont presque exclusivement organiques, et assez abondantes.

I.5 Conditions météorologiques et climatiques :**I.5.1 Le climat :****• Climat régional :**

Les éléments fondamentaux du climat des pays du Sahel sont l'irrégularité du régime et l'alternance de deux saisons nettement différentes, le climat est donc de type méditerranéen subhumide, caractérisé par des hivers froids et humides et des étés chauds et secs.

L'influence de la proximité de la mer qui a un effet modérateur, atténue les extrêmes de températures et maintient, une humidité relative pratiquement constante au cours de l'année, et confère à ces régions un climat remarquablement tempéré.

• Climat local :

Le climat de Palm Beach est chaud et tempéré, l'hiver se caractérise par des précipitations bien plus importantes qu'en été.

Selon la classification de (Köppen-Geiger), le climat est de type Csa (climat méditerranéen tempéré avec des étés chauds et secs)

I.5.2 Les températures :

La température moyenne annuelle est de l'ordre de 17°C avec des températures estivales moyennes de 24°C et des températures hivernales aux alentours de 13°C.

Les températures moyennes les plus élevées sont enregistrées durant le mois d'août (26,4°C) et les plus basses durant le mois de Février (13,7°C).

Tableau 2 : Températures enregistrées sur l'année 2017 dans la région d'Alger (Tutiempo 2018).

Mois	Jan.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	
T°C	Min	5,2	2,8	8,1	10	12,2	10	15,9	15,8	13,8	13,5	9,4	6,5
	Max	23,8	27,6	29,3	28,3	35,6	37,2	38	38,2	36,7	35,2	32,4	28,5
	Moy	14,5	13,7	16	17,6	19,7	23	25,6	26,4	24,8	22,6	17,9	15,4

I.5.3 Les précipitations :

La pluviométrie moyenne annuelle est de 650 mm environ, l'hétérogénéité mensuelle et annuelle des précipitations est importante, les précipitations relativement conséquentes sont mal réparties dans l'année, on y distingue deux saisons :

- Une saison pluvieuse d'Octobre à Avril : les mois les plus pluvieux sont Novembre et Décembre, les pluies hivernales sont souvent courtes et intenses, affectant le débit des oueds.
- Une saison sèche du mois de Mai au mois de Septembre.

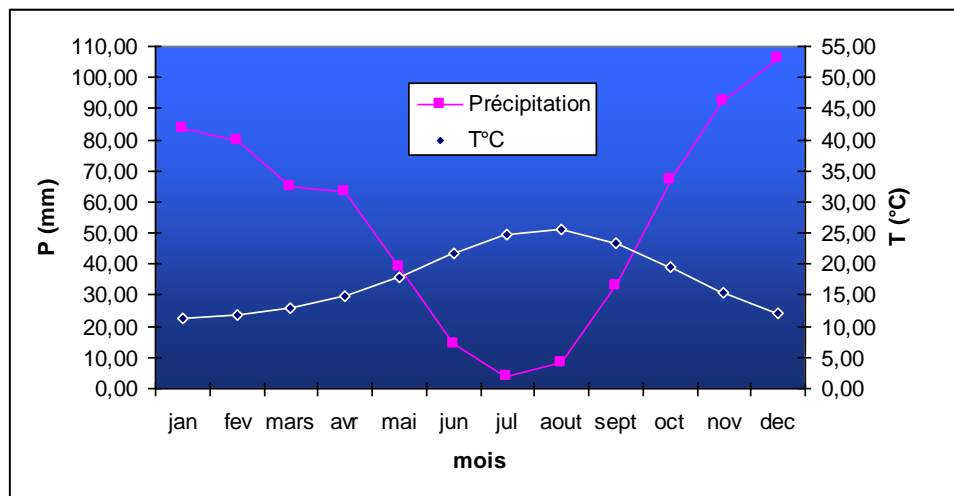


Figure 4 : Statistiques du climat dans la zone de Zéralda. (LEM, 2009)

I.5.4 Les vents

Tableau 3 : Moyennes des vitesses du vent et direction dominante station Alger port pour l'année 2017 (Tutiempo algerie)

Mois	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	Moyenne annuelle
Vent(Km/h)	7.5	8.7	7.9	10.7	7.2	7.5	7.9	8.6	7.5	4.6	5.9	6.1	7.5
Direction dominante	270°	22.5°	270°	360°	45°	45°	45°	360°	315°	270°	292.5°	270°	-

Les vents sont générateurs de vagues, houles, clapots, et de courants superficiels, leurs impacts augmentent avec leurs vitesses. Les données recueillies, confirment l'existence de deux périodes distinctes :

- Une période hivernale (Octobre Mars) : avec des vents dominants de secteur ouest ; avec une fréquence allant de 60 à 80% et présentent une vitesse supérieure à (6.7 km/h).
- Une période estivale (Avril Septembre) : les vents dominants sont de secteur est et nord - est, avec des fréquences de 45 à 75% pour le secteur nord-est et des vitesses inférieures à (8.2 km/h).

Tableau 4 : Fréquences d'apparition du vent par vitesse et par direction au large d'Alger (LEM, 1999).

Vitesses (m/s)	Directions				
	W	NW	N	NE	E
0,5 – 1,5	1,0 %	0,7 %	1,1%	1,0 %	1,4 %
2,0 – 5,1	10,4 %	6,1 %	4,8 %	6,5 %	9,1 %
5,6 – 10,7	13,2 %	6,1 %	2,4 %	2,8 %	5,6 %
11,2 – 17,1	5,3 %	2,7 %	0,6 %	0,5 %	0,5 %
17,3 – 24,0	1,1 %	0,8 %	0,1 %	0,0 %	0,1 %
> 25,0	0,0 %	0,1 %	0,0 %	0,1 %	0,0 %
TOTAL	31,0 %	16,5 %	9,0 %	10,9 %	16,7 %

A partir des données du tableau, on note la prédominance de deux secteurs :

- Le secteur Ouest à Nord-Ouest avec 47,5%.
- Le secteur Est avec 16,7%.

Les vents qui proviennent du Nord-Ouest sont les plus susceptibles d'engendrer les houles les plus violentes.

I.6 Conditions océanographiques

I.6.1 Les marées

La mer méditerranéenne bénéficie d'une faible amplitude de marée en particulier sur les côtes algériennes où elles dépassent rarement 35 cm avec des périodes de 12 à 24h. Les variations journalières observées sur les côtes algériennes sont inférieures à 10 cm, la différence entre la valeur maximale et valeur minimale de la marée ne dépasse pas 50 cm (LEM 1996).

I.6.2 Les courants

Les courants jouent un rôle très important dans le transport sédimentaire et participent dans l'évolution de la morphologie côtière. Par conséquent, ils peuvent donner naissance aussi bien à des accrétions (ensablement) qu'à des déficits sédimentaires (érosion), bien que, en environnement maritime, l'action maximale soit généralement imputable à la houle. (Caminade, 1995).

Il existe plusieurs types de courants qui peuvent réguler la zone côtière, parmi lesquels on trouve la prédominance des courants suivants au niveau de notre zone d'étude :

a. Le Courant de houle :

Les courants de houle sont localisés dans la zone comprise entre le déferlement et la côte, lorsque la houle se présente avec une certaine obliquité par rapport au rivage.

Les transferts côtiers sont surtout conditionnés par les différentes dérives littorales engendrées par la houle, pendant l'hiver ils ont une direction ouest-est du fait de la houle dominante de Nord-ouest. Le reste de l'année, les courants ont plutôt une direction est-ouest.

Lorsque la houle est frontale, des échanges importants peuvent se faire entre la côte et le large par des courants, orientés vers le large, ces courants traversent la zone de déferlement, et dépassent parfois 2 nœuds (1 m/s).

b. Courants dus à la marée ou induits par le vent :

Les courants de marée, du fait du faible marnage, sont négligeables voire même inexistantes.

Du fait de l'intensité plutôt faible des courants généraux et des courants de marée, l'influence des vents est sensible. On admet généralement que le vent crée un courant de dérive dont l'intensité en surface est voisine de 3% de la vitesse du vent (SGH, 2010).

I.6.3 Les houles

La houle est due à l'action du vent sur la surface de l'eau et elle subit des modifications en s'approchant de la côte sous l'effet de la variation de la bathymétrie (effet du fond), la connaissance de ses caractéristiques (direction, amplitude, réfraction) permet de comprendre les déplacements sédimentaires dans la zone de déferlement, le volume et les sens de transit littoral, ces caractéristiques conditionnent donc le dimensionnement de l'ouvrage de protection ainsi que son implantation.

a. Fréquences mensuelles de la houle :

Tableau 5 : Fréquences mensuelles % de la houle au large d'Alger par direction (LEM, 1999).

Mois	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
janvier	8,1	12,9	18,2	5,0	6,5	13,2	28,8	7,3
février	8,8	10,3	12,6	4,0	6,1	16,9	35,6	5,8
mars	11,3	12,6	15,8	3,6	4,5	12,3	30,5	9,2
avril	11,7	15,4	16,0	2,0	4,4	13,7	26,7	10,2
mai	8,2	26,3	31,9	3,0	3,3	7,2	13,9	6,2
juin	9,2	29,1	29,8	1,8	1,4	8,2	16,4	4,2
juillet	5,9	32,5	35,1	1,4	1,0	5,9	16,3	2,0
août	8,8	27,7	37,3	1,9	1,1	5,0	13,4	4,9
septembre	6,7	26,4	40,5	2,2	2,3	4,6	14,8	2,5
octobre	7,8	14,1	20,3	3,2	4,2	14,8	28,8	6,8
novembre	5,5	5,8	10,0	5,1	8,0	15,9	40,4	9,4
décembre	10,2	6,2	9,4	4,6	7,5	15,0	37,1	10,0
moyenne	8,5	18,3	23,1	3,2	4,2	11,1	25,2	6,5

- Les houles d'ouest, d'est et de nord-est sont les plus fréquemment observées tandis que les houles pour le secteur nord et nord-ouest ont une fréquence d'apparition plus faible, les houles de tempête par contre proviennent essentiellement du secteur ouest.
- Les fréquences d'observations sur l'année des houles d'est et d'ouest sont sensiblement identiques avec toutefois une légère prédominance du secteur est alors que le secteur nord a une répartition assez régulière durant l'année.

b. Relation période amplitude de la houle au large :

Tableau 6 : Répartition des états de mers par période (rapport DTWPA2011).

État de la Mer	Amplitude (m)	Période de la houle globale
Calme (<0)	< 0,25	5,3
0	0,25-0,75	23,1
1	0,75-1,75	41,1
2	1,75-2,75	12,2
3	2,75-3,75	3,3
4	> 3,75	1,5
Indéterminée	-	13,5

Les houles observées ont pour la majorité (75%) une période courte (inférieure ou égale à 7s), le reste des houles (environ 3%) ont une période plus longue (de 10 à 13s).

c. Directions des houles au large :

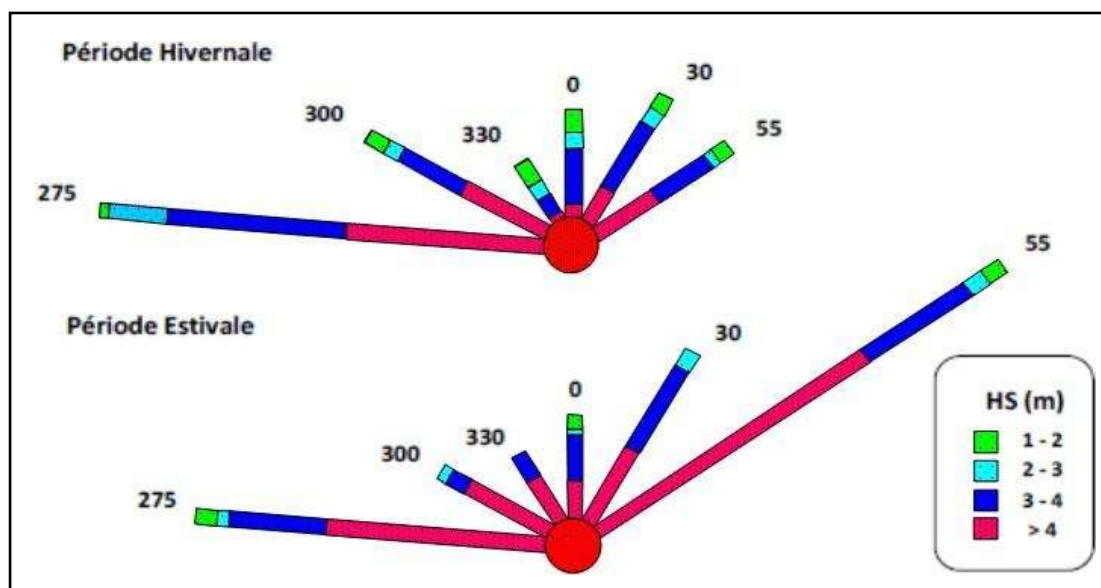


Figure 5 : Roses récapitulatives des directions de houle au large du secteur (275°-55°).(K.N.M.I in Zemenzer 2004)

On déduit que la répartition des houles est globalement concordante avec le régime des vents et est distribuée plus au moins de façon saisonnière :

- **En hiver** les houles prédominantes sont de secteur ouest-nord-ouest avec une période moyenne de 8 à 9s, des périodes supérieures à 10s sont relevées lors des tempêtes elles peuvent atteindre 13s et des amplitudes de 1 et 3 m et pouvant atteindre les 4m.
- **En été** les houles les plus dominantes sont issues du secteur nord-est avec des amplitudes moins faibles tandis que les houles de secteur ouest sont assez importantes.

d. Les houles extrêmes du large :

Tableau 7 : Hauteurs des houles extrêmes (m) par secteur de provenance au large d'Alger (**LEM, 1999**).

	Est		Nord-Est		Nord		Nord- Ouest		Ouest		Toutes directions	
Direction de houles (Hs)	Tp	Hs	Tp	Hs	Tp	Hs	Tp	Hs	Tp	Hs	Tp	Hs
Biennale	9,95	4,12	10,91	4,93	10,88	4,90	10,00	4,16	13,19	7,36	13,25	7,44
Quinquennale	10,65	4,70	11,69	5,67	11,77	5,75	10,85	4,87	13,98	8,43	13,91	8,34
Décennale	11,14	5,14	12,23	6,23	12,37	6,38	11,42	5,40	14,49	9,22	14,37	9,02
Vingtennale	11,61	5,59	12,72	6,79	12,92	7,02	11,96	5,94	14,97	10,02	14,78	9,70
Cinquantennale	12,17	6,17	13,32	7,53	13,58	7,87	12,60	6,65	15,54	11,08	15,29	10,60
Centennale	12,58	6,62	13,73	8,08	14,02	8,50	13,05	7,18	15,93	11,88	15,64	11,27

- Pour les périodes de retour biennales, on observe que les houles essentiellement de direction ouest sont les plus énergétiques avec une valeur de 7.36m, par contre les houles de direction est sont les plus faibles avec des valeurs centennales ne dépassant pas une hauteur de 7m.
- La virulence du secteur ouest est illustré par la valeur de la houle de retour biennale qui équivalent à une houle de période de retour centennale pour les directions Est

I.7 Cadre général d'évolution de la zone d'étude :

La zone de Palm-Beach par son attrait touristique a toujours été l'objet de convoitise, en plus la zone a subi des perturbations atmosphériques très violentes durant ces dernières années ce qui a mené à sa dégradation qui s'est traduite par une érosion intense (des talus, des chemins d'accès et de sa dune bordière), et le trait de côte qui a reculé de 10m, la combinaison des facteurs anthropiques et naturels en est la cause :

I.7.1 Causes naturelles :

L'élévation du niveau de la mer estimée à 3.2 mm/ans de 1993 à 2014. (**GEIC, 2011**)

La morphologie de la plage qui est ouverte et exposée à la houle dominante dans la région.

La forte tempête qui a eu lieu durant l'hiver 2009 parmi les dégâts survenus à cette époque-là on peut citer :

- Des éboulements ont emporté une partie de la falaise (surplombée par une route et des habitations) et une partie de l'esplanade (promenade)
- Des affouillements intenses et un état d'instabilité avancée des talus en haut d'estran ainsi que basculements de pans de terrains.
- Les dunes nourricières en voie de disparition suite à l'occupation aléatoire de ces espaces, ce qui influence les plages aériennes et le trait de côte (recul, dégraissement, rupture du profil d'équilibre naturel de la plage) à cause de la perte de sédiments.

I.7.2 Causes anthropiques :

La présence de deux rejets urbains à l'est, à l'ouest et le rejet d'une station d'épuration au centre de la zone d'étude sans aucun traitement préalable des eaux.

Construction des barrages (Larhat, de Bouroumi et de Koudiat Asserdoun) au niveau de l'oued Mazafran

Les ouvrages maritimes le port de plaisance de Zéralda et les Brise-lames et l'épi du complexe touristique de Zéralda.

L'urbanisation intensive du littoral, la construction d'immeubles, de promenades, de routes et des hôtels. ...

I.7.3 ouvrages en cours :

Pour y remédier, un projet d'installation d'une batterie de cinq (05) brises lames, qui a pour but la protection du rivage de Palm Beach, l'étude a été réalisée par la collaboration des deux bureaux d'études : le LEM et Sogreah.

Le projet est toujours en cours d'exécution trois (03) brises lames ont été finalisés à 100%, et deux

(02) sont toujours en cours d'exécution.

En complémentarité, un projet de rechargement artificiel de la plage a été recommandé par le LEM, on a eu l'occasion d'observer l'état d'avancement des travaux durant la sortie de prospection qui a été effectuée durant le mois de Mai 2018.



Figure 6 : Photos de la sortie de prospection à la plage de Palm Beach, Mai 2018.

Chapitre II
Dynamique
Hydromorphologique

II.1 Évolution du trait de côte

II.1.1 Introduction

L'évolution du trait de côte est un phénomène naturel engendré par la conjonction d'un certain nombre de processus dynamique (marins, continentaux et biologiques) et dépendant des caractéristiques géomorphologies des systèmes littoraux (les plages sont plus sensibles à l'érosion, la vitesse de recul des falaises dépend de la nature du substrat et les rivages limono vaseux sont plutôt en accrétion), mais ces phénomènes naturels sont exacerbés par des actions anthropiques qui perturbent l'équilibre dynamique des milieux littoraux [Daniel & Hubaud, 1996].

On peut faire face à ces phénomènes par la mise en place de différents types d'ouvrage de protection dont les ouvrages lourds de type brise-lames, ou des solutions douces.

Un brise-lames est une construction du type digue ou jetée, établie devant un port, un abri pour le protéger de la mer lors de mauvais temps et parallèlement au tracé de la côte, 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.

Ils provoquent une décélération de la dérive littorale en diffractant aussi la houle lorsqu'elle heurte les extrémités des brise-lames induisant une sédimentation à leur abri.

Les brise-lames arrêtent l'érosion des côtes et accroissent en superficie les plages, ils provoquent dans le secteur immédiatement adjacent à l'aval, dans le sens de la dérive littorale, un déficit de matériaux qui accentue les phénomènes d'érosion. [PASKOFF Roland éditions 1993].

II.1.2 Méthodes d'acquisition et de traitement des données

- Acquisition des images satellitaire des années 2003, 2009, 2013 et 2017 en période estivale (août) via Google Earth Pro.
- Géo référencement des cartes dans le système WGS84 et digitalisation du trait de côte via le logiciel ArcGis.
- Traitement par DSAS (une extension de l'ArcGis) :

Pour quantifier les changements de position du trait de côte, nous avons utilisé l'extension Digital Shoreline Analysis System (DSAS) conçue par Thieler et Danforth (1994), pour le programme hôte ArcGIS de la société ESRI.

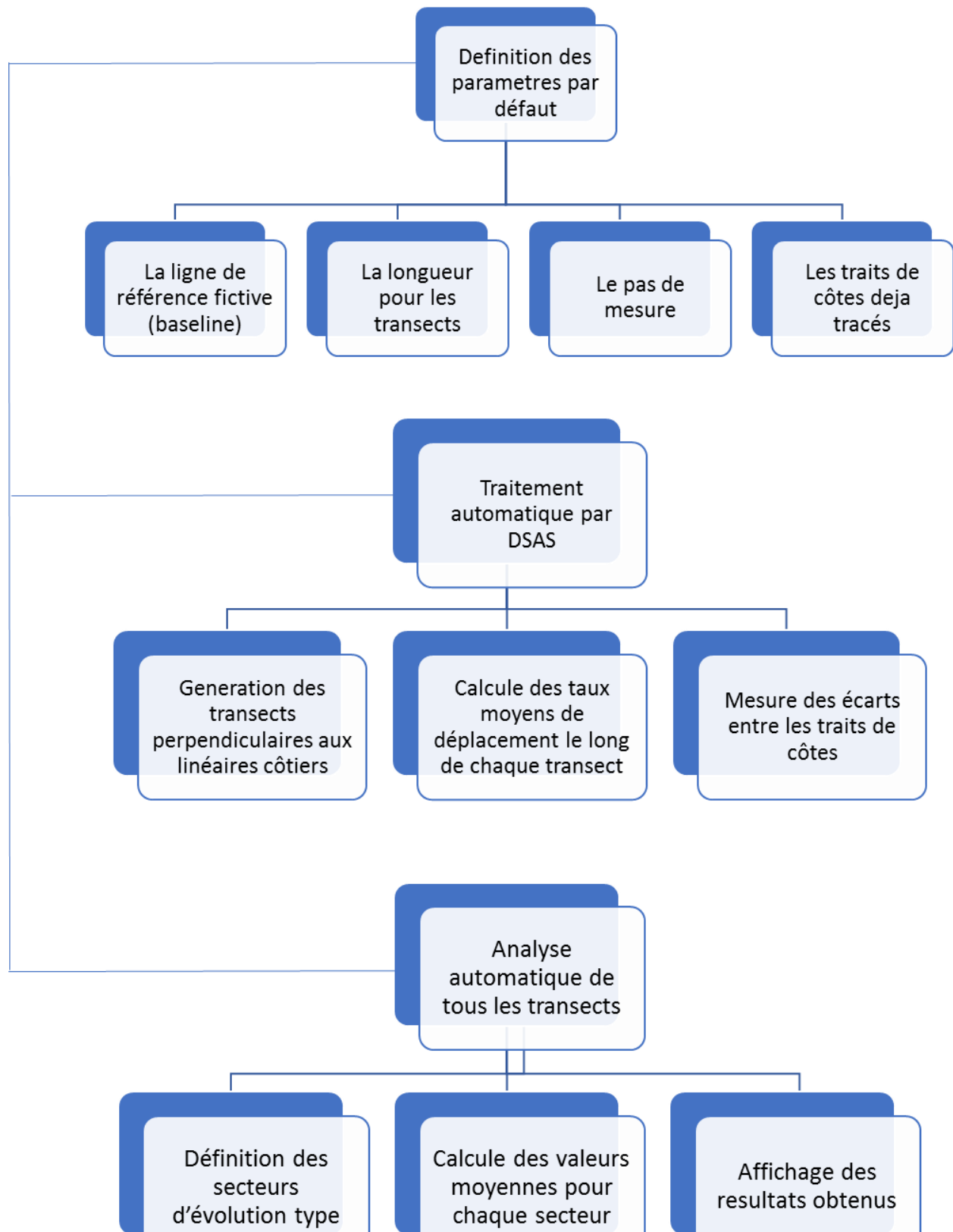


Figure 7 : Organigramme représentant les étapes d'analyse et de traitement par DSAS

Au final dans les tables d'attributs des transects, on dispose, à l'issue du traitement, en plus des attributs géographiques, des attributs statistiques dont l'EPR que nous avons sélectionné.

L'End Point Rate (EPR) ; est le rapport de la distance entre le trait de côte le plus ancien et le plus récent sur le temps (nombre d'années) écoulé entre les deux dates, exprimé en mètres/an, ses principaux avantages sont la facilité de calcul et l'exigence minimale de seulement deux dates, il convient bien lorsque l'on ne dispose que de deux traits de côte pour évaluer la cinématique littorale (**Thieler et al, 2005**).

L'inconvénient majeur est que dans les cas où plus de données sont disponibles, les informations supplémentaires peuvent être ignorées ; les changements de signe, l'ampleur ou les tendances cycliques peuvent être manqués (**Crowell et autres, 2011; Dolan et autres, 2011**).

II.1.3 Interprétation des résultats

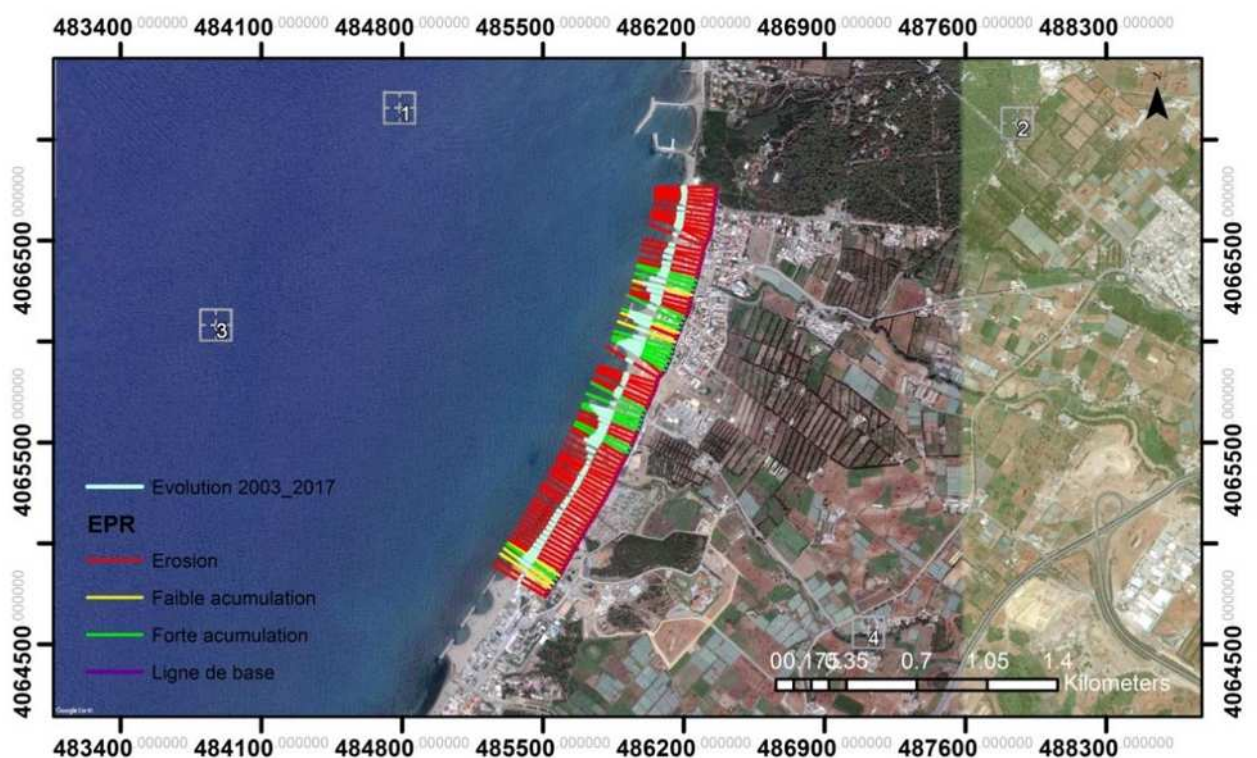


Figure 8 : Illustration de l'évolution du trait de côte de Palm-Beach (EPR)

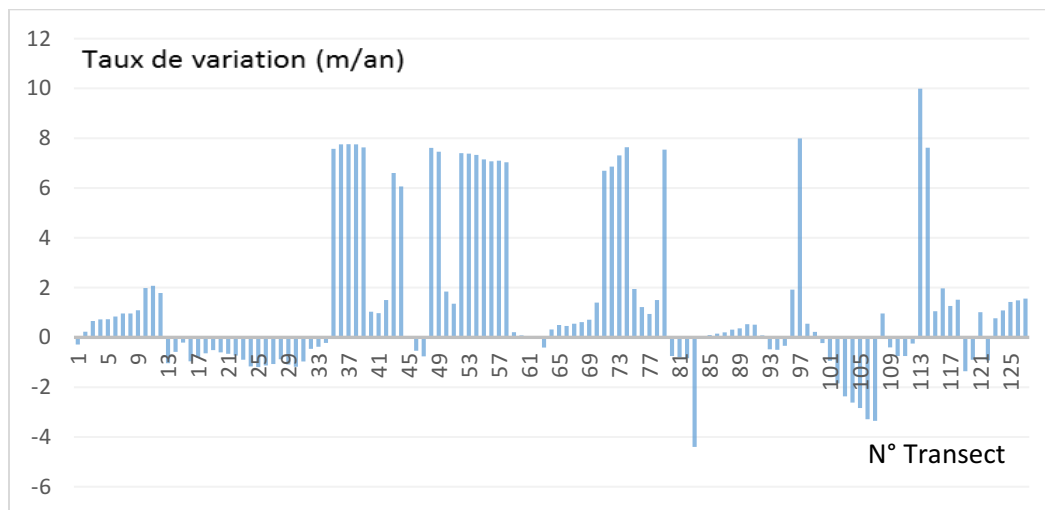


Figure 9 : Représentation graphique du taux net de variation du trait de côte de la zone d'étude

L'analyse diachronique des images satellitaires Google Earth montre que l'érosion de la plage meuble de Palm Beach de s'est produite à des vitesses variables entre 2003 et 2017.

Le choix de l'année 2003 du fait des événements climatiques extrêmes de chaleur et le séisme qui a eu lieu et les impacts relatives sur la dynamique côtière.

À cause de son isolement des zones de production, la plage évolue en système fermé, d'une part, la présence du port a entravé le transit littoral engendré par la houle ouest et, d'autre part, l'aménagement hôtelier a immobilisé les matériaux sableux qui ne contribuent plus à l'apport solide actuel.

Enfin le courant de dérive, qui redistribue les sédiments apportés par l'oued Mazafran, est rompu par la construction du système de défense.

Les apports sont désormais immobilisés entre le brise-lame et l'épi est et ne contribuent plus à la dynamique sédimentaire, ce qui aggrave ainsi l'appauvrissement du stock sédimentaire mis en jeu.

La reconstitution du système côtier naturel et le suivi des aménagements successifs de la baie montrent que l'anthropisation du littoral a déséquilibré le système de manière irréversible.



2009 :

Durant l'hiver une importante tempête a induit une montée de la mer et avec une vitesse vent de près de 120 km/h (**le journal liberte**) elle a dévasté la plage et conduits à des éboulements, et donc une très forte érosion surtout au niveau de la partie centrale.

2003-2013 : Les superpositions des linéaires côtiers se correspondent et suivent la même tendance même si on peut observer qu'il y a des changements (érosion ou accumulations) dans certaines parties.

2014-2017 : Après l'installation des ouvrages de protection, le linéaire côtier a changé de tendance du fait que le rattachement des côtes aux Brise-lames, a engendré la formation des tombolos (dans la partie ouest et centrale de la plage).

II.1.4 Conclusion

Parmi les raisons les plus pertinentes qui ont conduit à la réalisation des travaux de protection de plage de Palm Beach on cite : le recul du trait de côte (érosion de la plage), c'est à dire que lorsque les mouvements des sédiments les plus importants se produisent dans le profil, on peut opter pour des ouvrages longitudinaux émergeants de types brise-lames comme cela a été le cas pour notre zone d'étude une batterie de 5 brise-lames qui sont conçus pour absorber une partie de l'énergie afin de diminuer l'attaque de la plage se trouvant à l'arrière en accroissant la sédimentation dans la zone d'ombre qu'ils créent.

Ces ouvrages sont disposés le long du trait de côte, pour contrer l'érosion côtière, les matériaux de construction les plus courants sont le tout-venant carrière (TVC) et les enrochements de deux catégories principalement : [1-3T] et [2-4T].

Ce sont des ouvrages massifs de piégeage de sédiments, leur orientation est parallèle au rivage ils sont émergés et ils forment un barrage destiné à retenir les sédiments transportés par la dérive littorale.

Ils permettent ainsi d'atténuer l'énergie de la houle et de réduire le transport sédimentaire. Ils protègent la plage par accumulation de sédiments, néanmoins ils présentent certains inconvénients :

Irréversibilité ; protection uniquement locale ; ouvrages peu attractifs ayant un impact visuel ; augmentation de l'érosion en aval ; ouvrages pouvant être endommagés et donc nécessitant un entretien et un coût important.

Leur emploi massif sur le littoral tient à leur efficacité immédiate dans des cas où, en l'absence de vision prospective, on a attendu le dernier moment pour intervenir par ce que la mise en œuvre de ces techniques entraîne dans la majorité des cas une perte de sable au pied de l'ouvrage par la réflexion des vagues, qui nécessitera à moyen ou long terme une intervention de confortement ou d'entretien.

Dans notre cas des enjeux touristiques ou immobiliers entrent en considération et le maintien du trait de côte est une urgence et une nécessité c'est pour cela que les travaux précédemment effectués et de par les résultats obtenus ont été complétés par des méthodes douces telles que des opérations de rechargement de plage qui sont actuellement en cours.

Mais lorsque des installations humaines, trop proches du rivage, sont soumises à un risque lié à l'érosion marine, le repli stratégique vers les terres doit être envisagé car il s'agit de considérer les fluctuations de la côte comme un phénomène naturel avec lequel il faut composer plutôt que tenter de s'opposer.

II.2 La réfraction de la houle

II.2.1 Introduction

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

Les changements climatiques et l'érosion côtière entraînent une augmentation de l'énergie des vagues, c'est pour cela que la prévision rétrospective des conditions des vagues devient de plus en plus importante pour la vulnérabilité des structures et sites naturels important, SWAN, un modèle d'onde spectrale de troisième génération, est largement utilisé pour le calcul des champs de vagues dans les mers de plateau, les zones côtières et les lacs. Le modèle représente la génération d'onde, la propagation et la dissipation par le blanc, le frottement du fond et la rupture induite par la profondeur. (**Mulligan et al. 2005**).

Dans cette étude, le modèle de vagues SWAN (Simulating Waves Nearshore) est mis en œuvre pour étudier la réfraction de la houle sur la côte algéroise.

II.2.2 Description du modèle SWAN

C'est un modèle numérique de troisième génération pour le calcul des vagues aléatoires et des crêtes courtes dans la zone côtière et les courants ambiants. Ce modèle est basé sur une formulation Eulérienne de l'équilibre de densité d'action spectrale, pour une propagation réfractive sur une bathymétrie arbitraire et des champs de courants. (**Booij et al, 1999**)

Le logiciel modélise la propagation de la houle en prenant en compte les phénomènes de :

- Réfraction, sur les fonds et autour des ouvrages,
- Frottement sur le fond,
- Déferlement.

On prend en compte le phénomène de réfraction par le calcul du coefficient de réfraction (K_r) en plusieurs points d'un littoral, pour les secteurs de houles dominantes, et pour une période de houle donnée, de ce fait on opte aussi à calculer le coefficient de shoaling K_s .

Les valeurs de K_s calculées jusqu'à la côte traduisent :

- L'atténuation de l'énergie lorsque $K_s < 1$ (divergence des vagues).
- La conservation de l'énergie lorsque $K_s = 1$ (propagation rectiligne des vagues).
- La concentration de l'énergie lorsque $K_s > 1$ (convergence des vagues).

Les calculs de la réfraction de la houle entre le large et la côte sont effectués par le modèle numérique SWAN.

II.2.3 Étapes de calcul

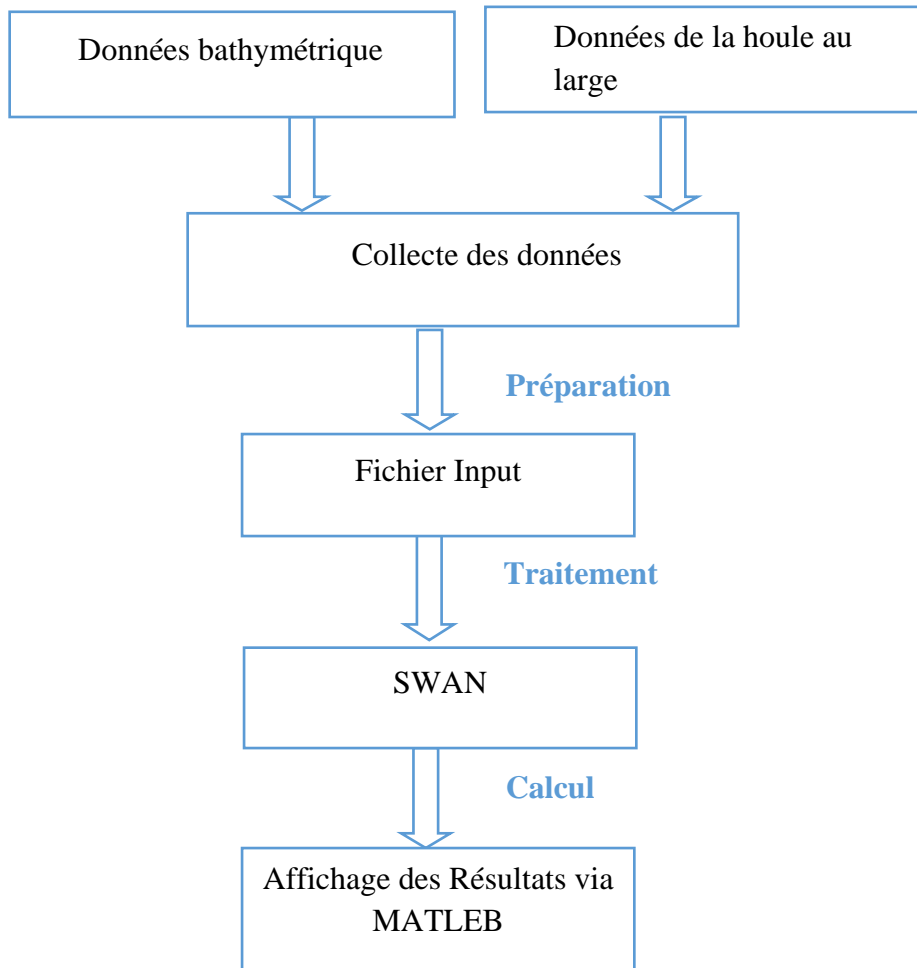


Figure 11 : Organigramme du déroulement des étapes de calcul

II.2.4 Données de base

SWAN est implémenté en mode non stationnaire sur une grille dont le domaine de résolution (20m*20m) est délimité par les longitudes 2,5° et 3,4°, Latitude 36,55° et 36,95°.

La bathymétrie obtenue à partir d'une base de données internet open-source est utilisée pour la prévision rétrospective de la grille et le niveau d'eau de 0.34m (conseillé par le LEM) est utilisé comme entrée de modèle pour les ondes de tempête.

II.2.4.1 Données bathymétriques

- Acquisition des données bathymétriques à partir d'une base de données open source : <https://www.gmrt.org/GMRTMapTool/>
- Traitement des données via le programme Matlab

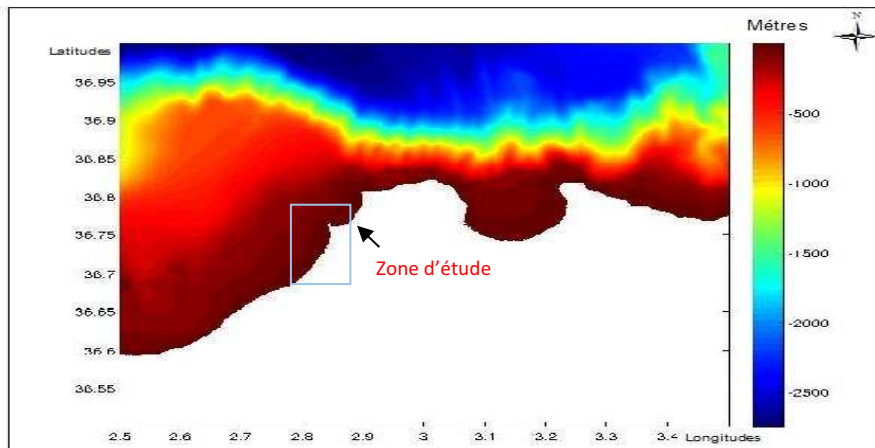


Figure 12 : Carte bathymétrique de la côte Algéroise

II.2.4.2 Données de houles au large

Acquisition des données à partir de la base de données : Copernicus Marine Environment Monitoring Service, et qui indique les 3 paramètres suivants :

La hauteur significative, la direction moyenne des vagues, et la période moyenne, On a choisi d'utiliser les données obtenues au cours du mois de Janvier 2017.

II.2.5 Résultats et interprétation

Les résultats obtenus précédemment ont été utilisé comme input pour SWAN pour avoir les cartes de réfractions de la houle selon 3 directions : 360°, 45° et 315°.

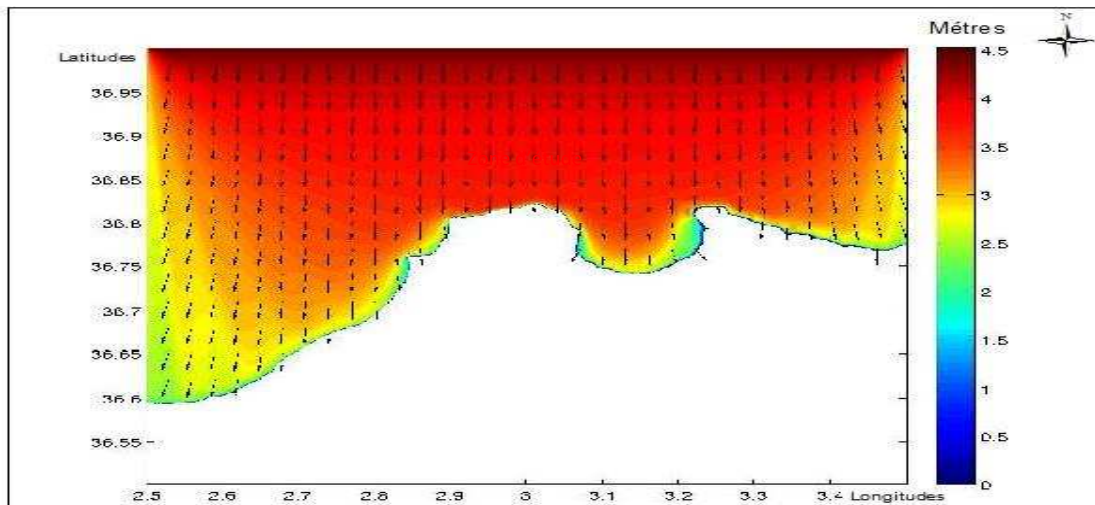


Figure 13 : Carte de réfraction de la houle direction 315°N de la côte Algéroise

L'observation des résultats de la morphologie côtière et sous-marine montre que la bathymétrie, à elle seule, renseigne que les vagues et les houles sont moins amorties au niveau des côtes rocheuses (caps), contrairement aux zones côtières dites d'accumulation où les vagues et les houles sont relativement plus amorties par l'effet des hauts fonds, en ce qui concerne l'effet érosif des vagues sur le littoral étudié, il est à noter que les vagues induisent par endroits des pertes de terrains et la fragilisation par érosion de défenses côtières naturelles (falaises sableuses côtières) à titre d'exemple, toutes les dunes du côté ouest d'Alger, Sidi Fredj et Zéralda sont pratiquement réduites, et il en est de même pour la sape des ouvrages de protection par affouillement.

La synthèse de tous ces indicateurs montre que la zone d'étude est régulée par une agitation hydrodynamique non négligeable, l'examen des résultats de la modélisation du forçage induit à la côte par les vagues fréquentes que les hauteurs significatives des vagues se comportent variablement pour les 3 directions étudiées 360°, 45° et 315°.

L'observation des résultats de la modélisation des vagues du secteur Nord-Est (45°) que celles-ci atteignent la région occidentale et centrale avec moins de dissipation, ces mêmes vagues pour le

secteur Nord-Ouest (315°) sont toutefois moins énergiques au niveau de la partie orientale de la zone d'étude, ceci s'interpréterait facilement à la morphologie sous-marine .

L'observation combinée du forçage induit par les vagues des différents secteurs montre que les zones côtières à forts potentiels énergétiques sont essentiellement dépendantes : de leur degré d'exposition aux vagues provenant du large ; des positions par rapport aux caps et promontoires voisins ; des pentes sous-marines proches côtières.

Les observations visuelles (sortie de prospection) confirment d'une manière générale la variabilité de l'impact des vagues sur la zone d'étude comme le montrent les résultats de cette étude.

II.3.7 Conclusion

Dans cette partie, nous avons effectué une modélisation unidimensionnelle examinant l'influence de l'interaction houle sur la côte algéroise pour le mois de janvier 2017, a mise au point de cette modélisation est basée sur le modèle numériques SWAN., les résultats de cette modélisation montrent l'influence de la houle sur la côte algéroise.

Un tel modèle permet ainsi de suivre la propagation de la houle du large vers la côte en prenant en compte les effets de réfraction diffraction, la présence de courant et les effets de dissipation, pour des houles régulières et irrégulières (en cas de disponibilités des données), tout en ayant l'avantage de conserver la phase dans le calcul. Il peut donc être couplé à un modèle hydro sédimentaire.

Chapitre III

Fonctionnement et modélisation hydro-sédimentaire

III.1 Introduction

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

En zone côtière, la houle et les courants jouent des rôles complémentaires sur la dynamique sédimentaire : la houle a pour effet de favoriser la mise en suspension des sédiments qui sont ensuite transportés par les courants moyens. (**Villaret C., 2004**)

La variation spatiale des taux de transport entraîne des phénomènes d'érosion ou d'accrétion, avec des conséquences importantes pour la gestion du littoral. Il est nécessaire de construire des outils de modélisation permettant de prédire précisément les taux de transport et les évolutions morpho dynamiques qui en résultent. (**Bailard J., 1981**).

Pour déterminer la trajectoire des particules sédimentaires dans la zone de Palm-Beach, on a simulé les tendances aux transports par apport à deux méthodologies :

La première, une modélisation du transport sédimentaire associée aux courants et aux vagues, est effectuée à l'aide du module ST (Sand Transport) du Mike 21, en fonction de l'ensemble des forçages hydrodynamiques (courant de marée, agitation due aux vagues et courants littoraux), ce module permet de calculer le transport du sable et l'évolution morphologique des plages.

La seconde modélisation implique le modèle GSTA (Grain Size Trend Analysis) : cette méthode repose sur la comparaison entre les échantillons de trois paramètres sédimentologiques les plus usuels ; la moyenne (Mz), l'indice de tri ("Sorting") et l'indice de dispersion ("Skewness").

III.2 Modélisation du transport sédimentaire par le Mike 21

III.2.1 Données nécessaires

III.2.1.1 Les données bathymétriques

L'étude bathymétrique pour la modélisation du transport sédimentaire peut constituer un excellent outil d'analyse et de modélisation conceptuelle du fonctionnement de certaines plages (**Louati, M. 2008**) En effet, cette approche morphodynamique permet de caractériser le comportement des plages et de contribuer à expliquer la variabilité des volumes charriés par les courants.

Les développements technologiques récents, notamment en imagerie, conduisent à l'acquisition des données localisées par divers organismes. Un nombre croissant de données de référence est disponible, permettant la mise en œuvre d'applications de recherche utilisant les potentialités d'analyse et de représentation des SIG (ex : Global mapper). Pour les petits fonds marins côtiers, les Modèles Numériques de Profondeur (MNP) ou bien les Modèles Numériques de Terrain, sont particulièrement appréciés des scientifiques, notamment pour leur aptitude à calculer des surfaces ou des volumes, à fournir divers indices, tels que l'inclinaison et l'orientation des pentes, ainsi que pour les possibilités de visualisation des structures en trois dimensions (**Laassilia, 2013**).

Cette étape est fondamentale dans cette modélisation numérique, elle sert à définir la grille dans laquelle toutes nos simulations seront établies.

1. Approche méthodologique

La création d'une bathymétrie est généralement divisée en 3 phases :

- A. Le choix du système de projection : le WGS 84, zone 31, dans le cadre de notre cas d'étude.
- B. Le traitement des données bathymétriques XYZ
 - ✓ Acquisition des données bathymétriques à partir de 2 bases de données open source (Navionix) ;
 - ✓ Digitalisation des isobathes et du trait de côte sur une carte de référence ;
 - ✓ Exporter les données à partir d'ArcGis sous format Excel (XYZ) puis les importer vers l'interface du Mike 21 ;
 - ✓ Le programme Mike 21 nous fournit les utilitaires pour importer des données du trait de côte, notamment les bathymétries afin de faciliter le processus

D'élaboration manuelle des données et leur présentation, des cartes graphiques des images de fond peuvent être importées et superposées aux données bathymétriques (**DHI, 2014j**).

C. La génération du Maillage et l'interpolation des valeurs bathymétriques sur le maillage (Mesh) :

- ✓ Le module Mesh Generator, nous offre un environnement pour la création, l'édition et la présentation des bathymétries numériques 2D détaillées. Mesh Generator, génère un format souple de maillage (**DHI, 2014j**).
- ✓ La composante « maillage flexible » procure un degré de flexibilité optimal pour décrire les caractéristiques bathymétriques, l'écoulement ambiant et les conditions de houle. On a en effet recours à un maillage non structuré tenant compte des limites et de la profondeur.
- ✓ Diverses options d'interpolation sont disponibles pour fournir la meilleure méthode possible pour notre type de données. Lorsque la bathymétrie a été préparée, nous pouvons utiliser les utilitaires d'exportation de données bathymétriques de sortie sous différents formats.

1. Résultats et interprétation

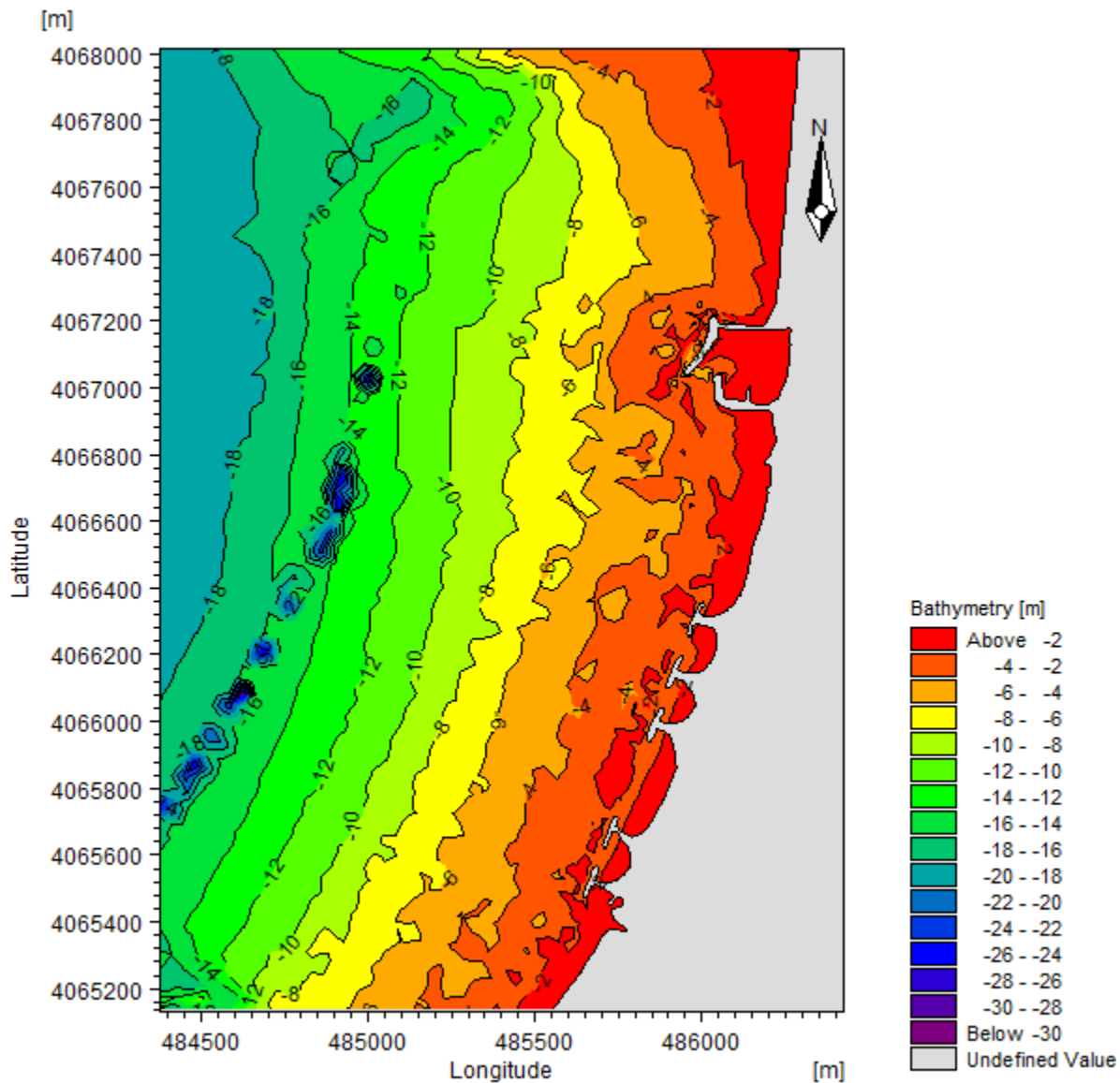


Figure 14 : Présentation graphique de la bathymétrie de la plage de Palm-Beach

L'analyse de la carte bathymétrique du site de Palm Beach a mis en évidence un fond marin irrégulier entre 0 et 6 m de profondeur, caractérisé par la présence de barres hydrauliques qui correspondent aux zones de déferlement. On notera également la configuration particulière des fonds importants au nord du site.

De l'isobathe -6 m jusqu'à -13 m, le fond marin devient régulier sans accident topographique majeur avec des isobathes parallèles à la côte.

Présence des fosses entre les isobathes -14m à -16m.

III.2.1.2 Les données relatives au climat et conditions météorologiques

1. La houle

Le mouvement de la houle résulte du transfert permanent de l'énergie liée à la pesanteur, et à la cinétique du mouvement circulaire des particules d'eau. Au large, le mouvement des particules d'eau est circulaire et le rayon des cercles diminue quand la profondeur augmente, en arrivant sur les côtes.

Les houles sont l'élément essentiel du façonnement des accumulations littorales meubles : leur profil est dicté par la vigueur de la houle aux divers niveaux de marée, et leur plan par la dérive littorale résultant de l'obliquité de certaines houles. (Pinot J. 1999).

Les paramètres de la houle qu'on a utilisée, en fonction des trois paramètres (Hauteur significative, période de la houle et direction) sont donnés par le LEM.

Tableau 8 : Caractéristiques de la houle(LEM)

Direction	Hs (m)	Tp (sec)
45° NE	2.56	8
270° O	2.67	8
315 ° NO	2.64	8

2. Le Vent

Le vent est un élément important dans la dynamique des eaux marines. En effet, il est à l'origine des houles, des clapots et des courants superficiels, intervenant dans l'évolution et la reconstitution des dunes.

Les données utilisées sont celles obtenues à partir du site : <https://rp5.ru/>, ce sont des données enregistrées quatre à cinq fois par jours pendant toute l'année au niveau de la station de Dar El Beida, à partir des quels on a généré les roses des vents par le Mike 21 (voir Fig.15).

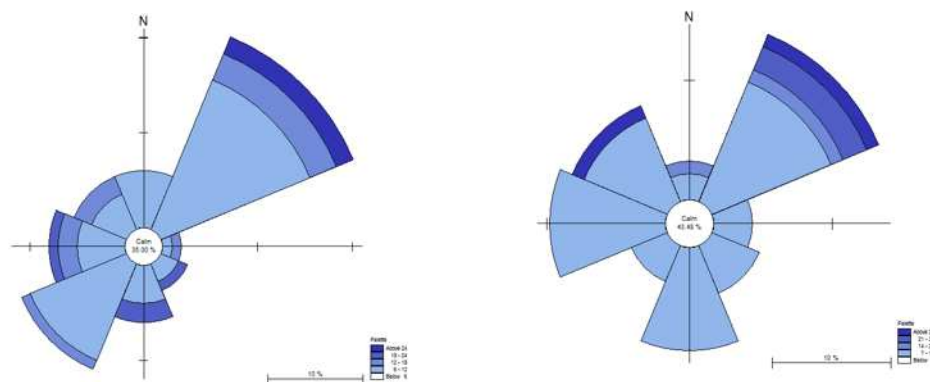


Figure15: Roses des vents pour les periode hivernal et estivale

III.2.2 préparation du modèle

Le logiciel Mike 21 comprend certains modules spécialisés pour calculer le champ des courants, des vagues... pour les zones côtières dans le cas de notre étude on a opté pour le modèle couplé Mike 21/3 FM.

Le Mike 21 comprend de nombreux modules intégrés pour l'utilisation dans quatre grands domaines : l'hydraulique de la rivière et de la mer ; les vagues ; les processus d'accrétion, d'érosion et l'environnement hydraulique., il s'agit d'un modèle d'hydraulique numérique par éléments finis intégrés pour simuler le processus hydraulique intégré ainsi que dans des eaux peu profondes, couplant vagues, courants et transport de matériel (y compris le transport de la boue, du sable et la transmission).

En particulier, le modèle intégré Mike 21/3 Modèle FM couplé avec le module Mike 21-ST intègre des modèles professionnels pour étudier les questions liées au transport du sable et aux phénomènes de dépôt et d'érosion (**Deigaard, R., Fredsoe, J. et Connie Hedegaard, IB (1986)**).

Dans la dernière version de Mike 21, utilisée pour la présente étude ; la modélisation de l'ensemble des processus peut être effectuée en mode couplé, permettant une mise à jour de l'ensemble des variables (courants, vagues, transports des sédiments et morphologie) à chaque pas de temps du calcul, nous avons exploité trois modules : l'hydrodynamique (HD), le spectre de la houle (SW) et le transport des sédiments (ST).

II.2.2.1 Configuration du maillage

Le modèle local de la zone d'étude intègre l'utilisation du maillage triangulaire uniquement.

La configuration du maillage a été faite en fonction de la spécificité de la zone (la bathymétrie, la nature du trait de côte, présence ou non des îlots, l'existence d'un port ou ouvrage de protection dans la zone).

Le trait de côte est intégré avec un code « 1 » qui est un code spécifique pour la partie terre, le code « 2 » est attribué à la frontière Est, code « 3 » pour la frontière nord et code « 4 » pour la frontière Ouest.

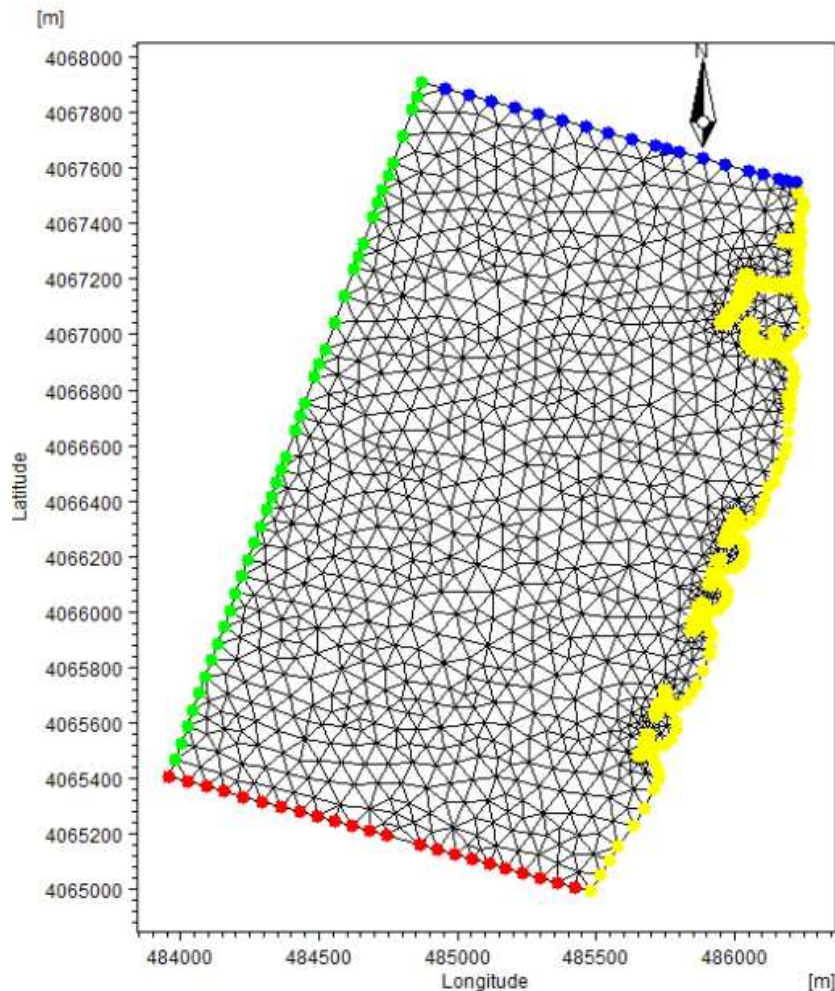


Figure 16 : Modèle du maillage effectué pour la simulation

III.2.2.2 Configuration du modèle DHI-Mike FM

Il s'agit des conditions aux limites établies par l'opérateur avant le lancement de la simulation ;

1. Conditions aux limites

Les conditions aux limites d'un modèle représentent les paramètres qui sont imposés par l'utilisateur aux diverses frontières de la zone modélisée. Un choix judicieux de ces conditions est essentiel pour obtenir un modèle donnant des résultats représentatifs de la réalité (Lasalle, 2016).

2. Paramètres de calcul

Les paramètres de calcul et la configuration des modèles sont faits en fonction des méthodologies proposées par le manuel d'utilisation de DHI-Mike 21 ainsi que les différentes publications scientifiques (Lasalle NHC, THAN, Sanchez...).

III.2.3 Simulation de la propagation de la houle par le module SW

III.2.3.1 Configuration du module SW

1. Conditions du niveau marin

Les conditions du niveau marin varient en fonction du temps de simulation et selon la bathymétrie de la zone d'étude, la grille des données du niveau marin est calculée par le module HD.

2. Les conditions de courant

Les vecteurs de vitesse et de direction des courants sont calculés grâce au module HD.

3. Rupture des vagues

La rupture des vagues est calculée par le changement de la profondeur avec une valeur constante $\gamma = 0.8$ et $\alpha = 1$.

4. Conditions initiales des limites

Les conditions initiales imposées dans le module SW aux limites des zones d'études sont les paramètres de houle.

III.2.3.2 Présentation et interprétation des résultats

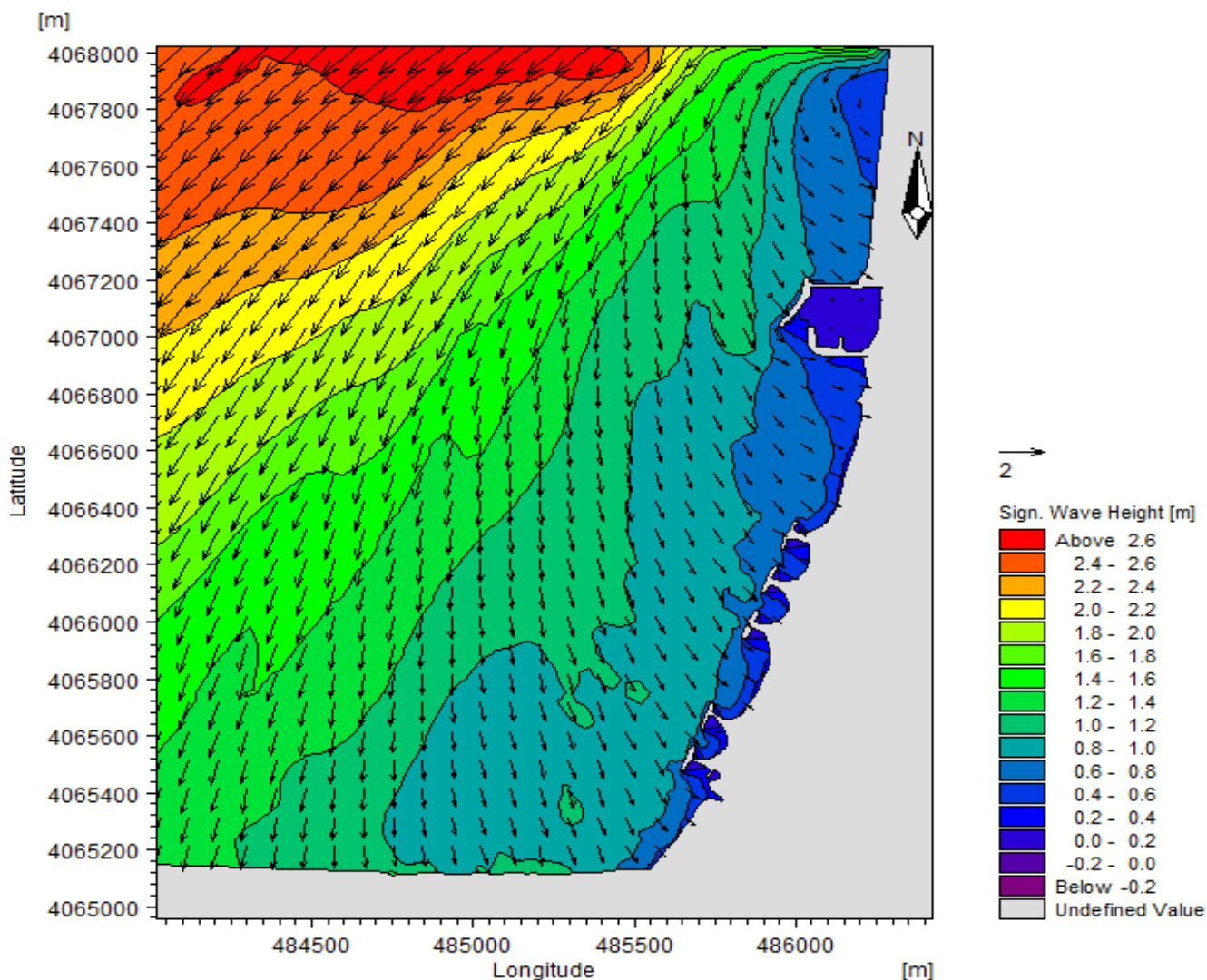


Figure 17 : Propagation des houles secteur 45° NE (Hs =2.56m Tp=8s)

Les houles nord-est sont les plus dominantes dans la période hivernale, on remarque qu'elles abordant la côte d'une façon oblique, les houles commencent à perdre leurs énergies progressivement les brises lames.

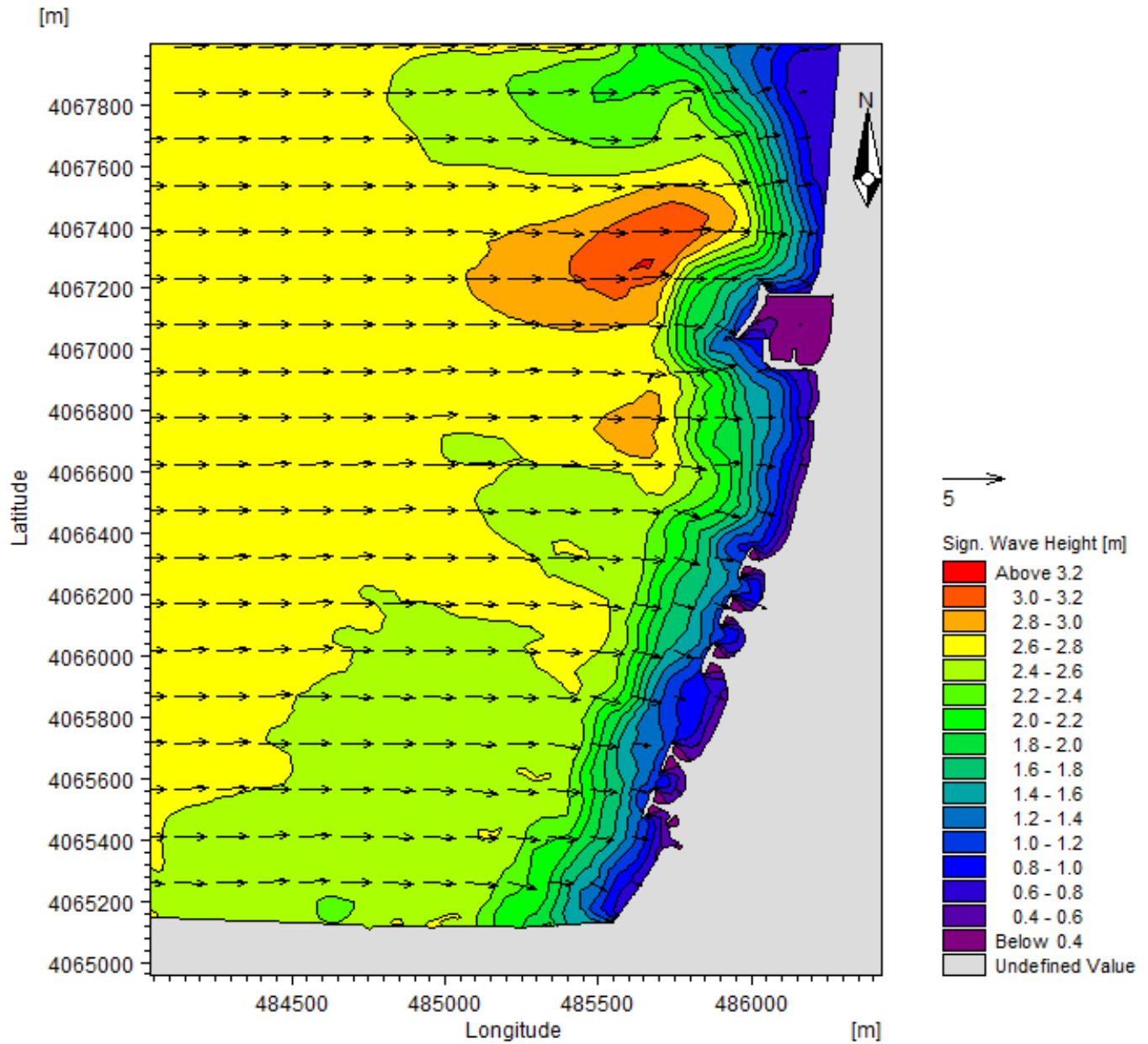


Figure 18 : Propagation des houles secteur 270° O ($H_s = 2.67$ $T_p = 8$)

La figure montre les houles de secteur ouest qui sont dominantes durant la période estivale, on observe que la hauteur des houles qui est de 3.2m au large arrive à la côte avec une incidence perpendiculaire et une hauteur moyenne de 0.7 m.

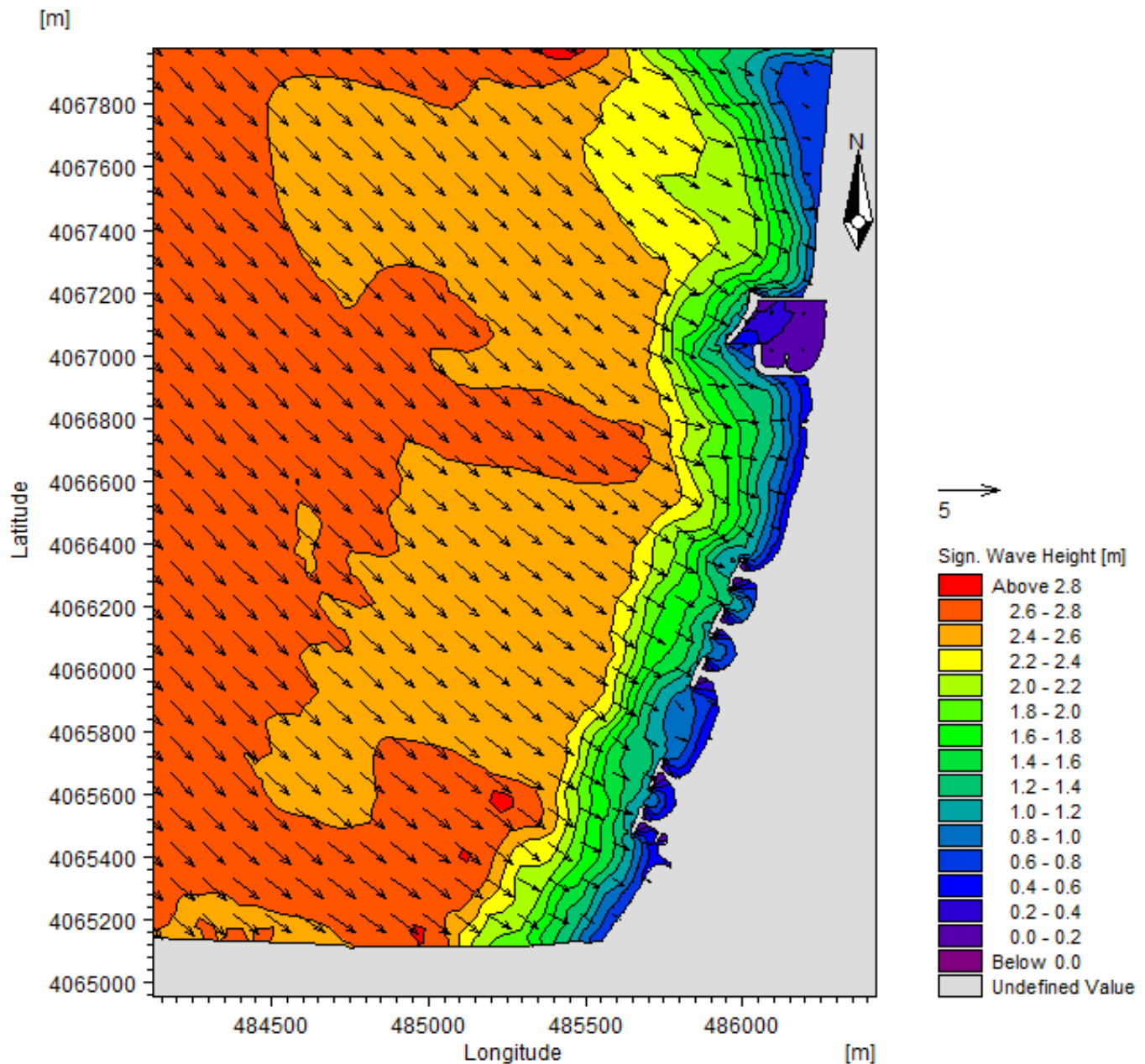


Figure 19 : Propagation des houles secteur 315° NO ($H_s = 2.64$ $T_p = 8$)

La figure montre les houles de secteur nord-ouest, le champ des houles dévie graduellement jusqu'à la côte ; les houles abordent la côte d'une manière oblique de 10° à 25°, au fur et à mesure que la profondeur diminue, la hauteur de la houle diminue arrivant à la côte avec une hauteur de 0.4 m et une légère modification de direction.

III.2.3 Simulation des champs de courants générés par la houle par le module HD

III.2.3.1 Configuration du module HD

1. Frottement sur les fonds

Toutes les simulations hydrodynamiques ont été réalisées avec un coefficient de Manning de $n = 0,03$, constant dans l'ensemble du secteur modélisé.

2. Viscosité turbulente

Les flux de quantité de mouvement dus à la turbulence, à l'intégration verticale des équations de base (modèle bidimensionnel) et aux fluctuations se produisant à des échelles inférieures aux cellules de maillage, sont pris en compte dans Mike 21 par un paramètre de viscosité turbulente. En pratique, la variation de ce paramètre induit notamment dans les écoulements une plus ou moins grande tendance à former des zones de décollement et des courants de retour. Sur la base des résultats obtenus dans des études similaires, la formulation de Smagorinsky, avec une constante de 0,28, a été utilisée.

3. Force de Coriolis

La force de Coriolis a été prise en compte avec un type de variation selon le domaine, son calcul est programmé automatiquement selon l'algorithme de DHI-Mike 21.

4. Force des Vents

Table des vents issus du site rp5 pour l'année 2017 enregistrée au niveau de la station de Dar El Beida.

5. Les radiations des champs de houle

Elles sont obtenues grâce à la formulation spectrale du module Mike 21 SW.

6. Conditions initiales

Les conditions initiales sont les niveaux d'eau utilisés comme conditions aux limites, des informations des niveaux d'eau sur les points aux limites Nord, Est et Ouest sont nécessaires, de ce fait, la valeur du niveau d'eau utilisée est de : $e=0.34$ m (SHFN, 2012).

III.2.3.2 Présentation et interprétation des résultats

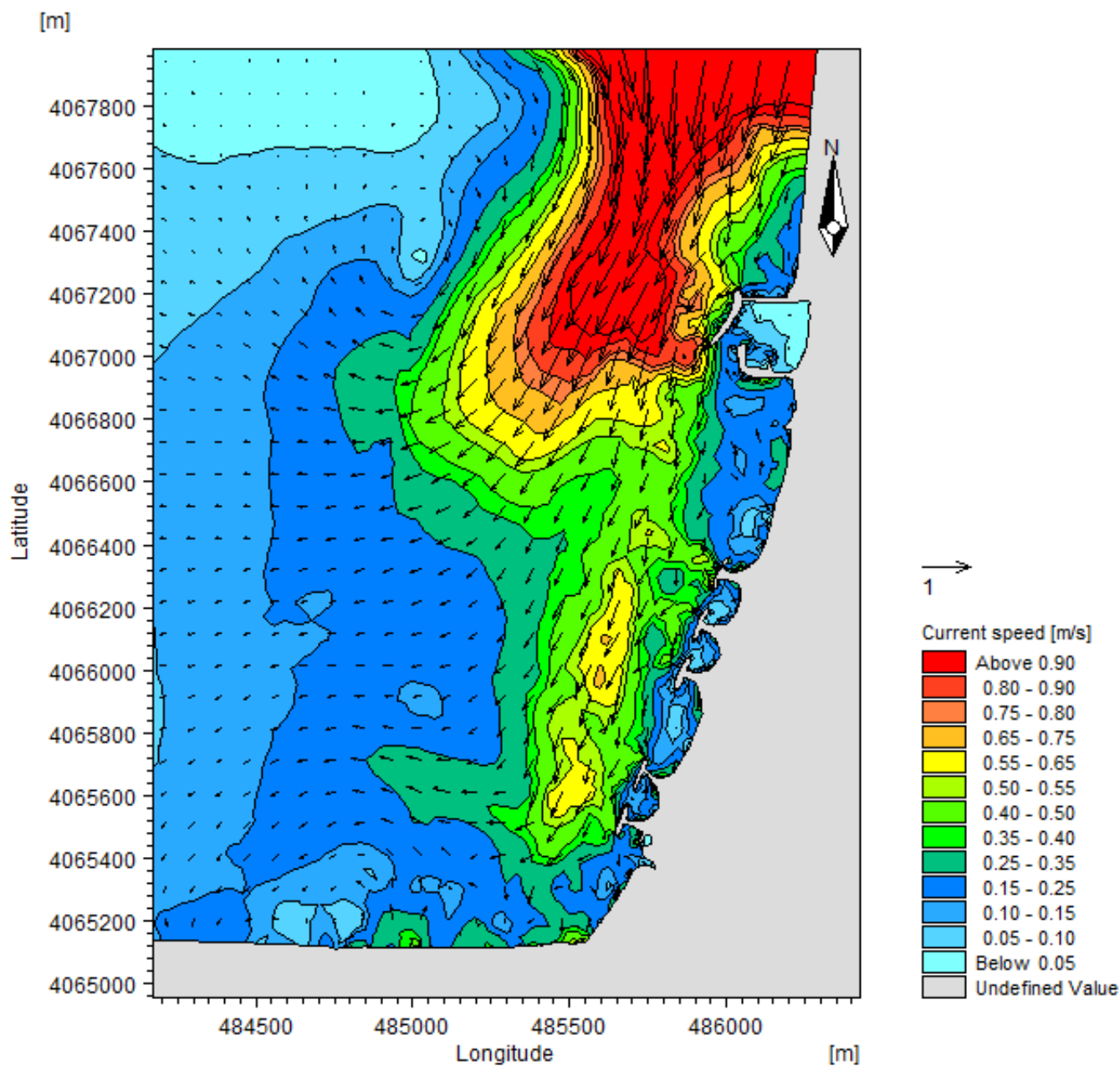


Figure 20 : Champ des courants induits par les houles de secteur 315°NO

La figure montre les champs de courant induits par les vagues pour les houles de direction nord-ouest, le modèle hydrodynamique a mis en évidence un courant longshore ouest-nord généré par les houles en provenance de l'ouest, à cause de la jetée principale du port, le courant change de direction en allant vers le large.

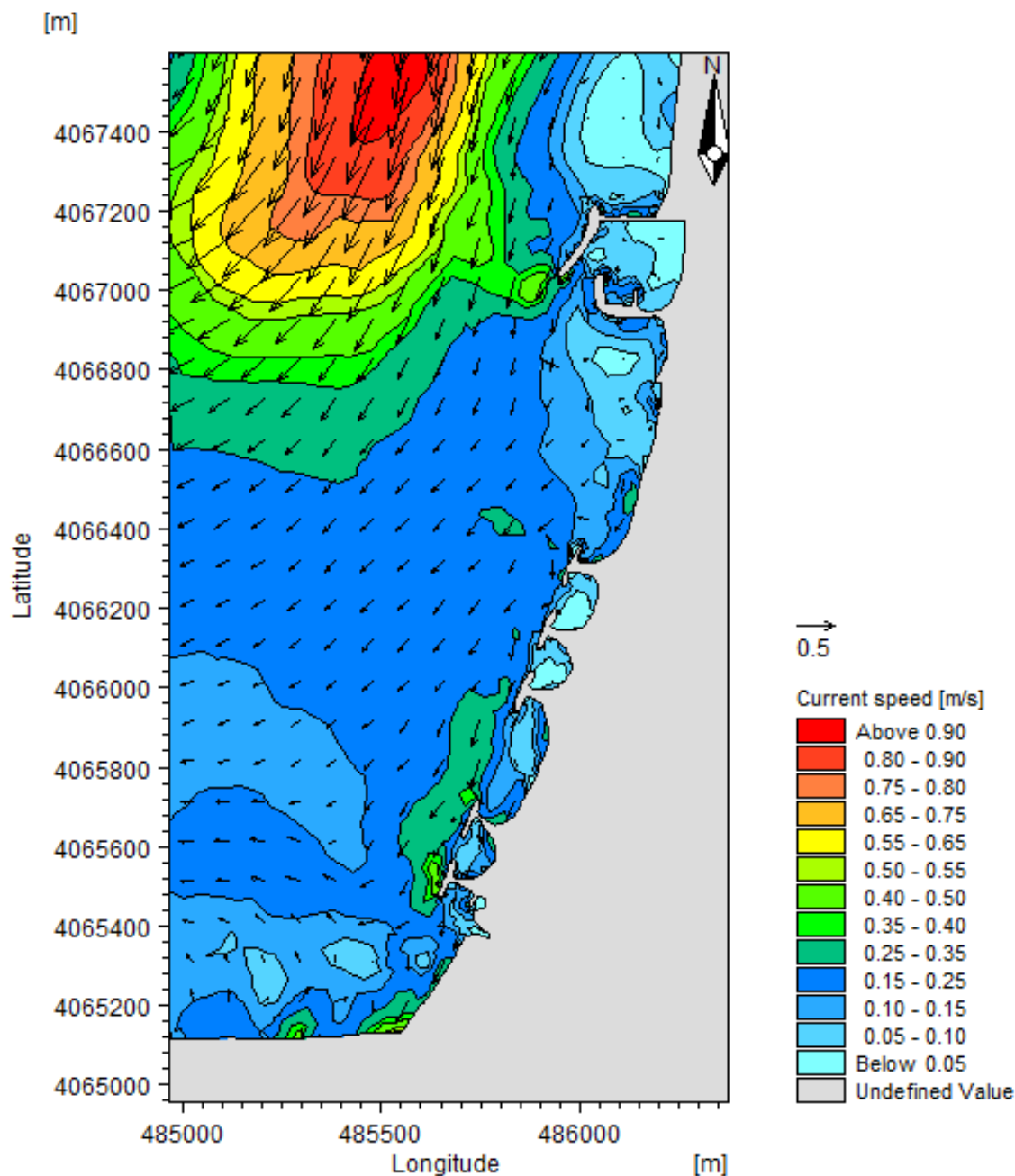


Figure 21 : Champ des courants induits par les houles de secteur 45°NE

La figure montre les champs de courant induits par les vagues pour les houles de direction nord-est, le modèle hydrodynamique a mis en évidence un courant longshore est-ouest généré par les houles en provenance de nord-est, suite à la présence des brise-lames la vitesse du courant diminuent, on remarque un changement de direction du fait de la dissipation d'énergie.

III.2.4 Modélisation du transport sédimentaire sous l'effet de la houle et du courant

Le module Mike 21 ST repose sur le modèle sédimentaire Q3D développé par DHI Water & Environnement, pour simuler la dynamique sédimentaire littorale sous l'influence combinée des vagues et des courants. Le modèle Q3D calcule le transport sédimentaire et l'hydrodynamisme en deux dimensions, en utilisant toutefois une approche quasi 3D permettant de prendre en compte l'évolution dans le temps et sur la verticale du cisaillement, de la turbulence, des vitesses des courants et des concentrations de sédiments. L'évolution temporelle de la couche limite sous l'effet combiné des vagues et du courant est résolue selon la méthode d'intégration de la quantité de mouvement développé par Fredsoe (Than, 2015).

III.2.4.1 Configuration du module ST

- ✓ Données d'entrées telles que les vagues et les courants (issus de la simulation par le module HD précédemment)
- ✓ Le paramètre granulométrique considéré sur l'ensemble du modèle est le diamètre médian $D_{50}=0.105\text{mm}$ et une porosité de 0.4 pour la génération d'une table sédimentaire.

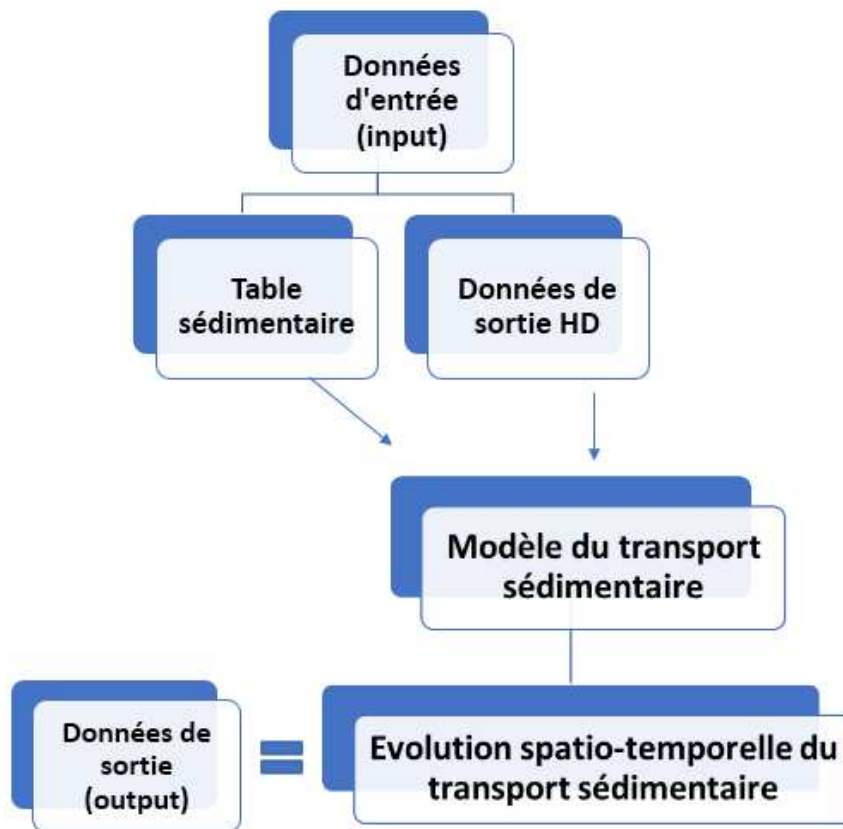


Figure 22 : Procédure analytique pour le module ST du Mike 21

III.2.4.2 Présentation et interprétation des résultats

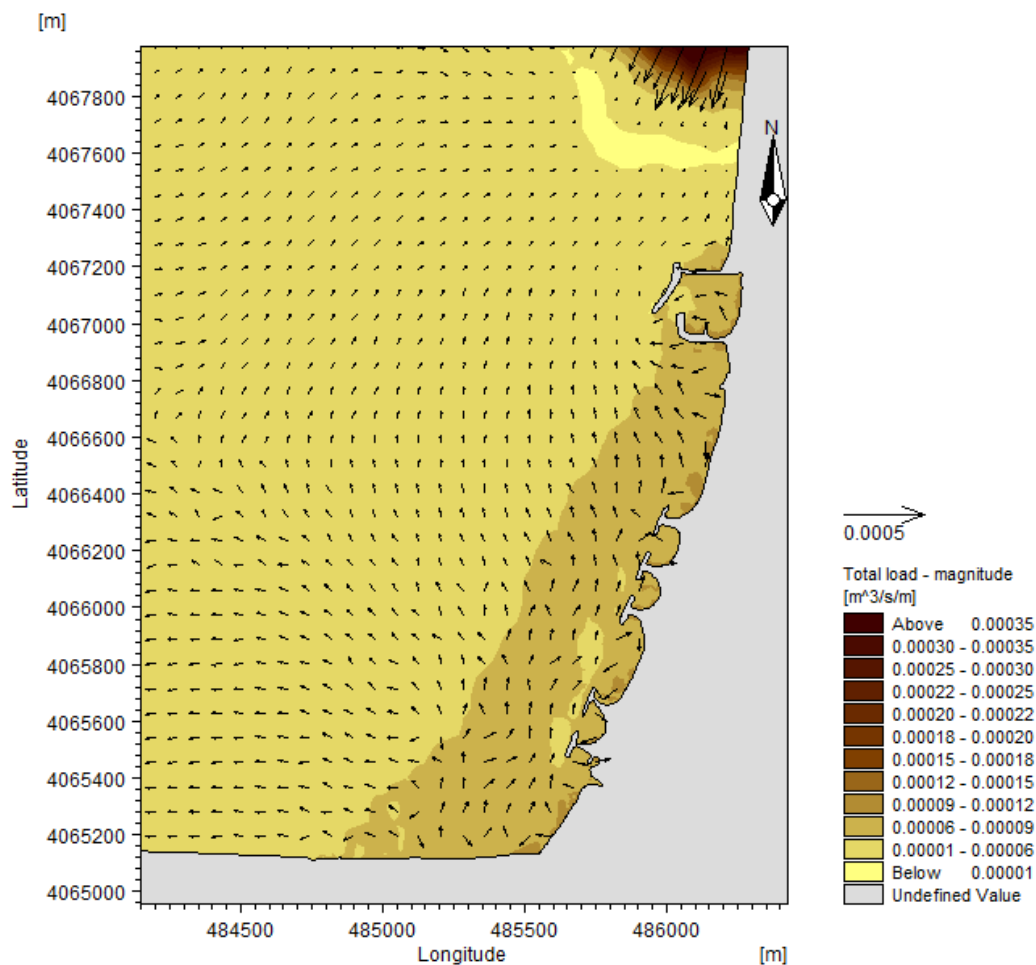


Figure 23 : Sens du transport sédimentaire induit par la houle de provenance 45° NE

Le résultat de la carte obtenu montre qu'il y a une tendance de perte de sédiments vers le large.

Les houles provenant des directions Nord-Est et Est atteignent le site de façon plus ou moins frontale, engendrant la formation d'une dérive littorale dans la direction Nord, qui assure la dissémination des sédiments dans le même sens, induisant l'ensablement du port. Cela pourrait être expliqué par la configuration géographique de la côte ainsi que la présence du port, qui protège notre zone d'étude des houles du secteur Nord - Ouest qui sont significatives en fréquence et en amplitude.

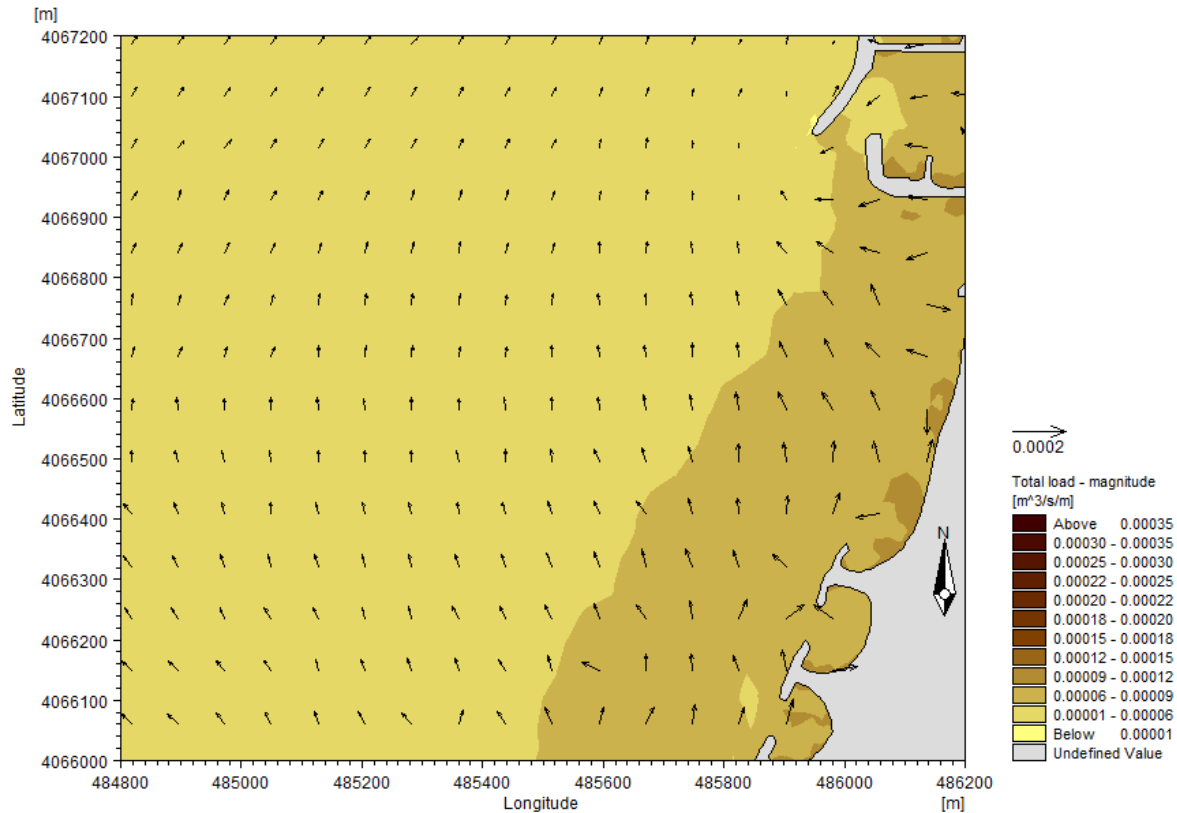


Figure24 : Sens du transport sédimentaire

III.3 Modélisation du transport sédimentaire par le modèle GSTA

La méthode d'analyse de Gao et Collins (1991, 1992, 1994a et 1994b) consiste à effectuer des prélèvements de sédiments superficiels selon un quadrillage régulier. Cette méthode est basée sur la probabilité d'occurrence d'une direction nette de transport en fonction des points de prélèvements adjacents. Ce modèle permet d'obtenir une carte de représentation des directions de transport sédimentaire potentiel, dans laquelle la probabilité du transport entre deux points d'échantillonnage est proportionnelle à la longueur du vecteur résiduel (Bertier, 2009).

III.3.1 Principe du modèle

Le principe du modèle repose sur le postulat que la répartition des sédiments sur le fond résulte des processus de transport sédimentaire (Mc Laren, 1981 ; Mc Laren et Bowles, 1985 ; Gao et Collins, 1990, 1992 in Cordier, 2007).

L'érosion, le transport par traction, saltation ou suspension, le dépôt sélectif ou total ainsi que le mélange des sédiments en provenance de différentes sources, seraient à l'origine de la variation de la distribution spatiale des paramètres granulométriques. Les directions privilégiées du transport sédimentaire peuvent être décrites par l'évolution de la taille moyenne (Mz), du tri (So) et de la symétrie de la distribution sédimentaire (Sk) (Mc Laren, 1981).

III.3.2 Procédure analytique

- ✓ Préparation de la grille d'entrée (input),
- ✓ Introduction des données (input) dans le modèle GSTA et création du fichier output,
- ✓ Préparation des grilles (direction et intensité) sur Excel à partir du fichier output,
- ✓ Exploitation des résultats avec logiciel Surfer.

III.3.3 Présentation et interprétation des résultats

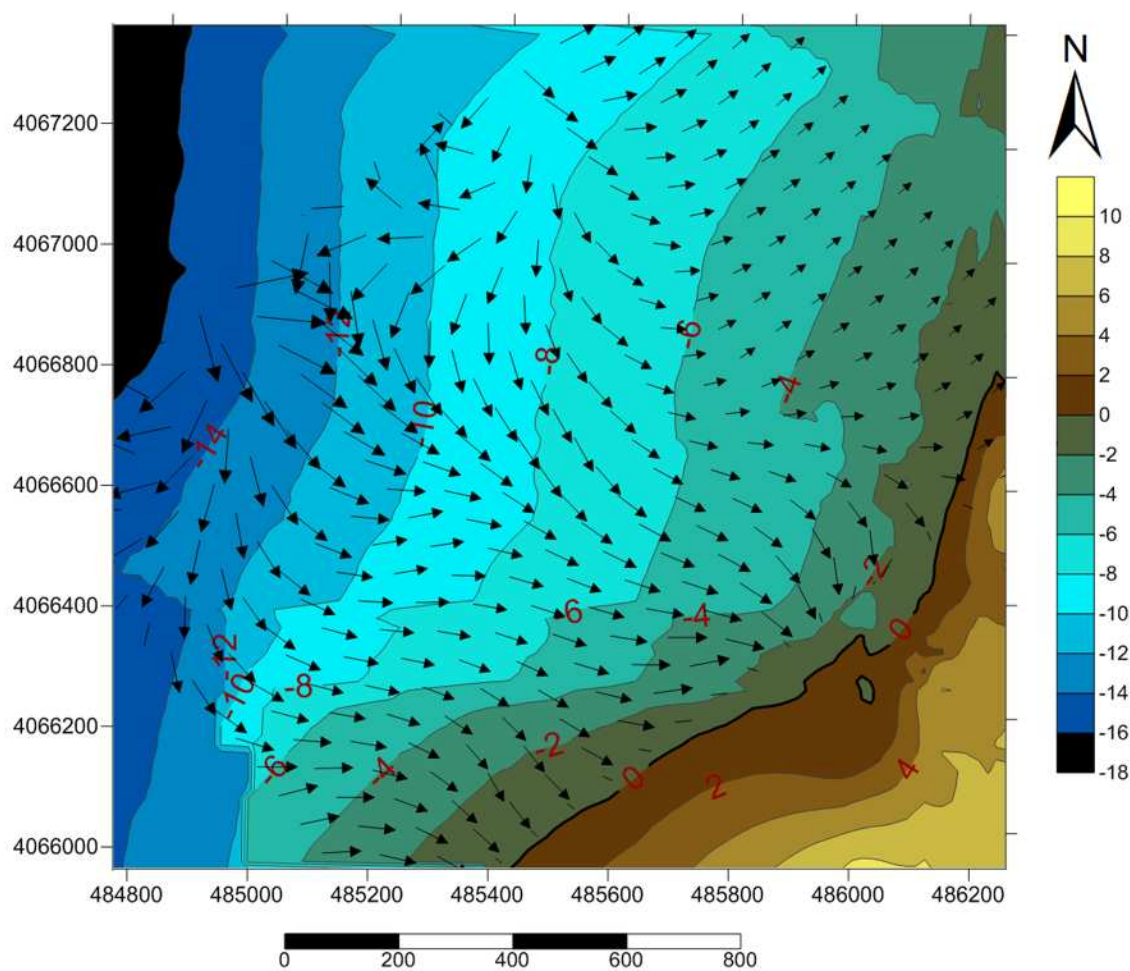


Figure 25 : Modélisation du transport sédimentaire dans la zone de Palm Beach par le modèle GSTA

Du large vers la côte, la figure montre que les vecteurs de tendances au transport sédimentaire présentent un déplacement des sédiments qui semble se faire de façon perpendiculaire aux isobathes, en dessous des 6 mètres de profondeur se distinguent plusieurs sens divergeant de transport dus probablement au début du déferlement.

En effet, le premier transit se dirigeant vers le Nord-Est Est, quant au second, il se dirige vers le Sud-Est. Cette divergence est liée directement au déplacement des masses d'eaux sur le fond, qui sont elles-mêmes conditionnées par la morphologie sous-marine et par conséquent la divergence qui pourrait être expliquée par la présence d'un relief sous-marin qui favorise la concentration de l'écoulement au niveau de la partie centrale de cette côte.

Au milieu de la zone d'étude, la rencontre des deux transits à sens opposés est susceptible d'engendrer un transit dominant et de le réorienter vers la plage.

III.4 Conclusion

L'effet de la houle sur la dynamique sédimentaire a été pris en compte par une modélisation qui intègre des forçages hydrodynamiques (houle, courants de houle et de marée).

Dans ce chapitre nous avons intégré deux approches différentes, la première avec le logiciel Mike 21 qui prend en considération différents paramètres pour simulation en fonction de plusieurs directions et la seconde, avec le modèle GSTA, dont l'approche est certes, plus rapide mais qui prend en considération uniquement les paramètres granulométriques.

Les résultats des deux (02) simulations, nous ont apporté des informations complémentaires concernant les tendances du transport sédimentaire au niveau de notre zone d'étude.

Chapitre IV

Évaluation de la vulnérabilité côtière

IV.1. Introduction :

Ce chapitre tend à observer et comprendre la vulnérabilité de la plage de Palm-Beach sous l'action combinée de dynamiques naturelles et sociales, afin de définir des stratégies cohérentes et durables pour une gestion intégrée de cette zone littorale.

La vulnérabilité du littoral, liée aux risques d'érosion et de submersion, se définit par la réponse des environnements côtiers aux événements météo marins extrêmes épisodiques (tempêtes) agissant sur les changements morfo-sédimentaires et provoquant le phénomène d'érosion, mais aussi aux forçages long terme, induits par le changement climatique (montée du niveau marin). (On cite l'exemple de la tempête qui a eu lieu en 2009 qui a causé beaucoup de dégâts et qui a été à l'initiative des projets de protection).

La vulnérabilité du littoral est également liée à l'action humaine avec la littoralisation croissante des activités économiques et sociales (urbanisation du littoral, protection des côtes, etc.) (La sursollicitation de la zone avec les projets hôteliers), l'aménagement du territoire, les stratégies de gouvernance, la préservation de la nature, les politiques publiques, etc.

L'analyse de ces forçages naturels et sociaux à partir d'approches pluridisciplinaires tenant compte des différentes échelles spatio-temporelles, permettra d'acquérir des savoirs fondamentaux pour l'étude de la dynamique et de la vulnérabilité côtière et tendre vers une gestion intégrée de cette dernière.

IV.2 Cadre conceptuel :

Il n'existe pas de définition unifiée du concept vulnérabilité dans la littérature scientifique (**Kelly et Adger, 2000, Dolan et Walker 2003**).

Par exemple Cutter (1996), le voit comme une formulation rhétorique permettant d'avertir d'un danger et des pertes qui pourraient l'accompagner.

D'autres (**Watson et al. 1996 ; Klein et Nicholls, 1999**) la définissent comme la capacité d'un système à répondre aux contraintes et aux chocs qu'il subit.

Dans le cadre des recherches se rapportant aux variations climatiques et aux risques naturels, (**Dolan et Walker ,2003**) distinguent trois grandes caractérisations de la vulnérabilité qui, tous ensemble, incorporent des éléments rattachés à la dynamique et à la nature interdépendante des deux formes de vulnérabilité (sociale et environnementale) généralement étudiées.

Cette perspective est une approche synthétique qui intègre aussi bien l'événement physique et les caractéristiques causales sous-jacentes des populations qui les exposent aux risques et restreignent leur capacité d'adaptation.

Par conséquent, la vulnérabilité est en fonction non seulement de la nature, de l'ampleur et de la vitesse des changements climatiques auxquels un système est exposé, mais aussi de sa sensibilité et de sa capacité d'adaptation.

Dans le contexte des zones côtières, même quand les efforts visant à améliorer les analyses de vulnérabilité via la collecte de données plus fiables et le développement de techniques d'analyses plus appropriées doivent se poursuivre, d'autres approches mieux articulées et plus spécifiques visant à assister les communautés côtières dans leur besoin de gérer leur vulnérabilité physique et sociale doivent être soutenues (**Dolan et Walker, 2003**).

IV.3 Méthodologie de l'élaboration de vulnérabilité côtière :

L'élaboration de la carte de sensibilités côtières se basera sur les géo-indicateurs de risques côtiers (Bush et al, 1999) et l'indicateur socio-économique proposé par (**McLaughlin et Cooper 2010**), Celle-ci sera réalisée grâce au calcul du CVI (**Gorokhovich et al, 2014**).

En effet, l'étude de la sensibilité à l'érosion côtière nécessite la prise en compte aussi bien des indicateurs naturels (facteurs météo-marins par exemple) qu'anthropiques (pression sur le littoral, pollution marine, etc.). Ces résultats seront appuyés par le calcul de l'indice de vulnérabilité côtière (CVI, Coastal Vulnerability Index) (**Gornitz, 1991 ; Abuodha et Woodroffe, 2010 ; McLaughlin et Cooper, 2013 ; Mujabar et Chandrasekar, 2013 ; Gorokhovich, 2014**).

Illustration des détails de la méthodologie adoptée dans cette étude pour le calcul du CVI.

$$CVI = \sqrt{\frac{a.b.c.d.e.f}{6}}$$

Figure 26 : Méthodologie de calcul de l'indice de vulnérabilité physique

Tableau 9 : Les variables utilisé pour le calcul de l'indice de vulnérabilité

	Variables physique	Variables socio-économiques
a ;	Géomorphologie ;	Agglomération ;
b ;	Trait de côte (m/an) ;	Réseau routier ;
c ;	La pente ;	Chemin de fer ;
d ;	Le niveau de la mer (mm/an) ;	Occupation de sol ;
e ;	Hauteur des vagues (mm) ;	Héritage culturelle ;
f ;	Le marnage.	Statut de protection.

Le nombre de variables utilisées dans cette étude dépendra aussi bien de la disponibilité de la donnée que de l'état de la variable dans la zone d'étude (degré de variation). A titre d'exemple, à l'échelle locale (littoral algérois), le marnage et l'élévation du niveau de la mer peuvent être homogènes dans toute la zone d'étude, ces résultats seront appuyés par l'intégration de la composante (variable) socio-économique proposée par (McLaughin et Cooper 2010).

IV.3.1 Choix des variables pour le CVI physique

Tableau 10 : Les variables du CVI physique (by Hammar et al.2010)

catégorie Variable	1	2	3	4	5
Géomorphologie	Côte rocheuse à falaise haute	Côte à falaise moyenne	Côte à falaise basse	Lagune	Côte deltaïques, marais, cordon
Trait de côte (m/an)	>2	1-2	-1-1	-2-1	<-2
La pente (%)	12	12-9	9-6	6-3	<3
Le niveau de la mer (mm/an)	<1.8	1.8-2.5	2.5-3	3-3.4	>3.4
Hauteur de la mer (mm)	<0.55	0.55-0.8	0.85-1.05	1.05-1.025	>1.25
Le marnage (m)	>6	4-6	2-4	1-2	<1
CVI	Très faible	Faible	Modéré	Fort	Très fort

A. Variable géomorphologique

La zone d'étude s'insère dans l'anticlinal du sahel occidental d'Alger, la bordure littorale de la zone étudiée se joint à la baie de Bou Ismail et est caractérisée par une importante accumulation de dunes récentes, d'alluvions, de sables et de graviers.

Ce littoral physique est donc très diversifié, la morphologie de la zone d'étude indique l'existence de transit sédimentaire éventuellement précise leurs sens, l'observation de l'estran montre fréquemment la présence sur la haute plage de formes en croissant qui indiquent une mobilité des sédiments perpendiculairement au trait de côte.

Pour la détermination du degré de vulnérabilité de cette variable on s'est basé sur la carte géologique suivante (fig1), la zone d'étude est une plage sableuse et donc son degré le degré de vulnérabilité est maximum pour cette variable, tout le long du linéaire côtier.

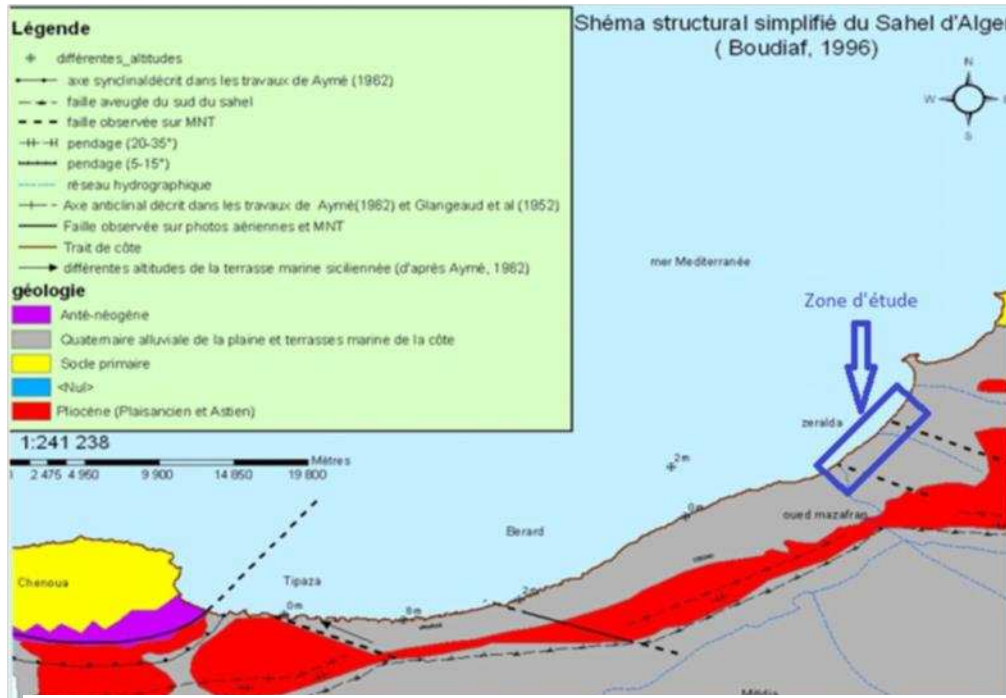


Figure 27 : Schéma structural simplifié du Sahel d'Alger (Boudiaf,1996)

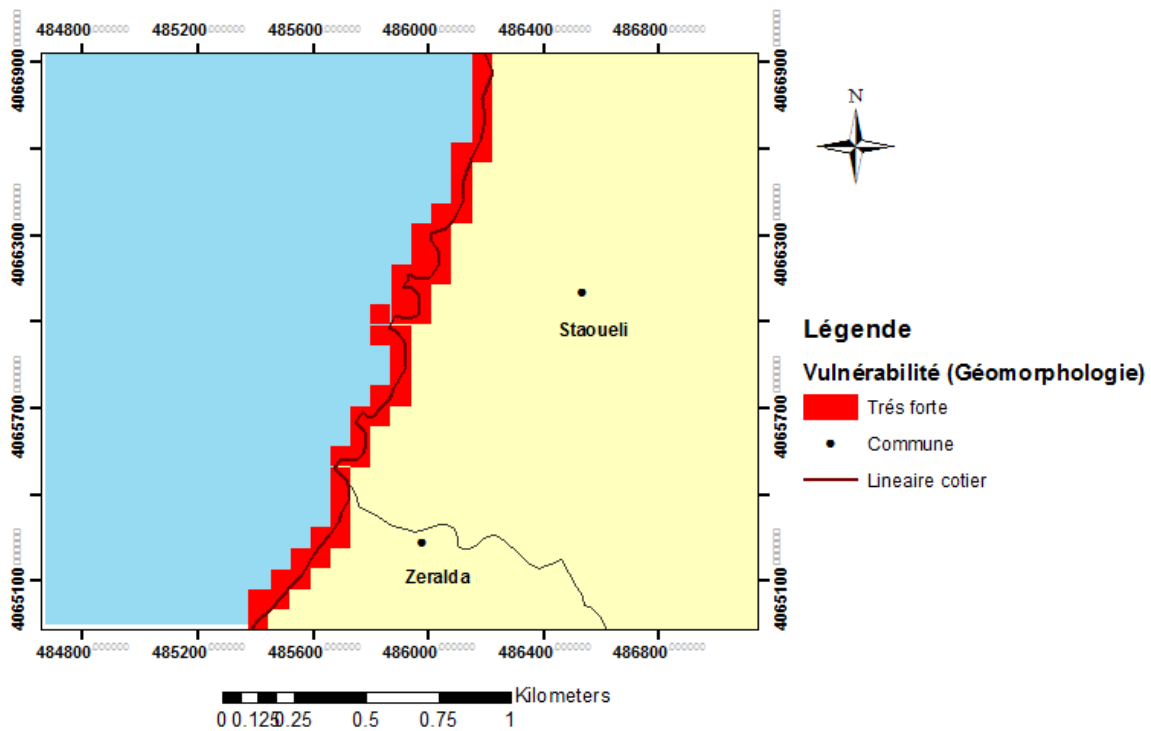


Figure 28 : Représentation du degré de vulnérabilité, liée à la variable géomorphologie

A. Variable : trait de côte

On s'est basé sur les résultats obtenu dans la partie précédente pour l'évolution du trait de côte et on a retenu L'End Point Rate (EPR) qui est le rapport de la distance entre le trait de côte le plus ancien (2003) et le plus récent (2017) sur le temps (nombre d'années) écoulé entre les deux dates, exprimé en mètres/an, et qui nous informe sur le degré d'érosion de notre zone d'étude.

On constate une vulnérabilité moindre au niveau des ouvrages justifié par leur présence, et un degré de vulnérabilité plus prononcé au niveau du restant du linéaire côtier.

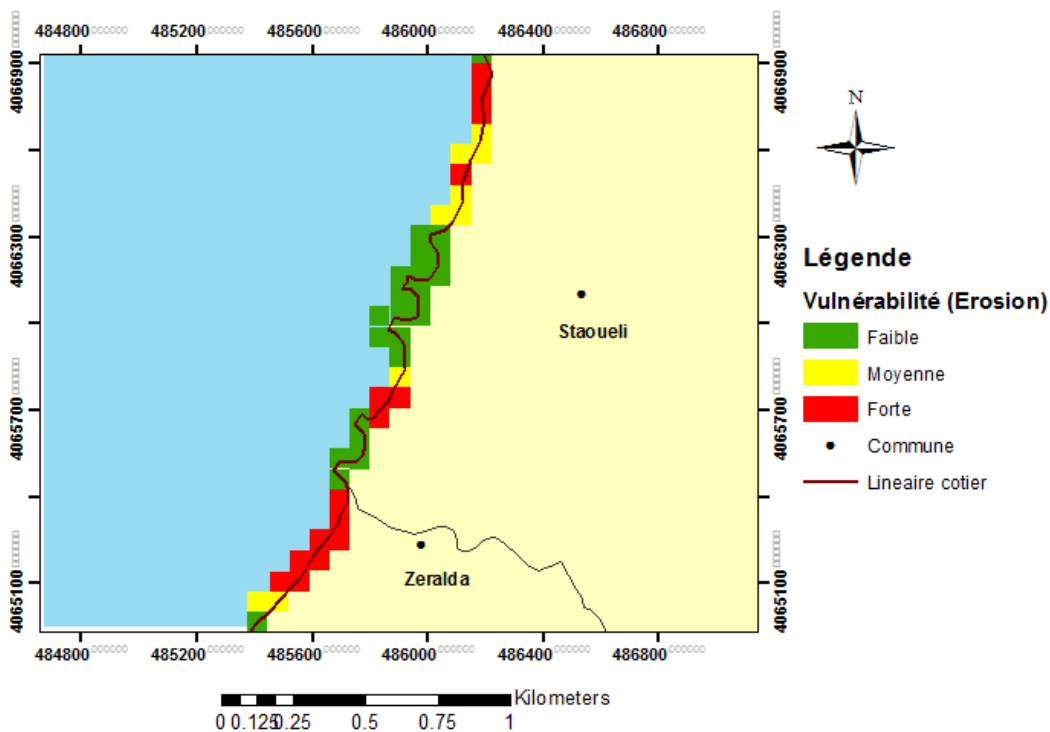


Figure 29 : Représentation du degré de vulnérabilité, liée à la variable trait de côte

A. Variable : pente

Le paramètre topographie est représenté par les valeurs de la pente en degrés, la pente du terrain est un des paramètres essentiels de l'écoulement de l'eau dans les cours d'eau, elle peut être une contrainte naturelle pour l'installation humaine en étant le théâtre d'éboulements, d'avalanches ou de glissements de terrain. Tout comme elle peut être le support d'activités humaines de loisir

Pour connaître la pente le long du linéaire côtier de notre zone d'étude on s'est appuyé sur le profil de dénivelé déterminé à partir de Google Earth du quel on a extrait la pente moyenne pour chaque cellule, le résultat obtenu montre que la quasi-totalité de la région est caractérisée par une pente très faible, inférieure à 2°, ce qui implique donc que la totalité du linéaire côtier de la zone d'étude très vulnérable par rapport à cette variable.



Figure 30 : Représentation du profil topographique sur Google Earth

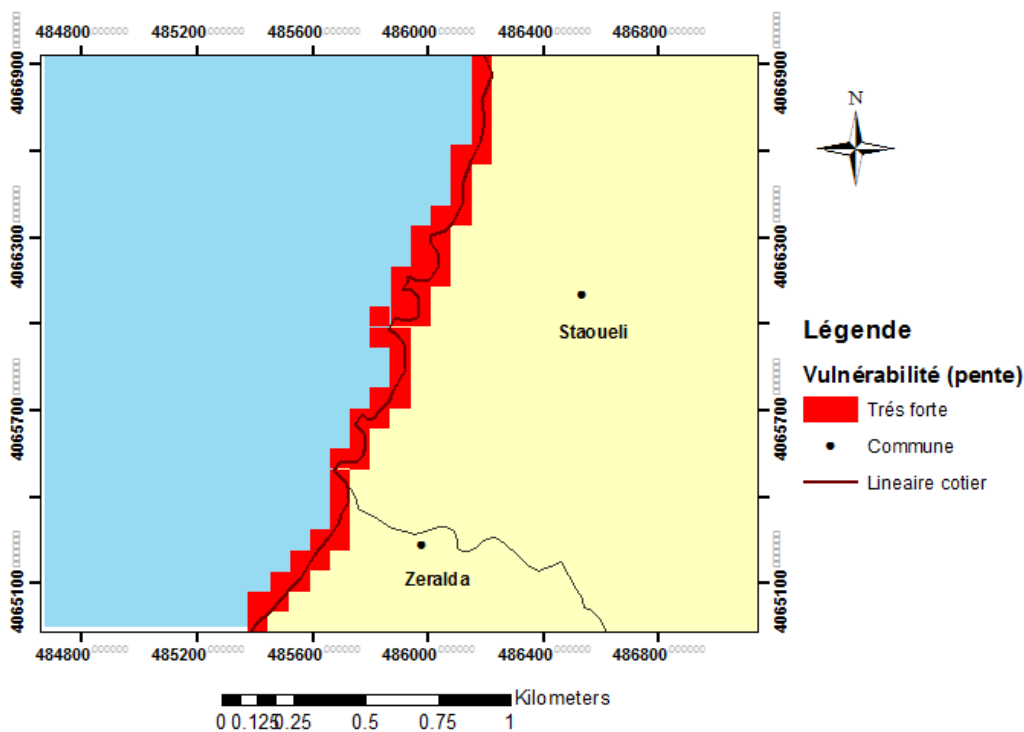


Figure 31 : Représentation du degré de vulnérabilité, liée à la variable pente

A. Variable : variation du niveau marin

Le niveau de la mer est une mesure de la hauteur moyenne de la surface de l'océan, défini comme le point à mi-chemin entre la moyenne de marée, c'est-à-dire entre une marée haute et la marée basse moyenne, utilisée comme un standard dans l'élévation.

Les principaux paramètres qui influent sur le niveau de la mer sont la pression atmosphérique, l'augmentation de la quantité d'eau due à la fonte des glaciers et la dilatation de l'eau causée par son réchauffement, qui sont des conséquences directes du changement climatique.

Les conséquences de l'élévation du niveau de la mer sont nombreuses sur différents plans (social, environnemental, économique, etc.). Si la montée moyenne du niveau des mers est fondamentale dans la prévision des risques du littoral, à savoir l'érosion, la submersion et les dommages aux cultures et infrastructures, c'est qu'elle peut avoir des impacts importants et dévastateurs.

Le niveau moyen de la mer en méditerrané est estimée à 3.2 mm/ans de 1993 à 2014. (GEIC), ce qui implique que le degré de vulnérabilité est très faible pour cette variable.

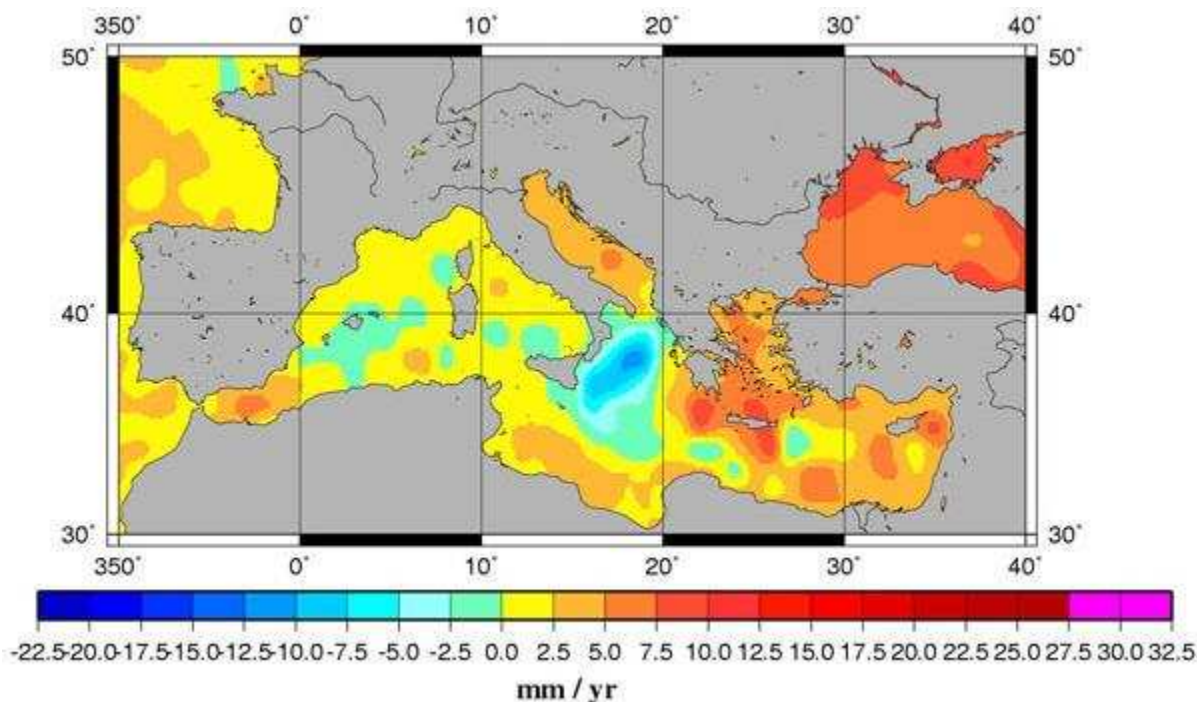


Figure 32 : Carte de la distribution géographique des vitesses de variation du niveau de la mer (Topex, 1993)

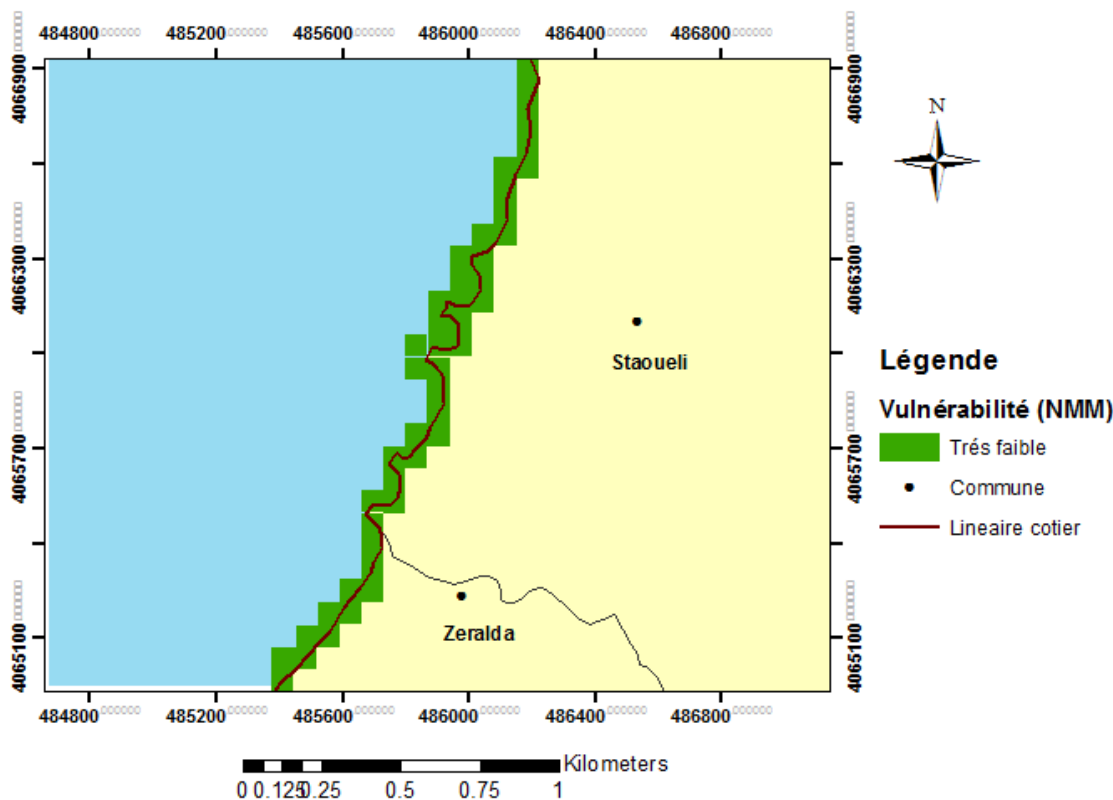


Figure 33 : Représentation du degré de vulnérabilité, liée à la variable niveau de la mer

B. Variable : hauteur des vagues

La zone littorale est définie par la "région où les vagues déferlent près de la côte", les deux forces dues aux vagues (pression et inertie) vont donc agir vers la plage et le long de la plage un équilibre se crée avec deux forces opposées :

- Un frottement au fond sur le courant moyen, accéléré par les vagues,
- Un gradient de pression causé par la montée du niveau moyen de la mer sur la plage, cette eau étant poussée par les vagues.

Les vagues ont donc deux effets sur la circulation littorale :

- Une élévation du niveau moyen sur la plage.
- Un courant de dérive moyen le long de la plage, qui influe sur le transport sédimentaire.

Les valeurs de H_s (défini autant que la moyenne du tiers supérieur de l'ensemble des vagues) retenu pour l'évaluation du degré de vulnérabilités sont celles provoqué par des houles de provenances nord-est, et qui sont considéré comme étant les plus dominantes, ce sont les résultats obtenus dans le chapitre précédant (Modélisation du fonctionnement hydro-sédimentaire).

On observe un degré de vulnérabilité très élevé au niveau du linéaire côtier adjacent à la commune de Staoueli, la mise en place des ouvrages de protection constitue donc une barrière de défense pour le littoral au niveau de cette zone contre l'hydrodynamisme.

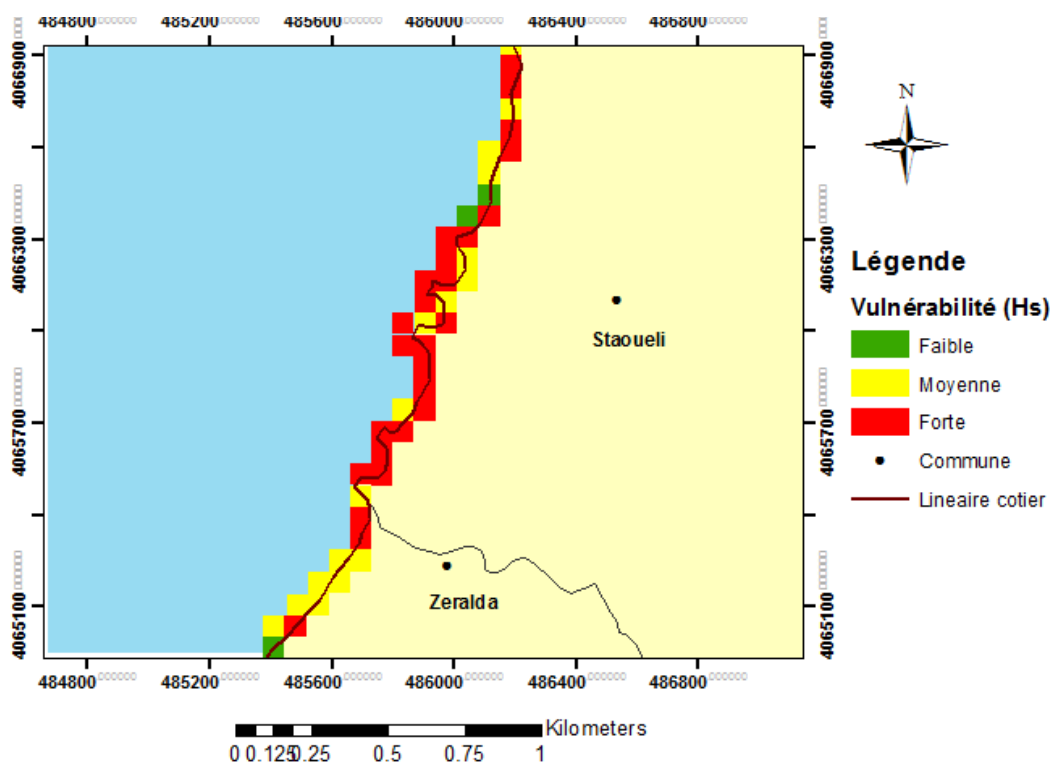


Figure 34 : Représentation du degré de vulnérabilité, liée à la variable hauteur des vagues

F. Variable : marnage

On définit le marnage comme étant la différence de hauteur d'eau entre une pleine mer et une basse mer successive, la différence générale entre marée basse et marée haute pour l'ensemble de la zone maritime algérienne est d'environ 0,30 m (Méditerranéen, Pilot 78), la marée est donc pratiquement négligeable, la zone d'étude appartient à un milieu microtidal (marnage < 2 m) qui est une caractéristique des mers fermées, elle est donc très vulnérable par rapport à cette variable, la carte suivante montre les amplitudes moyennes (différence entre la hauteur d'une pleine mer ou d'une basse mer et le niveau moyen) observées au niveau mondial.

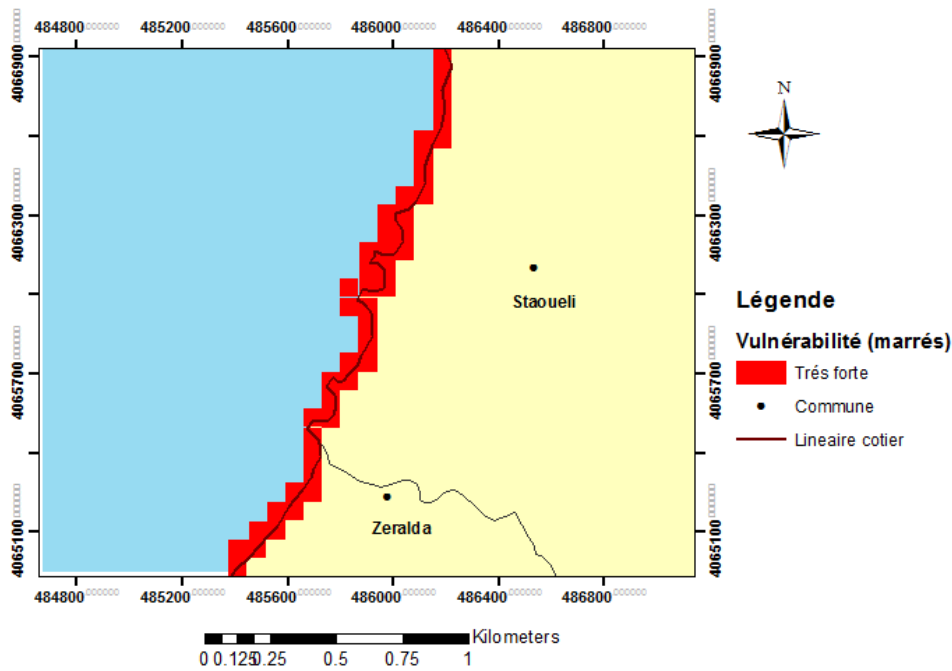


Figure 35 Représentation du degré de vulnérabilité, liée à la variable marnage

IV.3.3 Choix des variables pour le CVI socio-économique :

Tableau 11 : Les variables du CVI Socio-économiques (by Mclaughlin et al.2001).

catégorie Variables	1	2	3	4	5
Agglomération	Absent	Village	Petite ville	Ville	Grande ville
Réseau routier	Absent		Route		Autoroute
Chemin de fer	Absent				Présent
Occupation de sol	Les plans d'eau Espace vert Roches nues	Prairie naturelle	Forêt	Activité agricole	Zone urbanistiques, d'infrastructure et industriel
Héritage culturel	Présent				Absent
Statut de protection	Absent		International		National

A. Variable : agglomération

Une ville ; le milieu urbaines à la fois un milieu physique et humain où se concentre une population qui organise son espace en fonction du site et de son environnement, en fonction de ses besoins et de ses activités propres et aussi de contingences notamment socio-politiques.

La ville est un milieu complexe qui ne peut cependant pas se résumer à une approche physique car l'espace urbain est aussi la traduction spatiale de l'organisation dans l'espace et dans le temps des hommes et de leurs activités dans un contexte donné.

Ce contexte est autant physique que climatologique, économique que politique, social que culturel, l'approche de la ville ne peut être que diachronique et l'histoire des villes, de chaque ville ou agglomération reste un élément d'analyse essentiel.

Selon l'article 03 de la loi 06-06, portant orientation de la ville, il est entendu par « ville », toute agglomération urbaine ayant une taille de population et disposant de fonctions administratives, économiques, sociales et culturelles. (Voir annexe)

Notre zone d'étude est partagée entre 2 entités administratives : Zeralda et Staoueli, la population ainsi que la densité, révèlent qu'elles sont considérées comme des agglomérations importantes.

Tableau 12 : Population des deux communes de la zone d'étude (**geohive, 2008**)

Commune	Population (nb. Hab)	Superficie (km ²)	Densité (nb.hab/km ²)
Staoueli	47 664	20,98	2 272
Zeralda	51 552	29,69	1 732

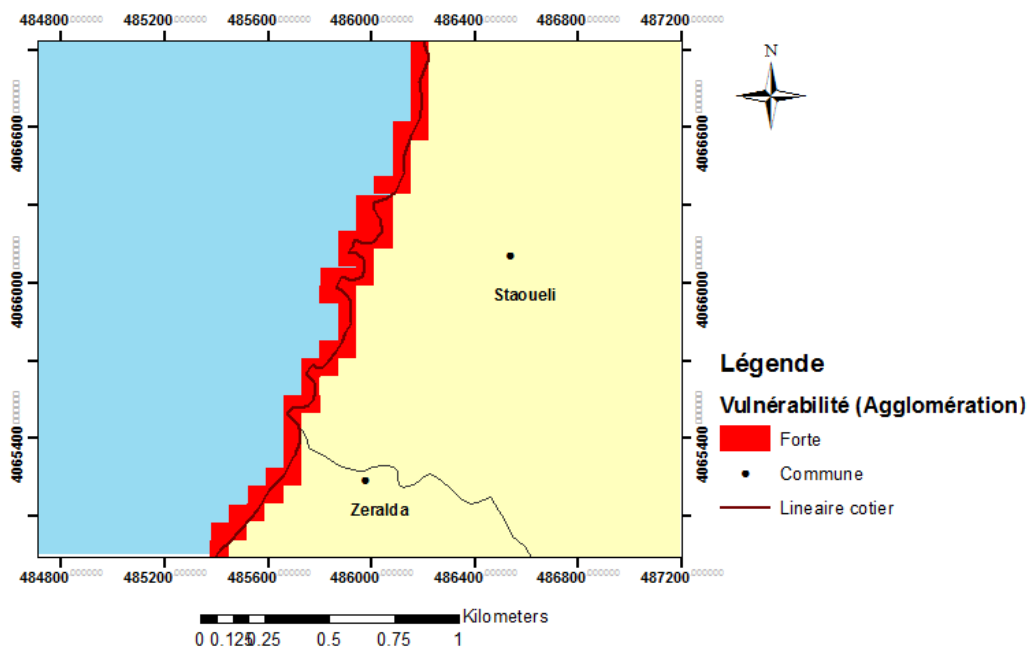


Figure 36 Représentation du degré de vulnérabilité, liée à la variable agglomération

A. Variable : chemin de fer

L'inauguration en 2016 de la gare ferroviaire de Zéralda s'est inscrit dans le cadre de l'aménagement de la région algéroise, portant sur la modernisation et l'extension du réseau ferré de la banlieue d'Alger, surtout qu'elle est pénalisée par les embouteillages routiers, la ligne de Birtouta à Zéralda d'une longueur de 21 km est l'une des lignes du réseau ferroviaire de la banlieue algéroise. Elle relie la gare de Birtouta à celle de Zéralda, elle permet la desserte de La forêt de Zéralda, au nord-est, la forêt de Mahelma, au sud-est, et le Centre cynégétique de Zéralda, à l'est.

Voici une carte représentant le réseau ferré de la banlieue d'Alger avec la nouvelle ligne de Birtouta à Zéralda et les projets d'extensions.

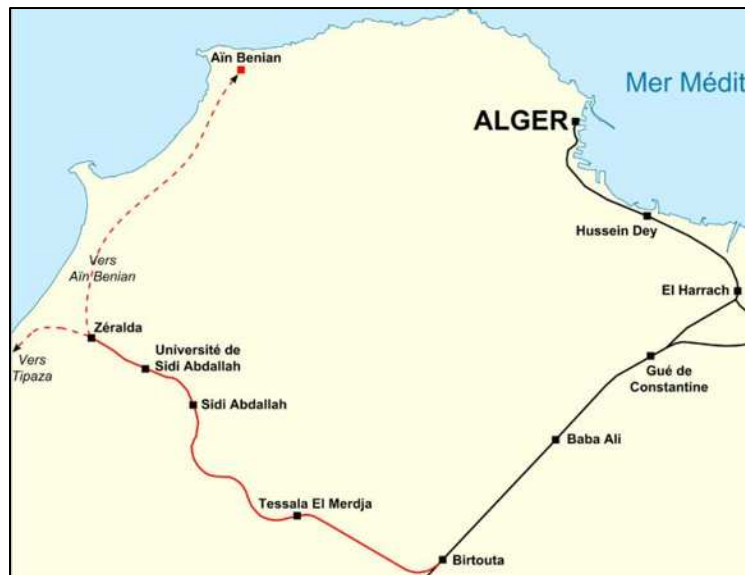


Figure 37 : Plan du réseau ferré de la banlieue d'Alger (Abbenaz, 2016)

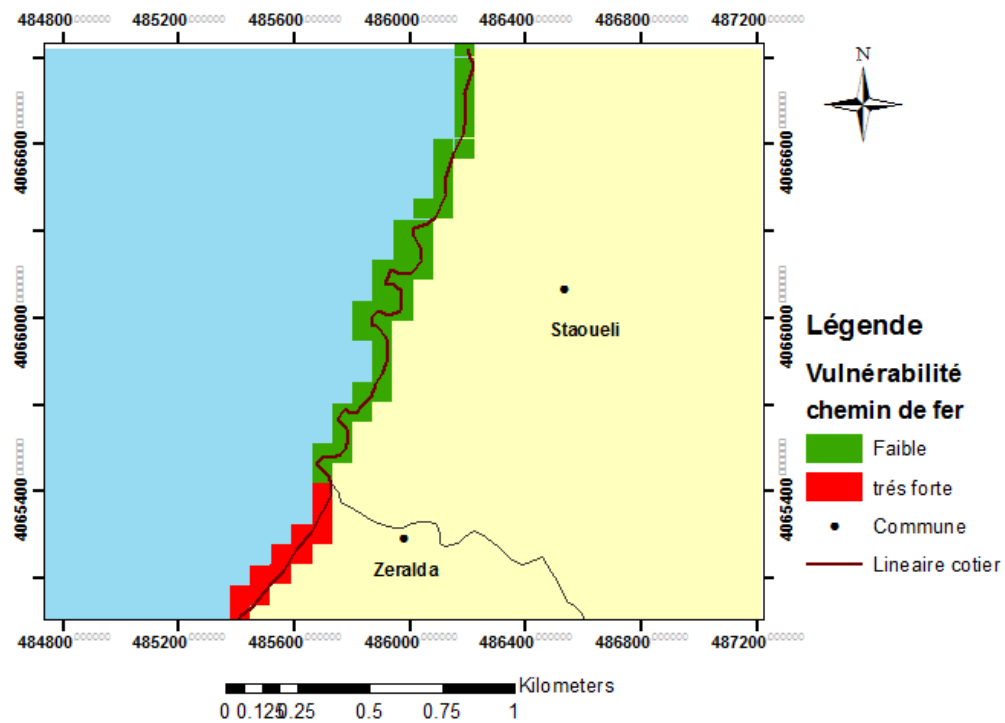


Figure 38 : Représentation du degré de vulnérabilité, liée à la variable chemin de fer

C. Variable : réseau routier

Le transport est une fonction horizontale qui affecte toutes les activités d’une ville ou d’un pays parce qu’il joue un rôle moteur dans le développement économique et social et qu’à l’échelle régionale et mondiale, la performance du système de transport est, devenue déterminante dans les échanges commerciaux, le transport routier en particulier est le mode le plus utilisé aussi bien pour le transport des voyageurs que des marchandises.

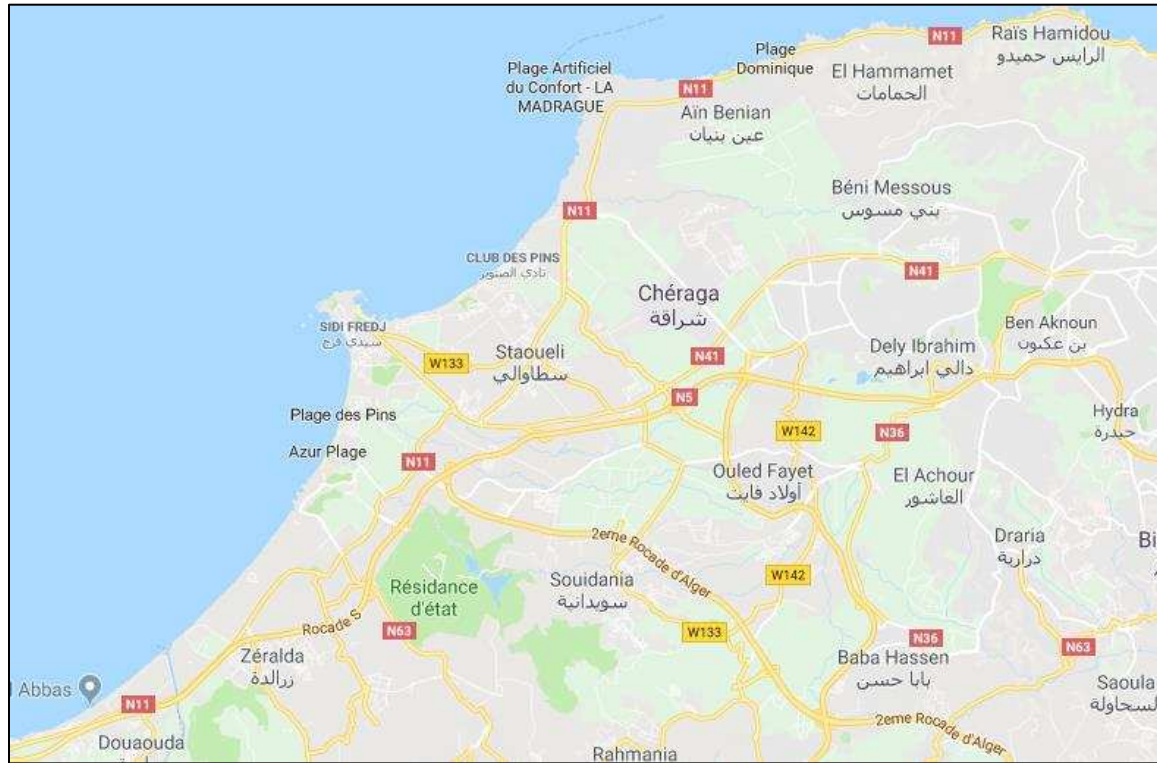


Figure 39 : Carte google maps du réseau routier de la commune de Zéralda

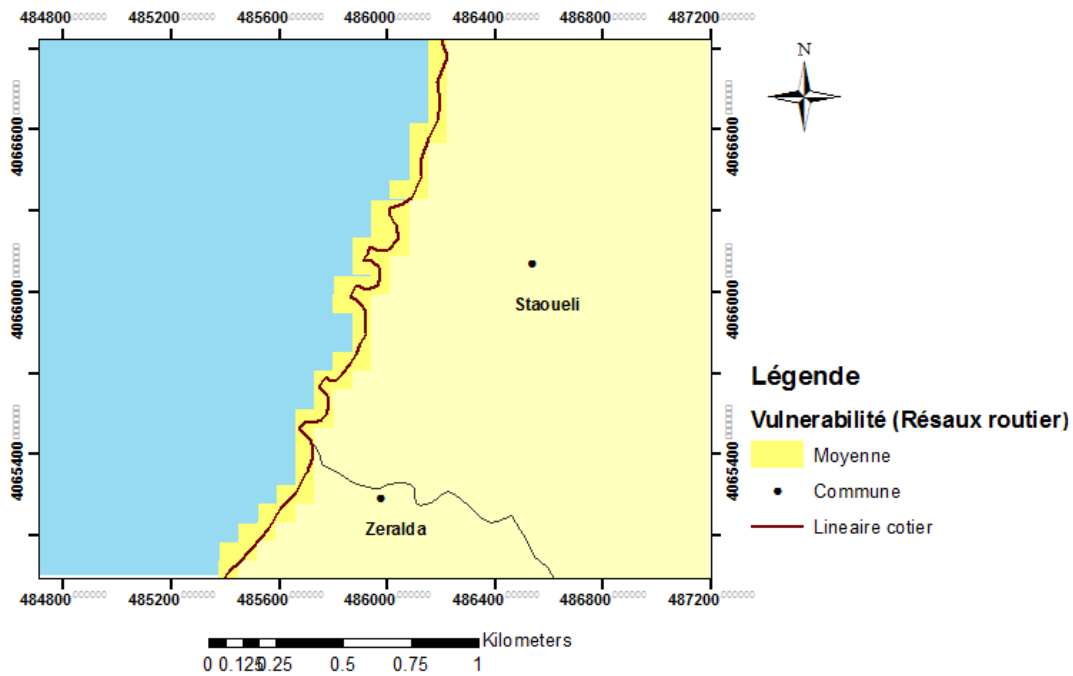


Figure 40 : Représentation du degré de vulnérabilité, liée à la variable réseau routier

D. Variable : occupation du sol

L'occupation du sol peut être définie comme la couverture physique (et biologique) de la surface des terres émergées (d'après FAO, 1998).

Différents processus naturels et anthropiques interviennent et modifient l'occupation du sol. Ainsi, la description de celle-ci est alors utile pour la connaissance scientifique des états et de l'évolution des territoires, ainsi que pour la gestion des ressources naturelles et l'aménagement du territoire : zones artificialisées, espaces agricoles, forêts ou landes, zones humides, surfaces en eaux. ...

A l'aide des classifications supervisé par le logiciel ENVI on a réalisé une carte thématique de l'occupation du sol à partir d'une image (Google Earth) de la zone d'étude, sur la quel on s'est appuyé pour déterminer la répartition de l'occupation du sol en fonction du linéaire côtier.

Tableau 12 : Résultats finaux de la classification

Classe	Pixel Count	Pourcentage
Terre agricole	532900	28%
Végétation	479700	25%
Urbain	876400	46%
Total	1889000	100%

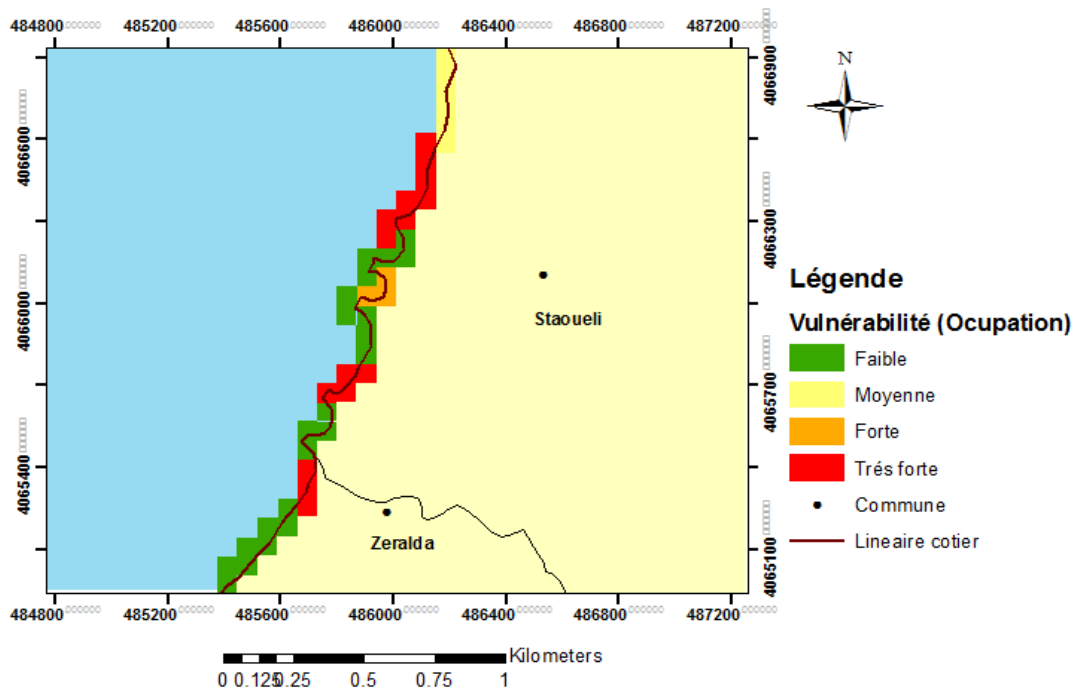


Figure 41 : Représentation du degré de vulnérabilité, liée à la variable occupation du sol

E. Variable : héritage culturel

Le patrimoine culturel se définit comme l'ensemble des biens, matériels (des paysages construits, de l'architecture et de l'urbanisme, des sites archéologiques et géologiques, de certains aménagements de l'espace agricole ou forestier, d'objets d'art et mobilier, du patrimoine industriel) ou immatériels(chants, coutumes, danses, traditions gastronomiques, jeux, mythes, contes et légendes, petits métiers, témoignages, captation de techniques et de savoir-faire), ayant une importance artistique et/ou historique généralement préservé, restauré, et sauvegardé. (Leniaud, 1992)

On s'est basé sur cette définition pour déterminer le degré de vulnérabilité par apport à cette variable et il se trouve que notre zone d'étude n'est pas spécialement caractérisée par un élément cité dans cette définition.

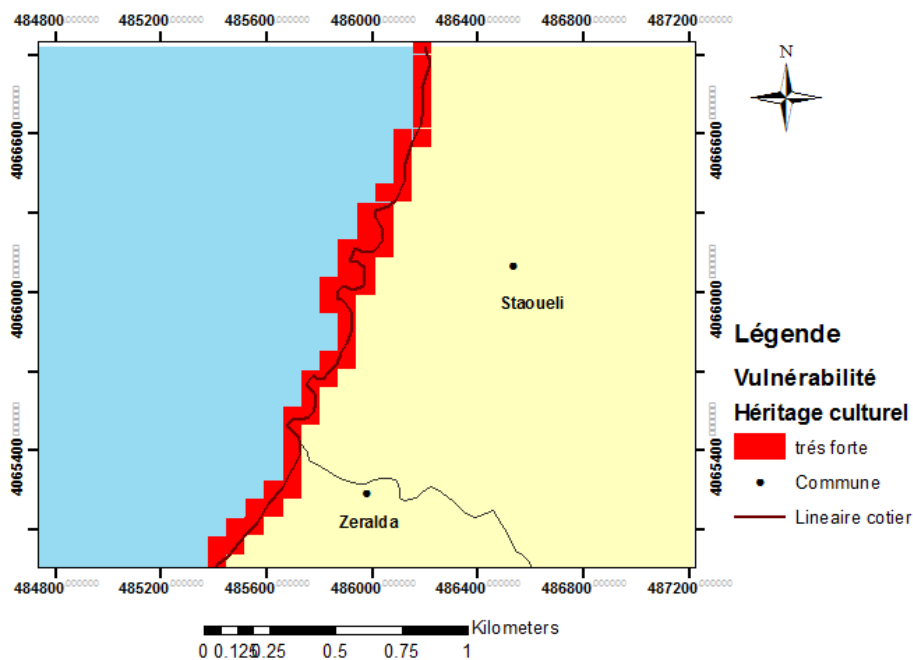


Figure 42 : Représentation du degré de vulnérabilité, liée à la variable héritage culturel

F. Variable : statut de protection

Une réserve de chasse, est une zone où dans l'intérêt de la conservation générale du gibier et de la faune sauvage la chasse est interdite en accord avec les autorités cynégétique

Le décret no 83-761 du 8 janvier 1983, portant création d'un centre cynégétique à Zéralda, a érigé cette station de gibier en centre cynégétique ayant pour vocation le maintien de la biodiversité, l'équilibre des écosystèmes et le respect de l'environnement

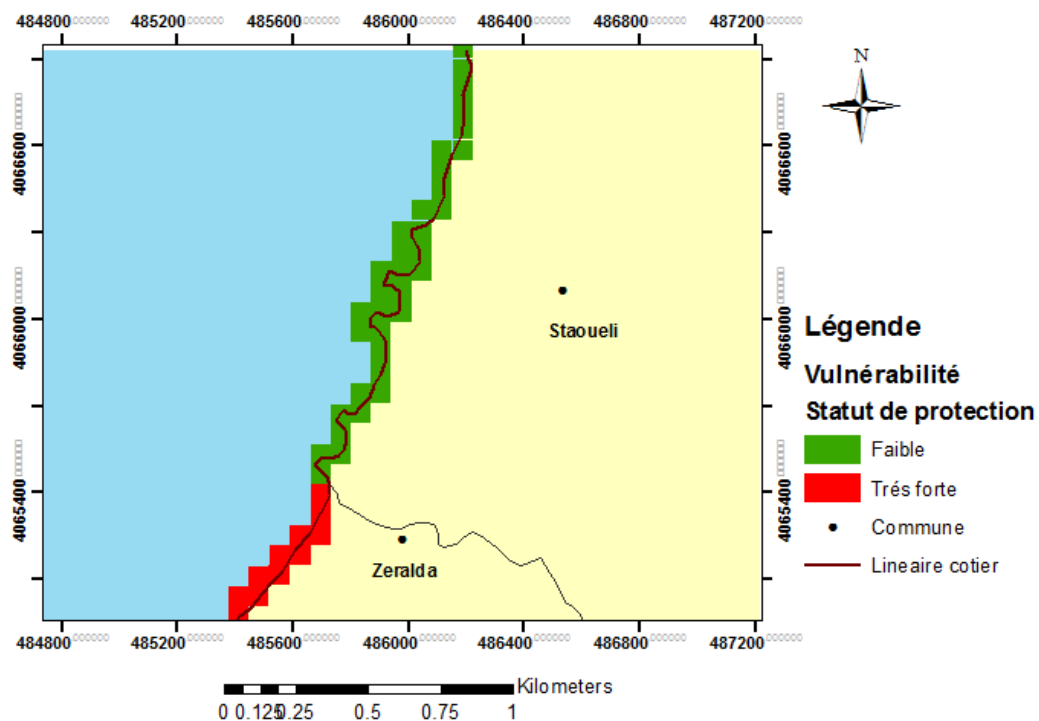


Figure 43 : Représentation du degré de vulnérabilité, liée à la variable statut de protection

IV.4 Cartes de synthèse de l'indice de vulnérabilités côtière (physique et socio-économique)

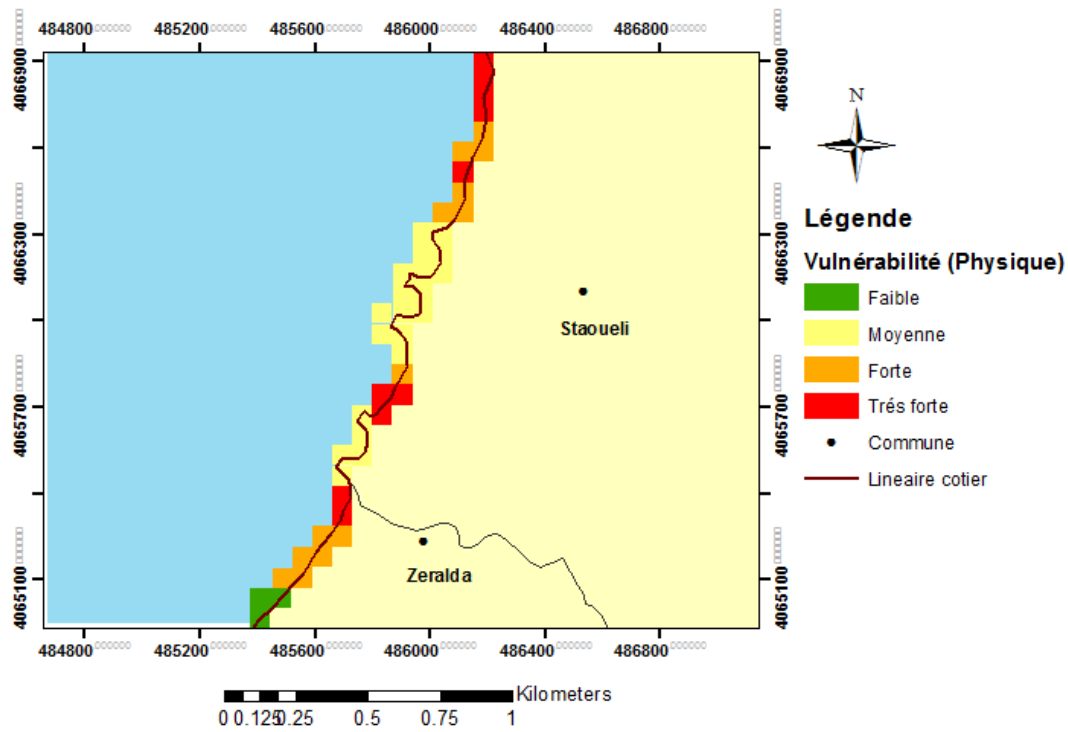


Figure 44 : Carte de synthèse représentant le CVI (Physique) de la plage de Palm-Beach

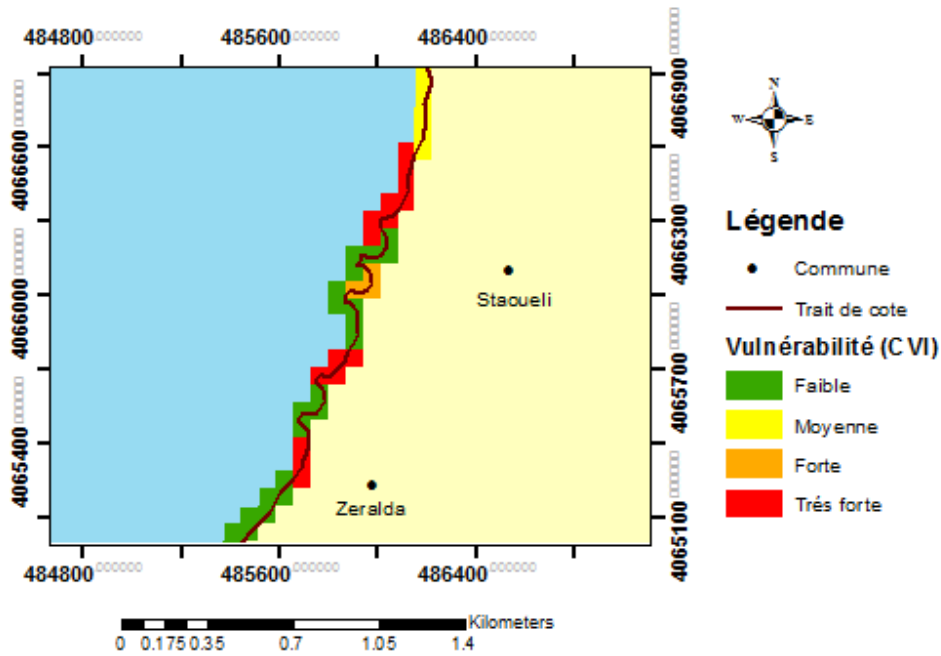


Figure 45 : Carte de synthèse du CVI (Socio-économique) de la plage de Palm-Beach

La plage de palm Beach est soumise à des forçages naturels et des caractéristiques qui la rendent moyennement vulnérables avec des fluctuations locales, les variables socio-économiques apportent un complément d'informations sur la capacité du système à subir les différentes pressions.

IV.5 Conclusion

Vers la mise en place d'un système de gestion intégré de la zone côtière

Nous avons recherché à rendre la méthodologie proposée la plus simple possible en essayant de recourir à des paramètres qualitatifs d'importance qui sont ensuite combinés et transformés pour sortir les indices requis pour la classification de la zone.

L'étude de vulnérabilité des côtes rappellent une problématique majeure : celle de la gestion de l'espace et de ses ressources. Dans le cadre des zones côtières, véritables écotones de survie, Or, il serait préférable que les mesures d'adaptation exposées plus haut soient incluses dans un cadre plus large de gestion des côtes. Ce cadre de gestion devrait intégrer une politique de restauration des zones côtières. Cette politique de gestion devra être comme nous le dit Desse (2003), globale, du bassin versant à la mer, mais aussi trans-sectorielle, prenant en compte à la fois l'agriculture, l'industrie, la pêche et l'habitat. Cette politique devra s'appuyer sur une importante formation à l'environnement des administrations comme des populations.

Conclusion générale

Conclusion générale

Ce mémoire portant sur l'étude hydro-sédimentaire de la plage sableuse de palm Beach avait pour principal objectif de mettre en évidence et de mesurer les phénomènes d'érosion et d'accumulation au niveau de cette dernière afin d'estimer son degré de vulnérabilité.

Ce travail nous a permis d'approfondir nos connaissances dans les techniques de modélisation et d'analyse afin de mieux comprendre la dynamique côtière.

La méthodologie mise en avant dans ce travail a réussi à valoriser les apports de la modélisation numérique par l'utilisation du modèle numérique Mike 21, modèle SWAN et des SIG.

Dans le premier chapitre, une identification des caractéristiques de la zone d'étude a permis de mettre en valeur sa fragilité par rapport aux facteurs naturels et anthropiques de par son intérêt économique et son attrait touristique.

Dans le deuxième chapitre on a d'abord entamé une méthodologie portant sur l'apport potentiel SIG (utilisation combinée des logiciels DSAS et ArcGIS).

Cette méthode repose sur une analyse des tendances d'évolution du littoral dans son état naturel et le suivi de sa transformation.

Les résultats de ces traitements ont permis de dire que la côte sableuse étudiée souligne une accumulation généralisée de l'ordre de 0.64 m/an avec un bilan sédimentaire quantifié sur les 14 ans de 2529 m³/an.

Ensuite on a étudié la réfraction de la houle par le modèle SWAN, de façon générale au niveau de la côte algéroise.

L'étude de la réfraction montre que notre zone d'étude est exposée aux houles des secteurs, Nord et Nord-Ouest et Nord-Est. Cela est justifié par la configuration du trait de côte qui est parallèle au Nord-Ouest et qui reçoit l'énergie de ces trois directions dominantes.

Les houles du Nord et Nord-Est sont moyennement réfractées, perdant une partie de leurs énergies du large, Tandis que les houles du Nord-Ouest ont tendance à arriver de manière perpendiculaire à la côte en gardent presque la totalité de leurs énergies du large. Ces houles peuvent générer des courants littoraux et entraîner l'érosion côtière. Tout d'abord, on a utilisé le modèle numérique afin cartographier les fonds marins et d'étudier la propagation de la houle dans la zone d'étude.

Dans le troisième chapitre l'étude bathymétrique par le Mike 21 nous a permis une bonne compréhension de la morphologie sous-marine, cette modélisation nous a renseigné sur le fond de la zone d'étude qui se caractérise généralement une morphologie plus ou moins régulière parallèle à la côte avec la présence des barres sous-marine.

Conclusion générale

L'étude hydrodynamique par les modèle SW et HD du Mike 21 nous a permis d'exploiter les caractéristiques de la houle au large, avec estimation de la direction et de la hauteur de la houle significative à la côte, ainsi que la direction et intensité des courants au niveau de la zone d'étude.

La modélisation du transport sédimentaire dans cette partie a été réalisé par le module Mike 21/3 coupled model FM, qui nous a permis de modéliser le transport sur cette plage où on a pu montrer qu'il y'a une tendance de perte des sédiments vers le large dans la direction Est-Ouest, cela peut expliquer la cause de l'ensablement probable du port et l'érosion du linéaire côtier qui justifie la mise en place des ouvrages de protections complémenté par le rechargement.

Le quatrième chapitre, on a procédé à une étude complémentaire exploitant les résultats des études précédente, qui a permis de synthétiser la vulnérabilité de la zone en assimilant à la fois les paramètres physiques et économiques, cette étude a permis de démontrer les différents aspects externes qui peuvent influencer sur la zone, cela afin d'élargir notre vision sectorielles sur les phénomènes d'érosion qui affecte notre zone d'étude et donc pourquoi ne pas l'intégrer dans une perspectives plus globale de gestion ?

Bibliographie

Bibliographie

Ahrens J P, (1993). Wave runup and wave reflection from coastal Structures, Wave's 93, Ocean wave measurement and analysis, 2nd international Symposium, New Orleans, 1993.

Aloisi J.C., (1986). Sur un modèle de sédimentation deltaïque : contribution à la connaissance des marges passives. Thèse de doctorat d'état, Université de Perpignan, 162 p.

Aminti P, (2004). Evaluation of Beach Response to submerged Groin Construction at Marina di Ronchi, Italy, Using Field Data and a Numerical Simulation Model., Journal of Coastal Research, SI (33), 99-120, West Palm Beach.

Amghar. L., Sahraoui. E. (2005). Etude géologique et géotechnique d'un projet de complexe hôtelier de Staoueli. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ISMAL, 74 p.

Al Sid Chikh S, (2011). Etude de protection de la plage de palm Beach azur contre l'érosion recours à la modélisation numérique et physique, Thèse de magister. Alger : ENSSMAL, 76 p.

Assassi. C., Otmani. H. (2010). Etude de protection de la zone de Club des Pins. Mémoire d'Ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 120 p.

Bailard J. ,(1981) .An energetic total load transport model for a plane sloping beach, Journal of Geophysical Research, 86, C11, 10938-10954.

Balsillie J.H., (1986).Beach and coasterosion due to extreme event impact. Shore and Beach, 54, n° 4, 22-37.

Bennie, S.L. (1983). Geophysical Investigation of the Ngatamariki Geothermal Area. Geophysics Division Report 192, D.S.I.R, Wellington, New Zealand.

Bengoufa S, (2016). Étude et évaluation de l'état de la vulnérabilité du système côtier de la zone est algéroise, Mémoire d'Ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 88 p.

Bertier, .Jimmy (2009). Analyse multi-échelle de la morphodynamique d'une plage artificielle, Avant-port Ouest de Dunkerque (Nord de la France).. Géomorphologie. Université du Littoral Côte d'Opale.

Belaidi S, Hamdous Y, (2016). étude hydro sédimentaire du rivage de khmisti : application de la modélisation numérique en domaine bidimensionnelle par un logiciel de calcul Mike 21. Mémoire d'Ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 98 p.

Bibliographie

Boughaba, A. (1992). Les littoraux meubles septentrionaux de la péninsule de Tanger (Maroc). Géomorphologie et effet de l'intervention anthropique sur leur environnement. Thèse de doctorat, Université de Nantes, France, 348 p.

Booij, N., Ris, R. C., Holthuijsen, L. H. (1999). A third-generation wave model for coastal regions, part I: model description and validation. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 104, p. 7649-7666.

Cutter Susan, L. (1996). Vulnerability to environmental hazards, Volume: 20 issue: 4, page(s): 529-539 Issue published.

Caminade., D (1995). ouvrages de protection contre la houle, génie côtier université de Bordeaux.

Carter, R.W.G., (1988). Coastal Environments: An Introduction to the Physical, Ecological and Cultural Systems of Coastlines. London: Academic Press.

Chertouk N, Hamidi F, (2016). Travaux de protection de la zone de Palm Beach azur Mémoire d'Ingénieur. Aménagement du littoral. Alger: ENSSMAL, 68 p.

Crowell, Mark Bruce C. Douglas and Stephen, P.(1997). Leatherman Temporal Analysis of Shoreline Recession and Accretion. Available from: *Journal of Coastal Research* Vol. 13, No. 4 (Autumn,), pp. 1245-1255.

Daniel F., Hubaud M.O., (1996). Érosion côtière des systèmes littoraux sableux, ODEM, 21p.

Dagorne, (1970). Le domaine maritime algérien : ses caractères physiques et biologiques 1 publ. ronéo de 91 p.

Day JW, Rybczyk J, Scarton F, Rismondo A, Are D, Cecconi G. (1999). Soil accretionary dynamics, sea-level rise and the survival of wetlands in Venice Lagoon : A field and modelling approach. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 49, p. 607-628.

Deigaard j., (1992). Mechanics of Coastal Sediment Transport. By World Scientific, 369 pp.

Desmazes Franck 2005, caractérisation des barres sableuses d'une plage de la côte aquitaine exemple de la plage du truc vert., THÈSE DOCTORAT, Spécialité : Géologie marine.

DHI, (2014j). MIKE ZERO: Creating 2D Bathymetries. Bathymetry Editor & Mesh Generator. Scientific Documentation. Disponible à l'adresse : www.mediafire.com/view/yc3w6h2c2elqnhh/BathymetryGeneration_ScientificDoc.pdf.

Bibliographie

Dolan Robert, Michael S. Fenster, Stuart J. Holme,(2011).Coastal Education &ResearchFoundation, Inc.TemporalAnalysis of ShorelineRecession and AccretionAuthor(s), Journal of Coastal Research, Vol. 7, No. 3 .

Durand, P. (2001). Érosion et protection du littoral de Valras-Plage (Languedoc, France). Un exemple de déstabilisation anthropique d'un système sableux. Géomorphologie : relief, processus, environnement, vol. 1, p. 55-68.

Garlan T. and al. Present deep-submarine canyons activity in the Bay of Biscay (NE Atlantic) Marine Geology 295–298 (2011) 113Gao. S., Collins. M. (1994). Analysis of Grain Size.

Trends. For defining sediment transport pathways in marine environments. Journal of Coastal Research. Vol. 1. 78 p.

Gaillot, S. (2001) .Méthode d'étude des littoraux à faible évolution. Cas du delta du Golo (Corse) et du littoral du Touquet (Pas de Calais) en France. Géomorphologie : relief, processus, environnement, vol. 1, p. 47-54.

GIEC (2011). Rapport d'évaluation du changement climatique, les éléments scientifiques, contribution du groupe de travail GIEC.

Gorokhovich, Y., Leiserowitz, A., &Dugan, D. (2014). Integratingcoastalvulnerability and community-basedsubsistenceresource mapping in Northwest Alaska. Journal of Coastal Research, 293, 158–169.

Guilecher A.,(1955). La sédimentation vaseuse dans les estuaires de Bretagne occidentale, geologischerundschau, 43, p. 398-401.

Kelly, P.M., Adger, W.N., (2000). Theory and practice in assessingvulnerability to climate change and facilitating adaptation. ClimateChange 47, 325–352.

Klein Richard. , Robert J Nicholls J.T., (1999). Assessment of Coastal Vulnerability to Climate Change, Journal of the Human Environment 28(2):182-187.

Larbi N., (2017). Étude de protection et d'aménagement de la zone de verte rive recours à la modélisation physique et numérique (Mike 21,litpack) Mémoire d'Ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 24 p.

Leclaire.L.,(1972).La sédimentation holocène sur le versant méridional du bassin Algéro- Baléares (précontinent algérien).Mémoires du muséum national d'histoire naturelle.Nouvelle série C,sciences de la terre , Tome XXIV , fascicule unique.Ed : Edition du muséum, Paris, pp28-78.

Leniaud Jean-Michel.,(1992). L'utopie française - Essai sur le patrimoine édition : MENGÈS.

Bibliographie

Laassilia O., (2013) . Approche multidisciplinaire de suivi de la dynamique marine du littoral de Mohammedia ; Mémoire de stage de fin d'étude ; Master Sciences et Techniques Eau et Environnement ; Université Cadi Ayyad, Faculté des Sciences et Techniques Marrakech Département des Sciences de la Terre.

Louati Mourad et Zargouni Fouad., (2008). Le littoral entre l'actuelle embouchure de l'oued Miliane et Soliman, Tunisie. Analyse de l'évolution du trait de côte par photo-interprétation et système d'information géographique, p. 209-224.

McLaughlin, S., & Cooper, J. A. G., (2010). A multi-scale coastal vulnerability index: A tool for coastal managers? *Environmental Hazards*, 9, 233–248.

Mulligan, C.N., (2005). Environmental applications for biosurfactants. *Environ. Pollut.* 133(2), 183-198 Article · Literature Review in Environmental Pollution 133(2):183-98.

Mechouet O, Mesbahi Y., (2015). Aménagement de la promenade de la baie d'Alger : Etude sur model réduit physique du transport sédimentaire dans la promenade des sablettes Mémoire d'Ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 103 p.

Orson RA, Warren RS, Niering WA., (1998). Interpreting sea level rise and rates of vertical marsh accretion in a southern New England tidal salt marsh. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 47(4), p. 419-429.

Paskoff. R., (1992). Côtes en danger. Paris Edit l'Harmattan. 247 p, 250p

Patrick McLaren, D., Bowles (1985). the effects of sediment transport on grain-size distributions, in *Journal of Sedimentary Research* 55:457-470.

Pinot J.-P., Gad L., Hénaff A., Morel V. Et Suanez S., (1999). Rapport sur le guidage de l'évolution des filières du Yar et du Roscoat au cours de l'année 1998. LETG Géolittomer-Brest (IUEM), 29 p.

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, Université Aix-Marseille I – Université de Provence, 264 p.

Stone et Orford., (2004). Storms and their significance in coastal morpho-sedimentary dynamics, Article in *Marine Geology* 210(1):1-5.

Thieler ER, Himmelstoss EA, Zichichi JL, Ergul A., (2005). The Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Version 4.0 - An ArcGIS Extension for Calculating Shoreline Change. Open-File Report. US Geological Survey Report No. 2005- 1278.

Bibliographie

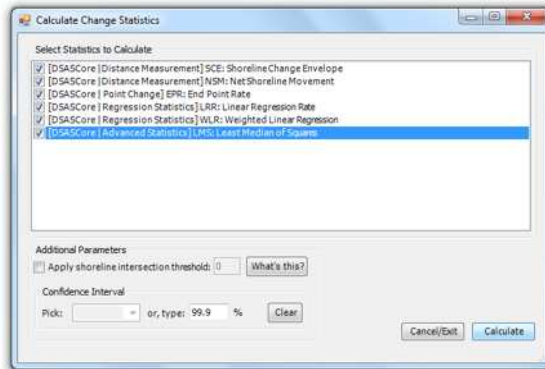
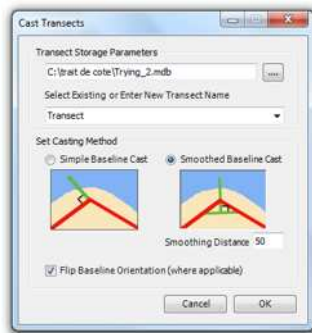
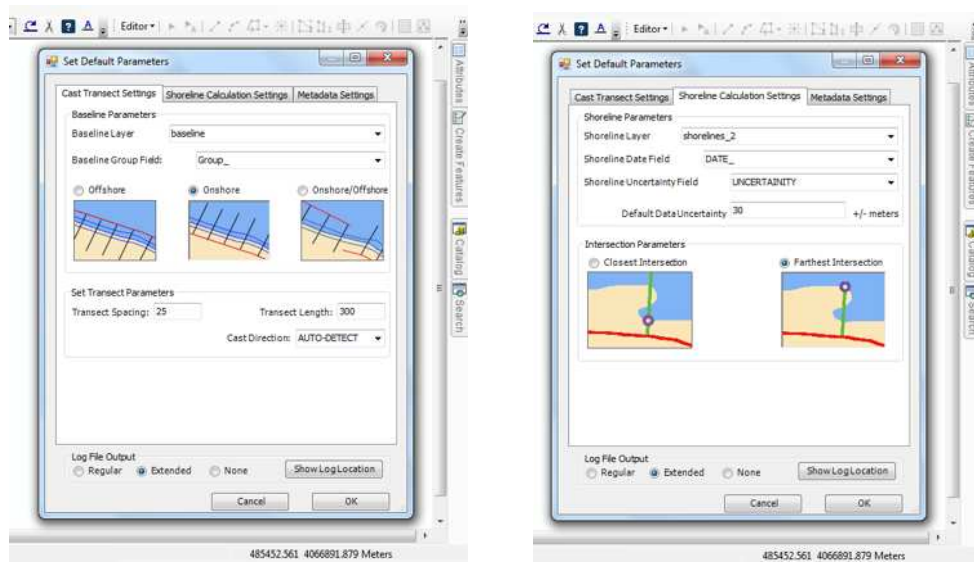
Villaret Catherine., (2004).Modélisation du transport littoral Laboratoire National d'Hydraulique et Environnement, Électricité De France, R & D, 6 Quai Watier, 78400 Chatou France.

Watson B Susan., Edward McCauley, and John A. Downing. Patterns in phytoplankton taxonomic composition across temperate lakes of differing nutrient status, Division of Ecology, Dept. Biological Sciences, University of Calgary, 2500 University Drive N.W., Calgary, Alberta T2N 1N4.

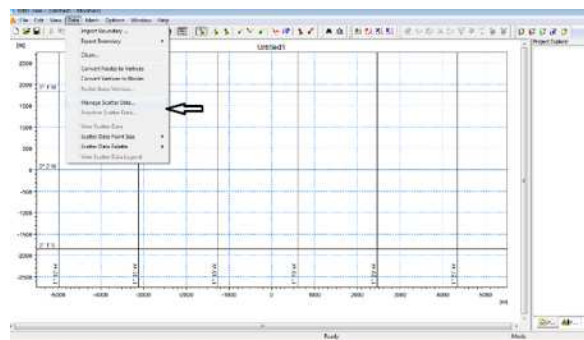
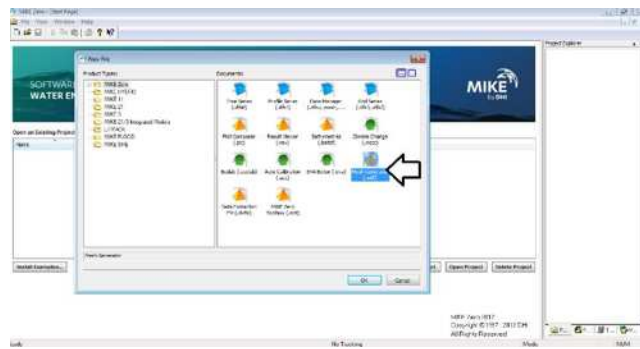
Zemenzer, S.,(2004). Ensablement du port par transport sédimentaire simulation et application du modèle de Gao et Collins (1994) au port de Sidi Fredj. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ISMAL, 65 p.

Annexes

Annexe 1 : Méthodologie pour l'exploitation de l'extension DSAS



Annexe 2 : Etapes de réalisation du maillage



Annexe 4 : Tableau d'identification des variables pour le cvi physiques

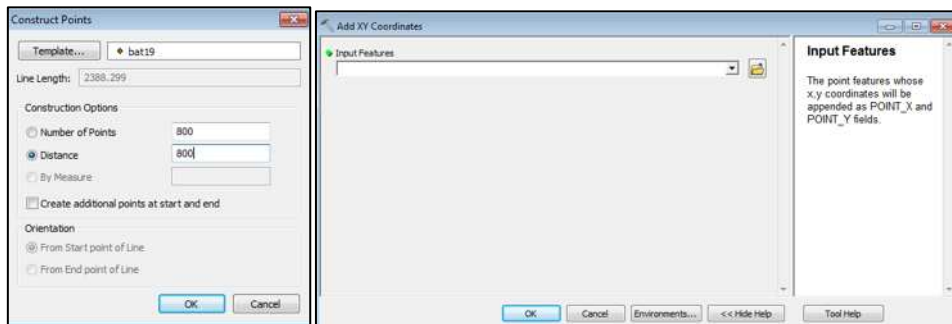
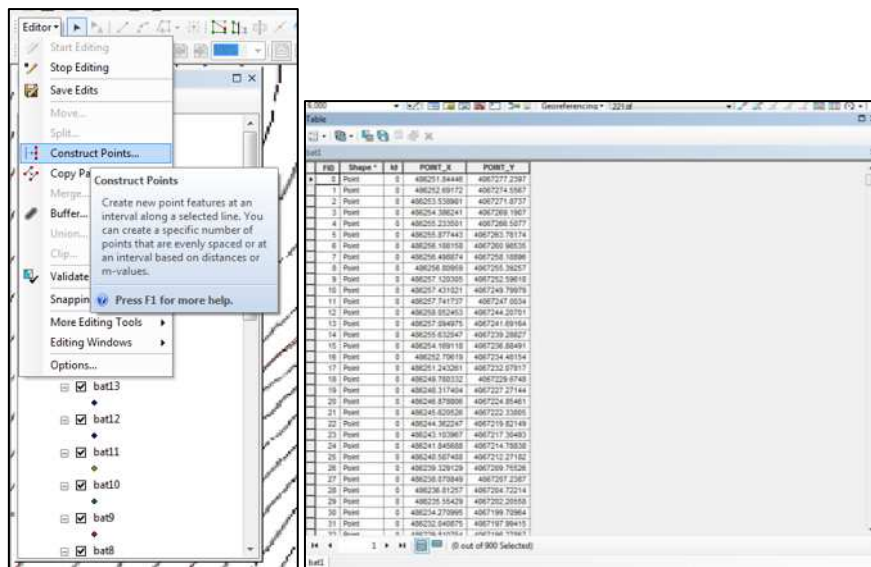
Cellule	Géomorphologie	Erosion	Pente	Niveau de la mer	Hauteur des Vagues	Marnage	CVI
1	5	1	5	1	1	5	4.56
2	5	3	5	1	2	5	7.91
3	5	3	5	1	5	5	7.91
4	5	5	5	1	3	5	14.43
5	5	5	5	1	2	5	14.43
6	5	5	5	1	2	5	14.43
7	5	5	5	1	2	5	14.43
8	5	5	5	1	3	5	17.68
9	5	5	5	1	3	5	17.68
10	5	5	5	1	5	5	22.82
11	5	5	5	1	5	5	22.82
12	5	1	5	1	3	5	10.21
13	5	1	5	1	5	5	10.21
14	5	1	5	1	5	5	10.21
15	5	1	5	1	5	5	10.21
16	5	1	5	1	5	5	10.21
17	5	5	5	1	5	5	22.82
18	5	5	5	1	3	5	22.82
19	5	5	5	1	5	5	22.82
20	5	3	5	1	5	5	17.68
21	5	1	5	1	5	5	10.21
22	5	1	5	1	5	5	10.21
23	5	1	5	1	5	5	10.21
24	5	1	5	1	5	5	10.21
25	5	1	5	1	3	5	10.21
26	5	1	5	1	5	5	10.21
27	5	1	5	1	3	5	10.21
28	5	1	5	1	5	5	10.21
29	5	1	5	1	5	5	10.21
30	5	1	5	1	5	5	10.21
31	5	1	5	1	3	5	10.21
32	5	1	5	1	2	5	10.21
33	5	1	5	1	5	5	10.21
34	5	1	5	1	5	5	10.21
35	5	1	5	1	5	5	10.21
36	5	3	5	1	1	5	17.68
37	5	3	5	1	5	5	17.68
38	5	3	5	1	1	5	17.68
39	5	5	5	1	3	5	22.82
40	5	3	5	1	2	5	17.68
41	5	3	5	1	5	5	17.68
42	5	3	5	1	5	5	17.68
43	5	5	5	1	3	5	22.82

44	5	5	5	1	4	5	22.82
45	5	5	5	1	5	5	22.82
46	5	1	5	1	2	5	22.82

Annexe 5 : Tableau de définition des variables pour le cvi socio-économiques

Cellule	Agglomeration	Réseau routier	Chemin de fer	Occupation du sol	Heritage culturel	Statut de protection	CVI
1	3	3	5	1	5	5	13.69
2	3	3	5	1	5	5	13.69
3	3	3	5	1	5	5	13.69
4	3	3	5	1	5	5	13.69
5	3	3	5	1	5	5	13.69
6	3	3	5	1	5	5	13.69
7	3	3	5	1	5	5	13.69
8	3	3	5	1	5	5	13.69
9	3	3	5	5	5	5	30.62
10	3	3	5	5	5	5	30.62
11	3	3	5	5	5	5	30.62
12	3	3	1	1	5	1	13.69
13	3	3	1	1	5	1	13.69
14	3	3	1	1	5	1	13.69
15	3	3	1	1	5	1	13.69
16	3	3	1	5	5	1	30.62
17	3	3	1	5	5	1	30.62
18	3	3	1	5	5	1	30.62
19	3	3	1	5	5	1	30.62
20	3	3	1	1	5	1	13.69
21	3	3	1	1	5	1	13.69
22	3	3	1	1	5	1	13.69
23	3	3	1	1	5	1	13.69
24	3	3	1	1	5	1	13.69
25	3	3	1	4	5	1	27.39
26	3	3	1	4	5	1	27.39
27	3	3	1	4	5	1	27.39
28	3	3	1	1	5	1	13.69
29	3	3	1	1	5	1	13.69
30	3	3	1	1	5	1	13.69
31	3	3	1	1	5	1	13.69
32	3	3	1	1	5	1	13.69
33	3	3	1	5	5	1	30.62
34	3	3	1	5	5	1	30.62
35	3	3	1	5	5	1	30.62
36	3	3	1	5	5	1	30.62
37	3	3	1	5	5	1	30.62
38	3	3	1	5	5	1	30.62
39	3	3	1	5	5	1	30.62
40	3	3	1	5	5	1	30.62
41	3	3	1	3	5	1	23.72
42	3	3	1	3	5	1	23.72
43	3	3	1	3	5	1	23.72
44	3	3	1	3	5	1	23.72
45	3	3	1	3	5	1	23.72
46	3	3	1	3	5	1	23.72

Annexe 6 : Etapes de générations de la bathymétrie



Annexe 7 : Loi n° 2006-06 du 21 Moharram 1427 correspondant au 20 février 2006 portant loi d'orientation de la ville, p. 14. (Chapitre II ; Art 3 et 4)

CHAPITRE II : DES DEFINITIONS ET DE LA CLASSIFICATION

Art. 3. - Il est entendu au sens de la présente loi par :

Ville : toute agglomération urbaine ayant une taille de population et disposant de fonctions administratives, économiques, sociales et culturelles.

Économie urbaine : toutes activités de production de biens et de services localisées dans le milieu urbain ou dans son aire d'influence.

Contrat de développement de la ville : une convention souscrite par une ou plusieurs collectivités territoriales, et un ou plusieurs acteurs ou partenaires économiques, dans le cadre des actions et programmes réalisés au titre de la politique de la ville.

Art. 4. - Outre la métropole, l'aire métropolitaine, la grande ville, la ville nouvelle et la zone urbaine sensible, définies par la législation en vigueur, il est entendu au sens de la présente loi par :

Une ville moyenne : l'agglomération urbaine dont la population est comprise entre cinquante mille (50.000) et cent mille (100.000) habitants.

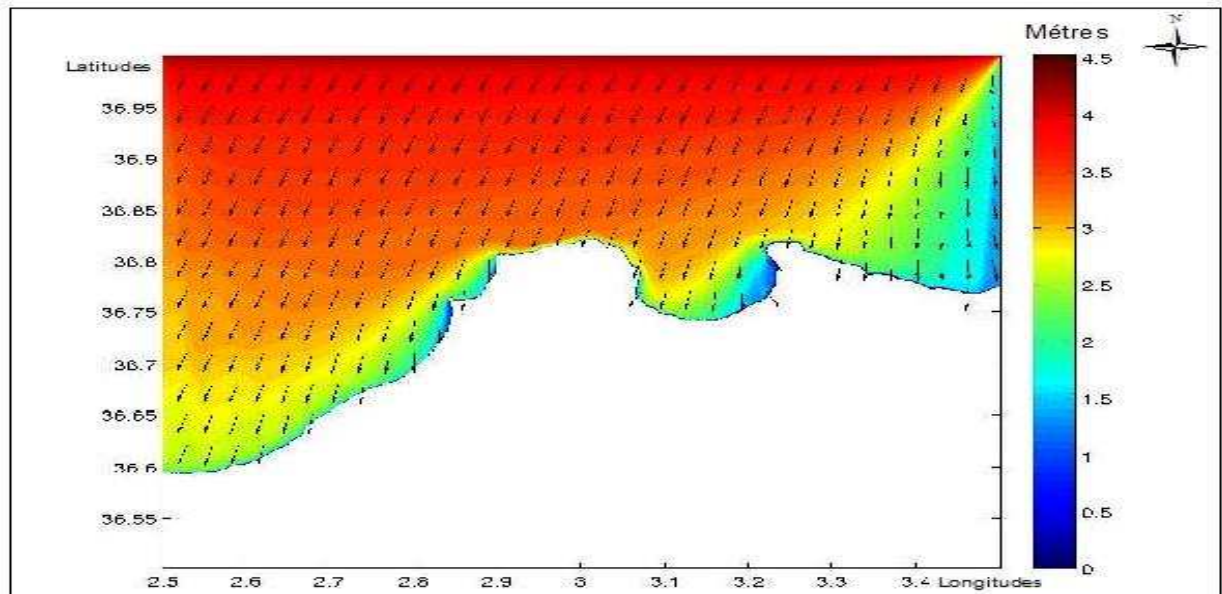
Une petite ville : l'agglomération urbaine dont la population est comprise entre vingt mille (20.000) et cinquante mille (50.000) habitants.

Une agglomération urbaine : l'espace urbain qui abrite une population agglomérée d'au moins cinq mille (5.000) habitants.

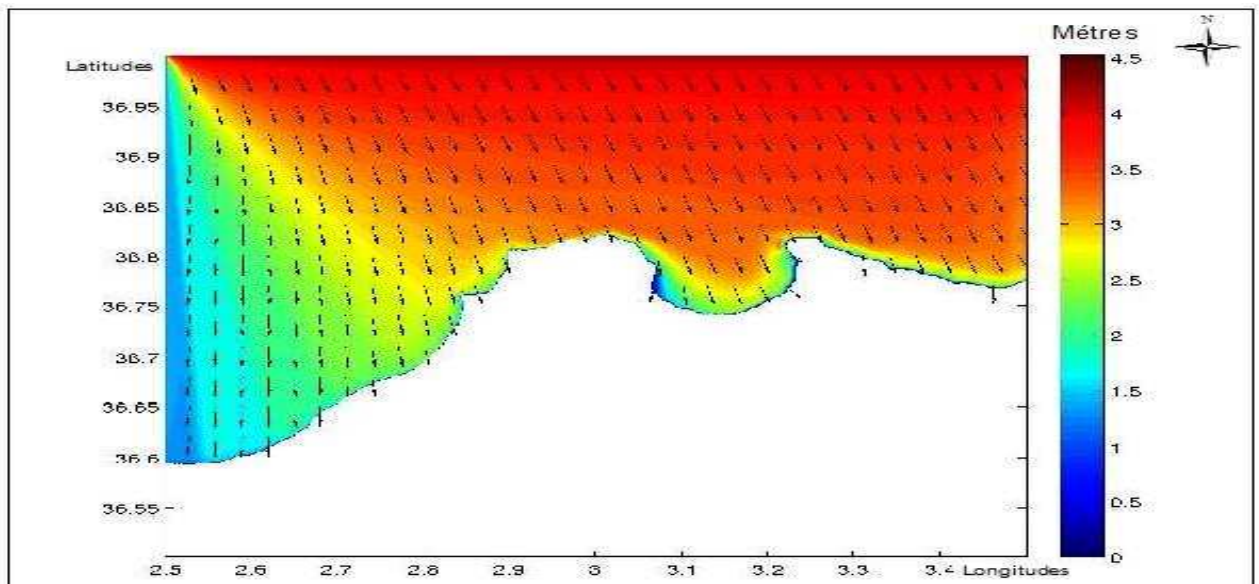
Un quartier : partie de la ville délimitée sur la base d'une combinaison de données relatives à l'état du tissu urbain, de sa structure, de sa composition et du nombre d'habitants y résidant.

Les modalités d'application du présent article sont, en tant que de besoin, précisées par voie réglementaire.

Annexe 8 : Cartes de réfraction de la houle par SWAN

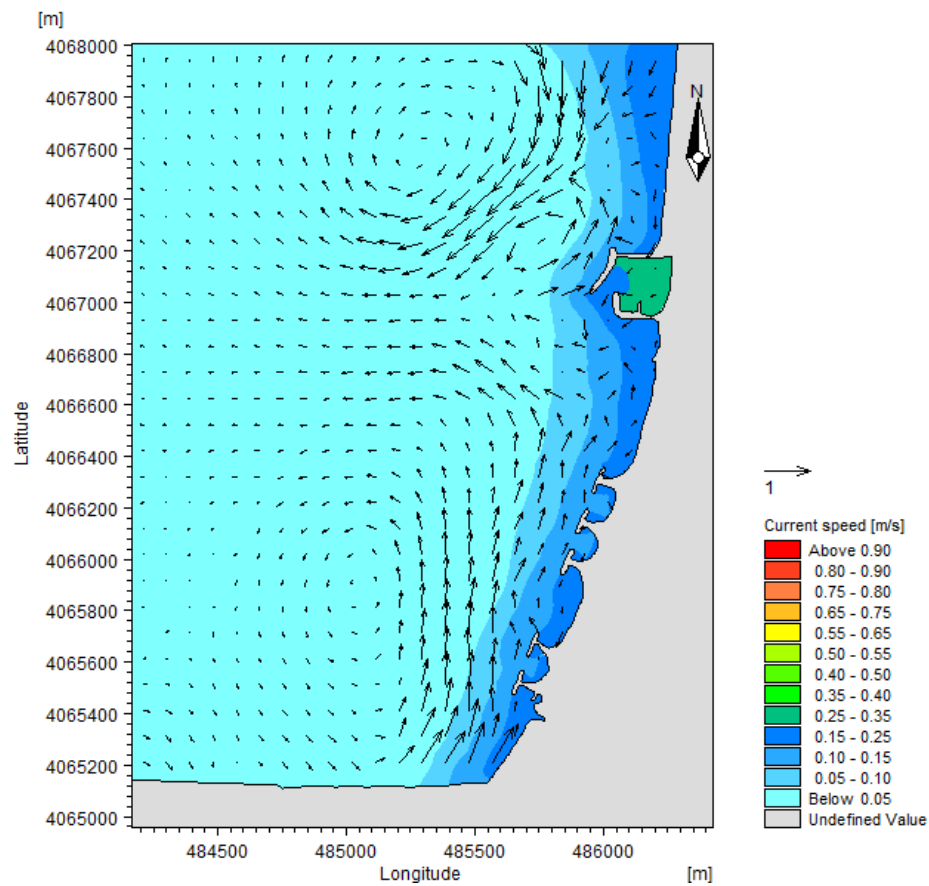


Carte de la réfraction de la houle direction 45°N pour la côte Algéroise

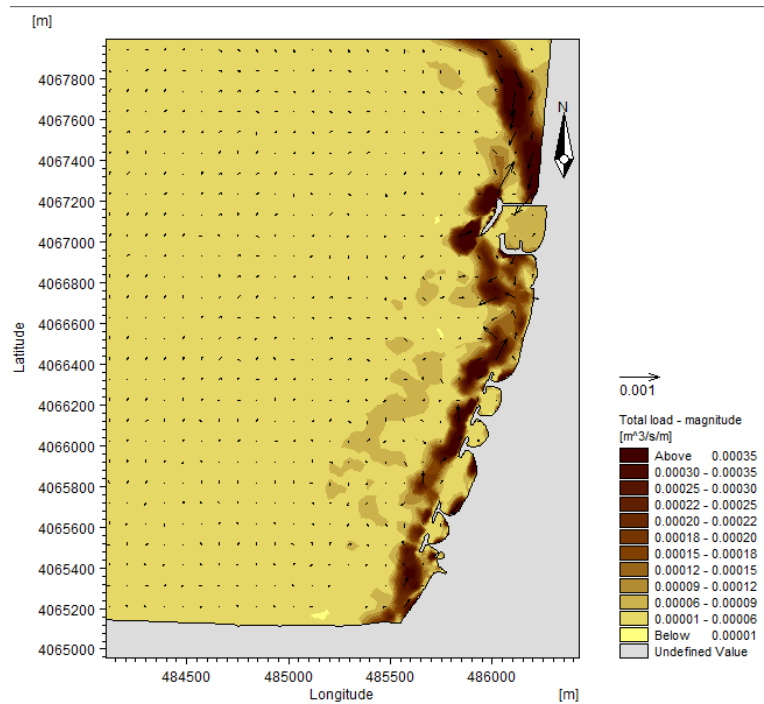


Carte de la réfraction de la houle direction 315°N pour la côte Algéroise

Annexe 9 : Cartes obtenues par la simulation avec le Mike 21



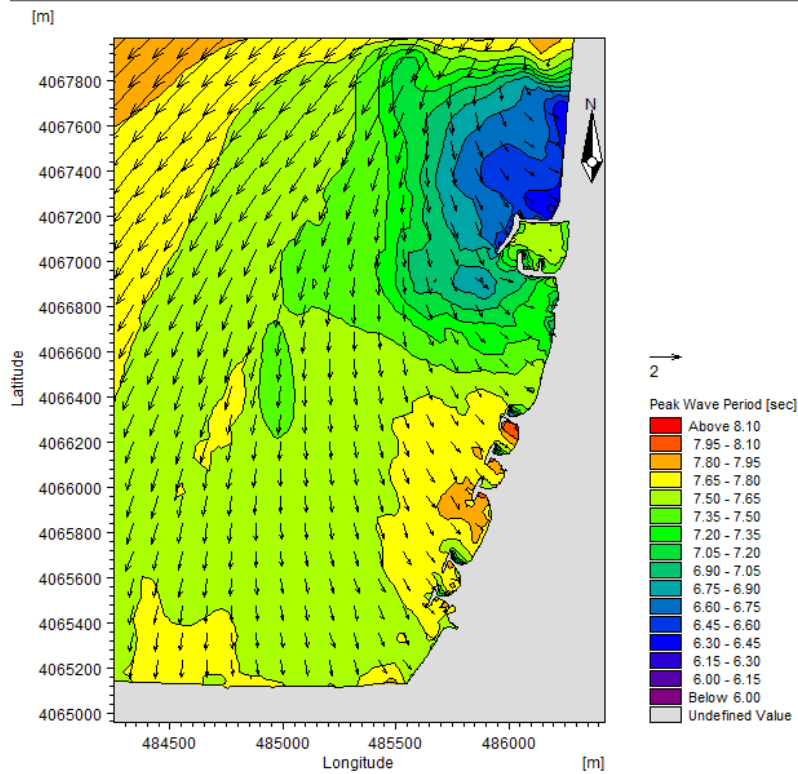
Champs des courants induits par les houles de secteur 270°O



Sens du transport sédimentaire induit par les houles de provenances Ouest

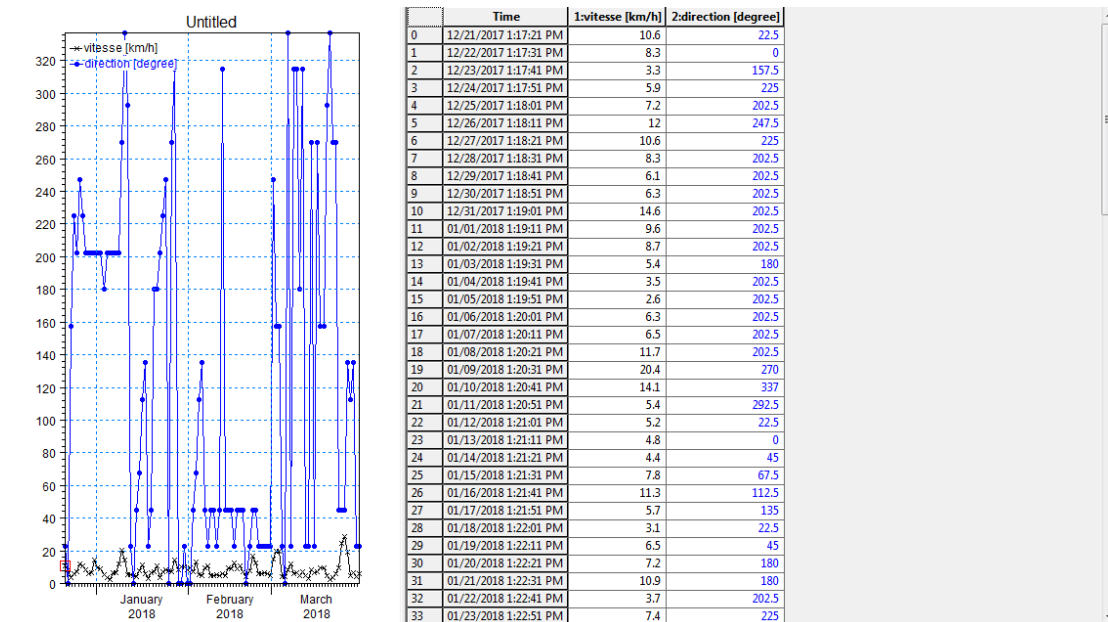
	Time	1:Point 1: Sign. Wave Height [meter]	2:Point 1: Max. Wave Height [meter]	3:Point 1: Peak Wa
0	01/01/2017 00:00:00	0.274278	0.566448	
1	01/01/2017 12:00:30 AM	0.273608	0.565006	
2	01/01/2017 12:01:00 AM	0.272943	0.563574	
3	01/01/2017 12:01:30 AM	0.272279	0.562147	
4	01/01/2017 12:02:00 AM	0.271618	0.560726	
5	01/01/2017 12:02:30 AM	0.271	0.559384	
6	01/01/2017 12:03:00 AM	0.272348	0.561756	
7	01/01/2017 12:03:30 AM	0.286056	0.587511	
8	01/01/2017 12:04:00 AM	0.327317	0.665451	
9	01/01/2017 12:04:30 AM	0.397286	0.797926	
10	01/01/2017 12:05:00 AM	0.473435	0.942703	
11	01/01/2017 12:05:30 AM	0.534805	1.06002	
12	01/01/2017 12:06:00 AM	0.577481	1.1421	
13	01/01/2017 12:06:30 AM	0.606765	1.19879	
14	01/01/2017 12:07:00 AM	0.627976	1.24012	
15	01/01/2017 12:07:30 AM	0.644098	1.2717	
16	01/01/2017 12:08:00 AM	0.65652	1.29612	
17	01/01/2017 12:08:30 AM	0.665987	1.31474	
18	01/01/2017 12:09:00 AM	0.67303	1.32854	
19	01/01/2017 12:09:30 AM	0.678098	1.33839	
20	01/01/2017 12:10:00 AM	0.681605	1.34509	
21	01/01/2017 12:10:30 AM	0.683952	1.34945	
22	01/01/2017 12:11:00 AM	0.685485	1.35216	
23	01/01/2017 12:11:30 AM	0.686465	1.35374	
24	01/01/2017 12:12:00 AM	0.687066	1.35454	
25	01/01/2017 12:12:30 AM	0.687399	1.35479	
26	01/01/2017 12:13:00 AM	0.687545	1.35466	
27	01/01/2017 12:13:30 AM	0.687576	1.35432	
28	01/01/2017 12:14:00 AM	0.687575	1.35395	
29	01/01/2017 12:14:30 AM	0.687617	1.35372	
30	01/01/2017 12:15:00 AM	0.687771	1.35377	
31	01/01/2017 12:15:30 AM	0.688088	1.35422	
32	01/01/2017 12:16:00 AM	0.688587	1.35509	

Les hauteurs significatives de provenances N45°



Période de pic de la vague direction nord est (45°)

Annexe 10: donné output de la génération d'une rose des vents



Grille de données (vent, direction et intensité)

Etude hydro-sédimentaire de la plage de palm Beach

Résumé

Les plages sableuses du littoral algérien constituent un exemple parfait des environnements côtiers où les échanges entre le continent, l'océan et l'atmosphère sont nombreux et dont l'équilibre sédimentaire est contrôlé par la combinaison de facteurs naturels et anthropiques. La présente étude porte sur la plage de Palm Beach.

Une modélisation numérique expose la démarche méthodologique privilégiée pour étudier la propagation afin de simuler l'évolution du trait de côte. Dans ce mémoire, nous précisons la dynamique sédimentaire au moyen d'une analyse diachronique des variations de la position du rivage, à l'aide des images satellitaires (2003, 2009, 2013 et 2017) Afin d'appréhender l'évolution morphologique de ce système sableux à différentes échelles de temps, l'analyse de la cinématique du trait de côte, met en évidence un découpage spatial des plages, en surface d'érosion et d'accrétion, et permet de visualiser l'évolution morphologique dans le temps. Nous présentons aussi dans ce travail une méthodologie pour la modélisation du transport sédimentaire de la partie sous-marine de cette plage, ainsi qu'une étude de sa vulnérabilité.

Mots clés : Transport sédimentaire, Vulnérabilité, Erosion, Palm-Beach, Mike21, SWAN, SIG.

Summary

The sandy beaches of the Algerian coastline are a perfect example of coastal environments where exchanges between the continent, the ocean and the atmosphere are numerous and whose sedimentary balance is controlled by the combination of natural and anthropogenic factors. This study is about Palm Beach. A numerical modeling exposes the methodological method privileged to study the propagation in order to simulate the evolution of the coastline. In this thesis, we specify the sedimentary dynamics by means of a diachronic analysis of the variations of the position of the shore, using the satellite images (2003, 2009, 2013 and 2017) In order to apprehend the morphological evolution of this Sandy system at different time scales, the analysis of the kinematics of the coastline, highlights a spatial division of the beaches, erosion and accretion surface, and allows to visualize the morphological evolution over time. We also present in this work a methodology for the modeling of the sedimentary transport of the submarine part of this beach, as well as a study of its vulnerability.

Keywords : Sedimentary transport, Vulnerability, Erosion, Palm-Beach, Mike21, SWAN, GIS.

ملخص

تعتبر الشواطئ الرملية في الساحل الجزائري مثالاً مثالياً للبيئات الساحلية حيث التبادلات بين القارة والمحيطات والغلاف الجوي عديدة والتي يتم التحكم في توازنها الرسوبي عن طريق الجمع بين العوامل الطبيعية والبشرية. هذه الدراسة هي عن عالم بيتش ويكشف النمذجة العددية الطريقة المنهجية المتميزة لدراسة الانتشار من أجل محاكاة تطور الخط الساحلي. في هذه الرسالة ، نحدد الديناميات الرسوبية عن طريق تحليل رقمي للتغيرات في موقع الشاطئ ، باستخدام صور الأقمار الصناعية (من أجل فهم التطور المورفولوجي لهذا النظام الرمي في مقاييس زمنية مختلفة ، تحليل الكينماتيكا للخط الساحلي ، يسلط الضوء على تقسيم مكاني للشواطئ ، التآكل والسطح المتنامي ، ويسمح بتصوير التطور الصرفي بمرور الوقت. كما نقدم في هذا العمل منهجية لنمذجة النقل الرسوبي للجزء البحري من هذا الشاطئ ، وكذلك دراسة مدى تأثيره