

الجمهورية الديمقراطية الشعبية الجزائرية
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 و تهيئة الساحل
Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement
du Littoral



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

Option : AMENAGEMENT DU LITTORAL

Thème :
**CONTRIBUTION A LA CONNAISSANCE DE LA MORPHOLOGIE ET DE LA
DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE DU LITTORAL EST DE L'ALGERIE (CAS DE LA
PLAGE SIDI SALEM –ANNABA-)**

Présenté par :

-Madi Mohamed Amine

-Meciaf Mohamed Chérif

Soutenu le 07/10/2017 devant le jury composé de :

Mr. OTMANI H.	Maître-assistant	ENSSMAL	Président
Mme. MOKHBI-SOUKANE D.	Maître de conférences B	ENSSMAL	Promotrice
Mr. MEZOUAR K.	Maître de conférences A	ENSSMAL	Examineur
Mme. MEHDID S.	Maître-Assistante A	ENSSMAL	Examinatrice

Année universitaire : 2016/2017

Remerciements

Un mémoire nécessite plusieurs mois de travail. Pendant ces mois on a rencontré plusieurs obstacles et difficultés et c'est grâce à **ALLAH** qu'on a réussi à finir ce modeste travail car c'est lui qui nous a donné le courage et la force durant tout notre cursus universitaire.

Nous tenons à remercier particulièrement notre promotrice **Mme. MOKHBI-SOUKANE**, qui nous a encadrés, encouragés, orientés et soutenus durant notre travail.

Nous adressons nos sincères remerciements à **Mr. OTMANI. H** qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury, et pour tous les renseignements qu'il nous a fournis lors de la réalisation de ce travail.

Nous exprimons nos sincères remerciements à **Mme. MEHDID S** et **Mr. MEZOUAR K** d'avoir accepté d'examiner ce travail dont les critiques nous serviront sûrement.

Nous tenons à remercier les gens du **L.E.M** Alger et Annaba, ainsi que le chef de station de **P.O.N.M** Annaba, la bibliothèque de l'université Badji Moukhtar Annaba pour leur aide.

Nous remercions **MESSIAF SAMIR** de nous avoir procuré son embarcation, **LABED Nour Dine** et **MECIAF Mohamed Lamine** pour leur aide durant notre travail sur terrain.

Nous remercions aussi toutes les personnes qui ont contribué et participé de près ou de loin à nos recherches et à l'élaboration de ce modeste mémoire.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail : A mes très chers parents, les mots peuvent à peine exprimer ce que vous êtes pour moi mais surtout, ce que vous avez fait pour moi au cours de toutes ces années Merci d'avoir toujours été là pour me protéger, me guider et m'aimer. Puisse Dieu, le Très Haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne vous déçoive.

À ma famille pour leurs appuis, leurs encouragements permanents, et leur soutien moral, Merci d'être toujours là pour moi

A tous mes amis qui m'ont soutenu et aidé de près ou de loin dans la réalisation de ce travail, à mes amis de l'ENSSMAL, en particulier mes camarades de la promo aménagement du littoral.

Amine

Je dédie ce modeste travail à :

Mes chères parents, mes sœurs, mes frères : Mostapha, Lamine et le petit Mahamou.

*La famille **ZAIDI** et **TEMAM** pour leur soutien et amour durant mon parcours universitaire.*

***Mes amis (mes frères)** pour leurs appuis, encouragements et leur soutien moral.*

*Sans oublier de remercier notre spéciale **promo Aménagement 2016/2017** la meilleure promo du monde*

Merci du fond du cœur.

Chrif

TABLE DES MATIERES

Liste des figures	VI
Liste des tableaux	VIII
Nomenclature	IX
Introduction:	11
I. Généralités	14
I.1 Les milieux littoraux sableux :	14
I.1.1 Morphodynamique côtière :	14
I.1.2 Notion d'équilibre morphodynamique :	14
I.1.3 Evolution morphodynamique :	16
I.1.4 Relation spatio-temporelle en morphodynamique côtière	16
I.2 Morphologie littorale :	17
I.2.1 Morphologie des plages :	17
I.2.2 Hydrodynamique des plages :	18
I.2.3 Les caractéristiques de l'agitation :	19
I.2.4 Les courants générés par les vagues :	20
I.2.5 Phénomène de l'érosion du littoral :	21
II Présentation de la zone d'étude	24
II.1 Situation géographique du site d'étude :	24
II.1.1 Oued Seybouse:	25
II.1.2 Oued Boukhmira :	25
II.2 Données hydrologiques :	26
II.3 Cadre géologique :	27
II.3.1 Le massif de l'Edough :	27
II.3.2 Le massif de Bouteldja :	29
II.4 Données météorologiques:	30
II.4.1 Pluviométrie :	30
II.4.2 Les températures :	30
II.4.3 Les vents :	31
II.4.4 Données de l'US Naval Weather Service Command (S.S.M.O) :	32
II.5 Données océanographiques :	32
II.5.1 La Houle :	32
II.5.2 Les Courants :	33
III Etude hydrodynamique :	35
III.1 Matériel utilisé	35
III.1.1 Description du logiciel de calcul Mike Zero	35
III.1.2 Description du logiciel de calcul MIKE 21 :	35
III.2 Création de la Bathymétrie de la zone d'étude :	38
III.2.1 Méthodologie de travail	38
III.2.2 Résultats	40
III.3 Simulation des courants et de la houle	40
III.3.1 Choix des modèles couplés :	40

Table des matières

III.3.2	Méthodologie de travail	41
III.3.3	Modèle SW :	43
III.3.4	Modèle HD :	46
IV	Etude sedimentologique	51
IV.1	Méthodologie de travail	51
IV.2	Prélèvements sur le terrain :	52
IV.2.1	Les stations de haut de plage :	52
IV.2.2	Les stations immergées :	53
IV.3	Traitement des échantillons (analyse granulométrique) :	54
IV.3.1	Principe du tamisage à sec :	54
IV.3.2	Les avantages :	55
IV.3.3	Les inconvénients :	55
IV.4	Les paramètres granulométriques :	55
IV.4.1	Les paramètres de position :	55
IV.5	Résultats et discussion:	56
IV.5.1	L'analyse de la fraction grossière :	56
IV.5.2	L'analyse de la fraction fine :	57
IV.5.3	Modélisation du transport sédimentaire :	57
V	Evolution du trait de côte	60
V.1	Méthodologie de travail	60
V.2	Résultats et discussion	60
V.2.1	Calcul des indices :	60
V.2.2	Analyse du bilan sédimentaire :	65
	Conclusion	68

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Composants d'un système morphodynamique côtier (STEPANIAN, 2002).	15
Figure 2 : Répartition spatio-temporelle des facteurs climatiques, hydrodynamiques, sédimentologiques et anthropiques impliqués dans la morphodynamique des littoraux	17
Figure 3: Les différentes parties de la plage sableuse (d'après Wright et al, 1982, et Levoy, 1994).....	18
Figure 4 : Processus hydrodynamique induit par les vagues (Van Rijn, 1998).....	19
Figure 5: Situation géographique de la baie d'Annaba (Google Earth 2017)	24
Figure 6 : Vues de l'oued Seybouse (le 26/03/2017)	25
Figure 7 : La carte géologique de la zone Nord-Est Algérien (BERNARD A, Atlas d'Algérie et la Tunisie, 1923).....	28
Figure 8 : Organigramme de l'étude bathymétrique	39
Figure 9 : Maillage de la baie d'Annaba	40
Figure 10 : Carte bathymétrique de la baie d'Annaba.....	40
Figure 11 : Méthodologie de travail pour la simulation des courants et de la houle (Madi, Meciaf, 2017)	42
Figure 12 : Interface du modèle couplé MIKE21/3 FM.....	43
Figure 13 : Champs des houles dans la baie d'Annaba ($H_s = 5.9m$, $T_p = 11.91s$, $Dir = 45^\circ N$) ..	44
Figure 14 : Champs des houles dans la baie d'Annaba ($H_s = 8.48m$, $T_p = 14s$, $Dir = 360^\circ N$) ...	45
Figure 15 : Champs des houles dans la baie d'Annaba ($H_s = 5.97m$, $T_p = 12s$, $Dir = 90^\circ N$)	46
Figure 16 : Champs de courants dans la baie d'Annaba (Direction de houle = $45^\circ N$)	47
Figure 17 : Champs de courants dans la baie d'Annaba (direction de houle : $90^\circ N$).....	48
Figure 18 : Champs de courants dans la baie d'Annaba (direction de houle : $360^\circ N$).....	49
Figure 19 : Méthodologie de travail de l'étude sédimentologique	52
Figure 20 : Répartition des stations de haut de plage.....	53
Figure 21 : Répartition des stations immergées	54
Figure 22 : Répartition de la fraction grossière (D50) dans la plage sous-marine Sidi Salem	56
Figure 23 : Répartition de la fraction fine dans la plage sous-marine de Sidi Salem (Annaba)	57
Figure 24 : Modélisation du transport sédimentaire dans la baie d'Annaba	58
Figure 25 : Méthodologie de travail sur l'évolution du trait de côte (2017)	60
Figure 26 : Illustration du Mouvement net des rivages (NSM) de la plage de Sidi Salem avant la construction des épis	61

Liste des figures

Figure 27 : Illustration du Mouvement net des rivages (NSM) de la plage de Sidi Salem après la construction des deux épis.....	62
Figure 28 : Représentation de la vitesse d'évolution du trait de côte de la plage de de Sidi Salem entre 2007 et 2012.	63
Figure 29 Représentation de la vitesse d'évolution du trait de côte de la plage de Sidi Salem entre 2016 et 2017.	64
Figure 30 : Représentation du LRR selon chaque transect dans la plage de Sidi Salem entre 2002 et 2017	65
Figure 31 : Évolution de la surface perdue et gagnée entre 2002 et 2017	66
Figure 32 : Bilan sédimentaire de la plage de Sidi Salem entre 2002 et 2017. (Madi et Meciaf)	66

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2: Valeurs de la précipitation du mois de Mars (2011-2016) (ONM Annaba) :.....	30
Tableau 4 : Températures mensuelles moyennes mesurées à la station ONM Annaba (2011-2016) (O.N.M ANNABA) :.....	31
Tableau 6 : Moyennes mensuelles des degrés de forces des vents observés (Seltzer 1913-1938.) :	31
Tableau 7 : Fréquence d'apparition des vents au large (S.S.M.O) (L.E.M)......	32

NOMENCLATURE

A.F.N.O.R : Association Française de Normalisation

A.N.A.T : Agence Nationale pour l'Aménagement du Territoire

D.H.I: Danish Hydraulic Institute

D.S.A.S: Digital Shoreline Analysis System

E.P.R: End Point Rate

E.S.R.I: Environmental Systems Research Institute

F.M: Flexible Mesh

G.P.S: Global Positioning System

HD: Hydrodynamique

H₀: Hauteur de la houle au large

H_s: Hauteur significative

L.E.M : Laboratoire des Études Maritimes

L₀ : Longueur d'onde au large

L.R.R : Linear Regression Rate-of-change

N : Nord

NE : Nord-Est

N.S.M: Net Shoreline Movement

O.N.M: Office National de Météorologie

S.H.F.N : Service Hydrographique des Forces Navales

S.S.M.O: Summary of Synoptic Meteorological Observation

ST: Transport Sedimentary

SW: Spectral Wave

T_p: Temps de pique

T₀ : Période de la houle au large

X.Y.Z : Extension d'un fichier au format XYZ

Introduction

INTRODUCTION:

Les littoraux sont considérés comme les milieux naturels les plus sensibles et les plus dynamiques de la terre. Malgré leurs extensions relatives et la diversité de leurs paysages, ils sont constitués d'éléments pour la plupart hérités et donc vulnérables.

Ce sont les côtes basses qui souffrent le plus d'une telle situation d'autant plus que l'occupation humaine est devenue de plus en plus intense. Aujourd'hui, les littoraux sont un patrimoine dont l'existence est menacée par la nature (les risques naturels) et l'homme (les activités humaines). Les multiples risques qui menacent et menaceront dans l'avenir l'espace littoral sont le résultat de la mauvaise gestion de cet espace fragile, étroit et instable (**Bourgou M, 2010**).

Les interactions de ces risques avec le fond provoquent une grande variété de courants et de flux conditionnant des mouvements sédimentaires qui se manifestent à plusieurs échelles spatio-temporelles. La disponibilité et la dynamique de l'accumulation/érosion du sédiment est définie par ces interactions (**Amrouni, 2008**).

L'étude présentée ici, s'intéresse à la morphologie et la dynamique sédimentaire du littoral Est de l'Algérie (Cas de la plage Sidi Salem –Annaba-). Plage Sidi Salem se situe dans le Sud-Est de la wilaya d'Annaba (frontière Annaba-El Taref). La construction des ouvrages (deux épis) dans les deux oueds (oued Seybouse et oued Boukhmira) dans les extrémités de la plage en 2015 a été faite afin d'éviter les inondations dans l'arrière-pays. L'effet de ces ouvrages sur la stabilité de la plage fait l'objet de cette étude.

Quelques travaux ont été effectués sur cette zone (**Refes.W, 2011**), et une étude de suivi et de réalisation d'une plage d'échouage au niveau du L.E.M). Seulement aucune étude sédimentologique n'a été effectuée à ce jour sur cette zone.

Dans ce contexte, notre travail est le premier à s'intéresser à la sédimentologie et l'effet de l'installation des ouvrages des oueds cités plus hauts sur cette plage.

Le premier chapitre concerne les concepts et les définitions qui permettent de définir et comprendre le système sableux, le transport sédimentaire et l'hydrodynamisme, prenant en considération le phénomène de l'érosion.

Le deuxième chapitre est consacré à la présentation de la zone d'étude afin de la situer dans les différents contextes : géologique, géographique, climatologique, géomorphologique, hydrologique et hydrodynamique.

Le troisième chapitre porte sur l'étude hydrodynamique à savoir la simulation des comportements et des mouvements des houles et des courants ainsi que le choix des modèles du MIKE21 utilisés et l'interprétation des résultats obtenus.

Introduction

Le quatrième chapitre est réservé à l'étude granulométrique et le transit sédimentaire de la zone d'étude, en commençant par le prélèvement sur terrain jusqu'à l'analyse numérique et la cartographie des résultats avec les interprétations et les discussions.

Dans le cinquième chapitre, on étudie l'évolution du trait de côte, après avoir collecté les données et les mesures nécessaires sur terrain, un traitement par un outil numérique reconnu est primordial pour obtenir des résultats fiables.

Et enfin, on a voulu conclure notre travail par des orientations et quelques suggestions pour améliorer cette plage ou bien pour faire l'objet d'un futur projet dans la zone afin de bien valoriser les ressources existantes dans la baie d'Annaba.

CHAPITRE I :
Généralités

I. GENERALITES

I.1 Les milieux littoraux sableux :

I.1.1 Morphodynamique côtière :

Un système morphodynamique est constitué d'un objet géomorphologique qui réagit aux variations d'une composante dynamique par un ajustement morphologique. Cette réponse est une tentative de mise à l'équilibre de la morphologie par rapport aux nouvelles conditions de forçages.

Dans le cas des systèmes littoraux, la topographie des fonds côtiers est le résultat d'un gradient de transport sédimentaire (figure 1)

Une modification de forçages génère une modification de la dynamique des fluides, du transport sédimentaire et l'interaction de ces processus avec la morphologie initiale est à l'origine de la construction d'une nouvelle morphologie. Des phénomènes de rétroactions sur la dynamique des fluides et le transport sédimentaire peuvent être soit positifs (autocontrôle, *self organization*), ou négatifs (autorégulation, *self regulation*) [Cowell & Thom, 1994]. Un processus d'autocontrôle renforce la tendance d'évolution du système en augmentant le déséquilibre, alors qu'un processus d'autorégulation inverse la tendance et amène le système vers un équilibre.

I.1.2 Notion d'équilibre morphodynamique :

L'équilibre morphodynamique est défini comme un état dans lequel le système reste inchangé au cours du temps (Kraus, 2001). Ce concept est largement utilisé en morphodynamique côtière notamment avec un objectif de modélisation quantitative. En raison du caractère stochastique des forçages hydrométéorologique, les états d'équilibre décrits sont des équilibres dynamiques instables : le corps géomorphologique réagit en permanence.

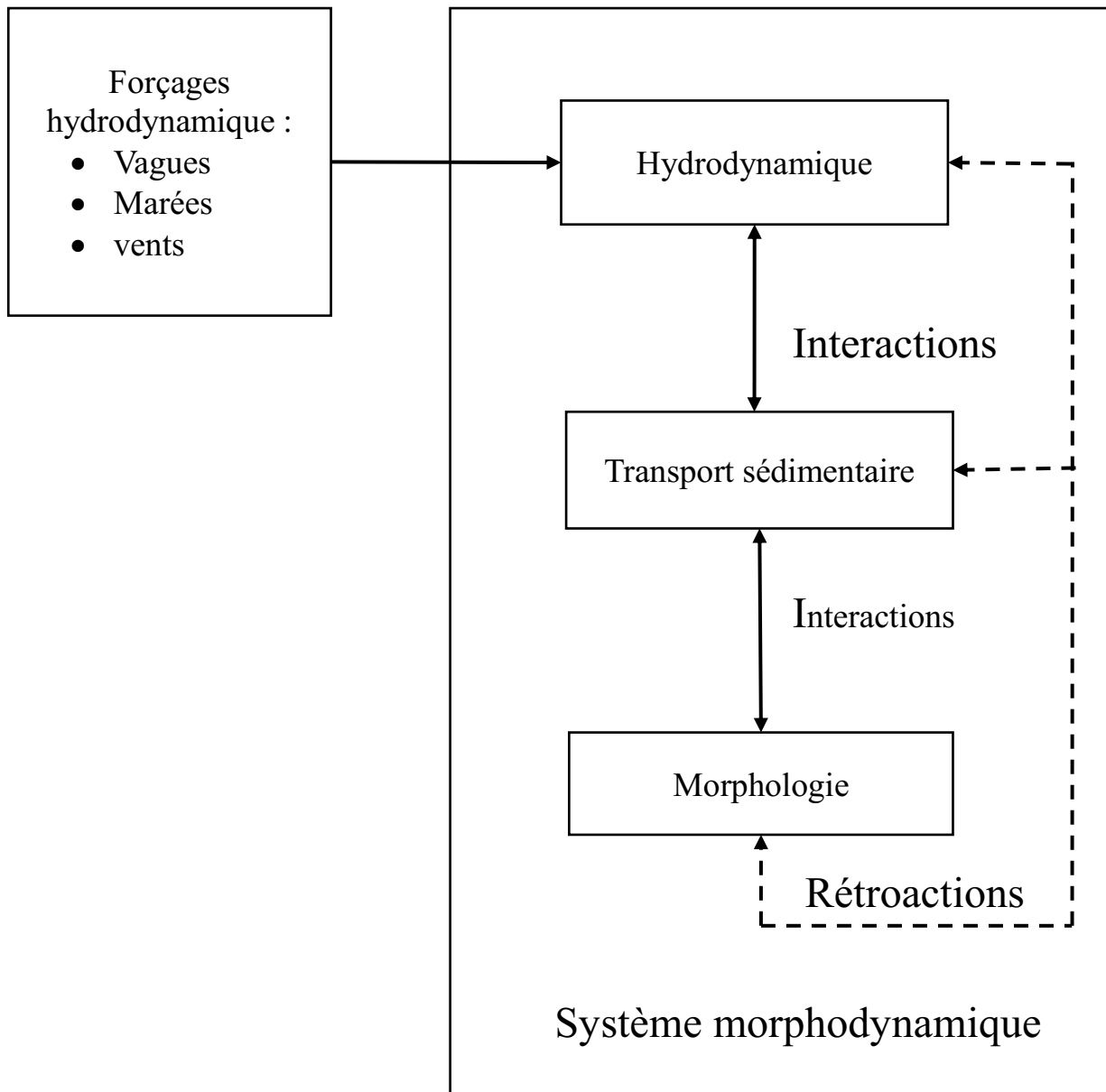


Figure 1 : Composants d'un système morphodynamique côtier (STEPANIAN, 2002).

Le temps entre la modification de l'hydrodynamique et la construction morphologique est divisé en un temps de réaction (temps entre le changement hydrodynamique et le début de la modification morphologique) et en un temps d'ajustement (temps de mise à l'équilibre de la morphologie). **Kroon (1994)** précise d'une part, que le temps de réaction est négligeable dans les systèmes côtiers, et d'autre part que le temps d'ajustement est une mesure de l'inertie morphologique du système, fonction de l'hydrodynamique et du volume sédimentaire concerné par la réponse morphologique.

I.1.3 Evolution morphodynamique :

L'évolution morphodynamique d'un système côtier est classiquement décrite comme une évolution makroviennienne (évolution graduelle par états successifs interdépendants. Makrov: Mathématicien russe (1856-1922)), définie comme une succession d'états morphologique (**Wright & Thom, 1977**). Ce concept est la base théorique de développement de modèles d'évolution des plages. Dans ces modèles supportés par un paramétrage hydrodynamique, le système morphodynamique subit des variations graduelles et réversibles entre deux états extrêmes. Les états intermédiaires dépendant de l'état précédent, l'évolution morphodynamique d'un système doit donc être étudiée en prenant en compte l'état morphologique initial, la réponse à une variation des forçages étant non linéaire en fonction de celui-ci (notion héritage morphologique, *state dépendant*).

I.1.4 Relation spatio-temporelle en morphodynamique côtière

En fonction de l'échelle de temps à laquelle il est étudié, le comportement d'un système morphodynamique côtier (plage, embouchure, dune, estuaire) peut être très variable. A chaque échelle de temps il est associé une représentativité spatiale se référant à l'amplitude volumique du changement morphologique mis en jeu. L'examen des relations spatio-temporelles qui conditionnent le devenir d'un système côtier constitue une mesure de la stabilité du système aux variations de forçages (**Kroon, 1994**). Dans le cas d'un système côtier, (**De Vriend 1991**) suppose l'existence d'une relation linéaire entre l'amplitude des évolutions spatiales subies par le système et l'échelle temporelle de ces évolutions. Il découle de cette relation primaire une hiérarchisation spatio-temporelle des processus dynamiques qui contrôlent l'évolution de la zone côtière (Figure 2).

Enfin, rappelons que la relation spatio-temporelle selon laquelle un système morphodynamique côtier évolue, dépend de sa position géographique. Plus l'objet étudié est situé au large, plus l'évolution est contrôlée par des phénomènes à basse fréquence et relève donc de grandes échelles temporelles (**Wright et al. 1985**). Ainsi la zone intertidale, zone extrêmement dynamique, est en ajustement rapide avec les conditions hydrodynamiques, et la réponse morphodynamique s'étale sur de courtes échelles de temps.

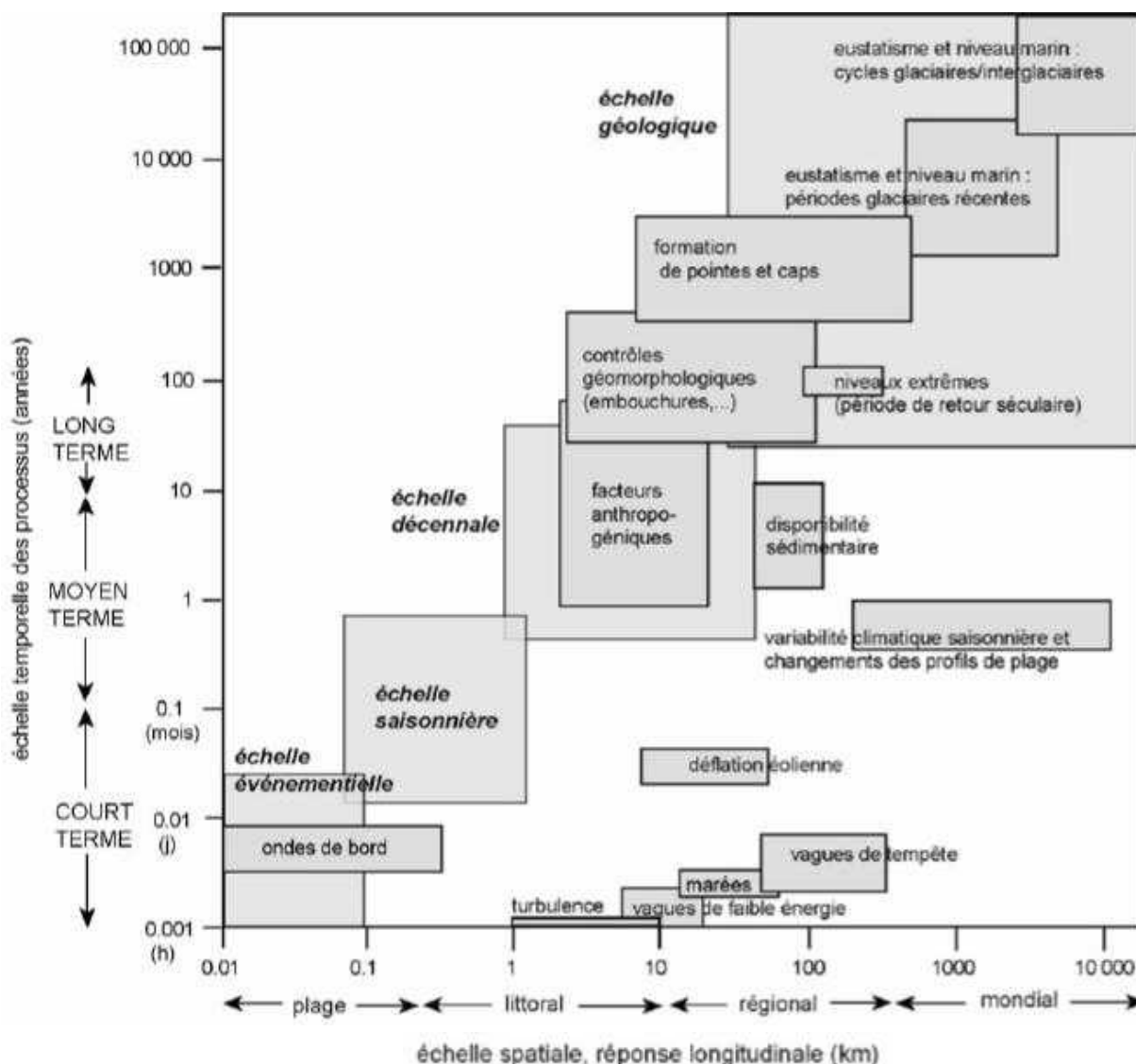


Figure 2 : Répartition spatio-temporelle des facteurs climatiques, hydrodynamiques, sédimentologiques et anthropiques impliqués dans la morphodynamique des littoraux (Fenster et al. 1993).

I.2 Morphologie littorale :

I.2.1 Morphologie des plages :

Le profil de plage présente généralement une forme concave depuis la dune vers le large. Il peut présenter des morphologies comme des barres sableuses sur l'ensemble du profil, ainsi que des croissants de plage, formes plus rares et éphémères au niveau de la berme en haut de plage. Dans les environnements tidaux, la zone littorale est compartimentée en plusieurs zones morphologiquement distinctes en fonction des niveaux de marée (figure 3):

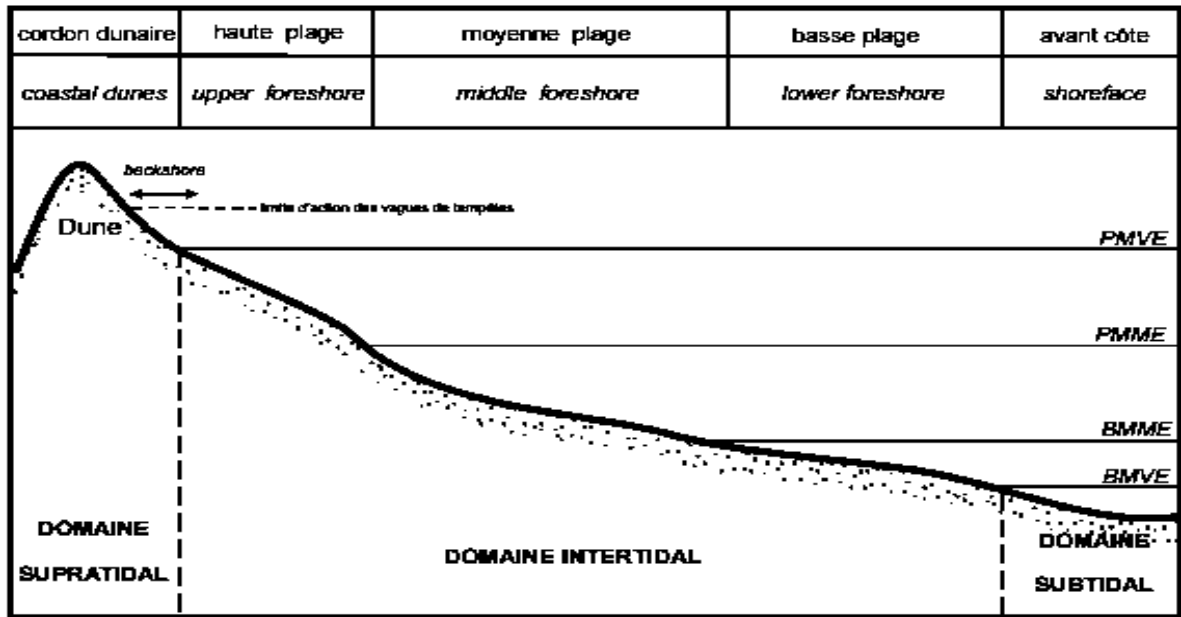


Figure 3: Les différentes parties de la plage sableuse (d'après Wright et al, 1982, et Levoy, 1994).

- Le domaine subtidal (subtidal zone) est le domaine situé en-dessous du niveau des basses mers. Il est perpétuellement immergé et soumis à l'action des vagues, des courants de marée et des courants généraux. Il est constitué de la plate-forme interne (offshore) et de l'avant-côte (shoreface) proche de la zone intertidale.
- Le domaine intertidale (intertidal zone, foreshore) est situé dans la zone de battement des marées. La hauteur de la zone est directement fonction de l'amplitude du marnage et de la pente de la plage. Cette zone est très dynamique en raison du balayage de l'estran par la marée. Dans les environnements macrotidaux, la plage intertidale est également divisée en trois unités morphosédimentaire définies par les niveaux marégraphiques. [Wright et al., 1982, et Levoy , 1994] :
- Le domaine supratidal est le domaine supérieur du profil de plage. C'est sur cette zone que se développe le cordon dunaire sous l'effet des apports éoliens en provenance de la zone intertidale et de leur interaction avec la végétation (Hesp, 1999). C'est une zone qui s'étend de la limite du niveau de pleine mer de vive-eau à l'arrière de la dune. Il est soumis épisodiquement à l'action de vagues de tempêtes qui érodent le flanc marin de la dune (zone de backshore).

I.2.2 Hydrodynamique des plages :

La zone côtière est une zone très complexe où se produisent de nombreuses interactions entre les agents dynamiques responsables des circulations hydrodynamiques. La figure 4 présente une vision schématique de la nature et de la répartition des divers processus hydrodynamiques dans la zone côtière.

I.2.3 Les caractéristiques de l'agitation :

Les ondulations du plan d'eau se propageant du large vers la côte peuvent être subdivisées en deux catégories, les vagues incidentes et les ondes infragravitaires.

a. Les vagues incidentes (T < 20s) :

Ceux sont les ondulations de la surface libre les plus visibles et les plus énergétiques. C'est le moteur principal des transports sableux et des évolutions morphologiques des fonds. La propagation des vagues du large vers la côte s'accompagne de transformations de leurs caractéristiques en fonction de la topographie des fonds côtiers. Les caractéristiques de la houle vont évoluer depuis les conditions au large (H_0, L_0, T_0) jusqu'à la plage près déferlement suivant un continuum schématisé sur la figure 4

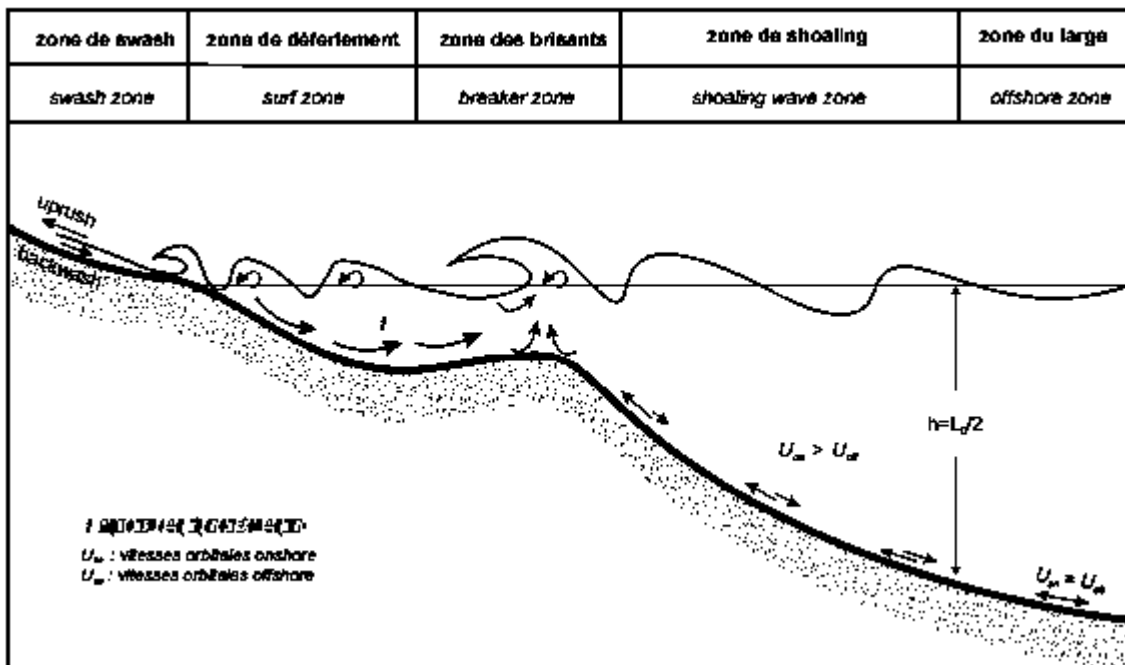


Figure 4 : Processus hydrodynamique induit par les vagues (Van Rijn, 1998).

Ces oscillations du plan d'eau couvrent une bande de fréquence d'environ 0,05 Hz à 0,005 Hz, les limites étant variables suivant les auteurs. Ce phénomène a été mis en évidence par l'analyse spectrale d'enregistrement de la houle. L'origine de ces ondes longues est due à l'interaction entre les vagues incidentes, la topologie des fonds, les courants générés par les vagues et les différents courants côtiers (**Van Rijn, 1998**).

b. Les ondes infragravitaires

Les oscillations infragravitaires sont étroitement liées aux groupements de vagues incidentes. Celles-ci sont organisées en groupe de petites vagues et de grosses vagues en raison de leur différence de célérité. Une onde «forcée » de basse fréquence (bound long wave, BLW) est associée aux groupes de vagues avec un creux dans les groupes de grosses vagues et une crête dans les groupes de vagues plus petites.

I.2.4 Les courants générés par les vagues :

Ces courants sont localisés dans la zone des brisants et dans la zone de déferlement. On distingue le courant de retour (*undertow*), les courants d'arrachement (*rip-currents*) et le courant d'obliquité parallèle à la cote.

Le courant de retour sur le fond est un courant dirigé vers le large dans la zone de déferlement. C'est un courant stable dont l'intensité est proportionnelle à la hauteur des vagues.

Les rip-currents (courants sagittaux, ou d'arrachement) sont des courants qui compensent l'afflux d'eau à la côte suivants des chenaux préférentiels Ils peuvent atteindre des vitesses très élevées et sont périodiquement répartis sur le littoral. La présence d'une onde de bord est considérée comme la cause la plus probable de leur Ils affectent toute la tranche d'eau (**Van Rijn, 1998**).

Le courant d'obliquité est un écoulement long shore généré par le déferlement des vagues obliques par rapport à la cote. C'est le responsable du transit littoral ou dérive littorale. Il est maximal dans la zone des brisants et la zone de déferlement et il décroît en amplitude vers le rivage (**Komar & Inman, 1970 ; Bayram et al, 2001**).

I.2.5 Phénomène de l'érosion du littoral :

a. Définition de l'érosion du littoral :

L'érosion côtière consiste en un arrachement des matériaux constituant les plages, dunes ou falaises, qu'il s'agisse des sédiments comme le sable ou la terre ou des roches. Ces matériaux sont ensuite transportés vers la mer où, généralement, ils se déposent sur le plateau continental.

Cet arrachement de matière a pour effet d'entraîner le recul du trait de côte, c'est-à-dire de la limite atteinte par la haute mer, lors d'une grande marée (coefficient 120), dans des conditions météorologiques normales.

Elle se manifeste lorsque la mer gagne du terrain sur la terre à cause des vents, des houles et des mouvements des marées dans un contexte de pénurie sédimentaire mais il est maintenant évident que son ampleur actuelle est influencée par notre mode de vie.

b. Les causes de l'érosion côtière :

L'érosion côtière résulte d'une combinaison de plusieurs facteurs à la fois d'origine naturelle et humaine, opérant à plusieurs échelles de temps et d'espace.

Les vents et tempêtes, les courants littoraux, les variations du niveau de la mer à plus ou moins long terme ainsi que les glissements de terrains, constituent les principales causes « naturelles » des phénomènes d'érosion.

Si des causes naturelles sont toujours évidentes, comme elles sont décrites précédemment, l'activité humaine influe de plus en plus sur le profil des plages. On dénombre ainsi plusieurs facteurs d'érosion directement liés à l'homme :

- L'urbanisation du littoral : la construction d'immeubles, de promenades, de routes... renvoie la houle et empêche le déferlement des vagues. Leur énergie n'est plus dissipée le long des plages et le phénomène érosif s'accroît.
- La construction des ports, qui empêchent le déplacement des sédiments le long de la côte.
- La domestication des cours d'eau : la construction de barrages réduit les apports solides des cours d'eau qui se jettent dans la mer.

- La sur-fréquentation de certaines plages, qui détériore les massifs dunaires.
- La dégradation des plantes marines, par la pollution, les chaluts, les mouillages sauvages... Or, ces plantes freinent l'érosion des côtes en stabilisant les fonds marins et en dissipant l'énergie de la houle.
- La mauvaise conception d'ouvrages de défense, qui en luttant localement sur un problème, le déplacent sur les plages voisines.

c. Conséquences de l'érosion :

Sur les bords de mer dépourvus d'ouvrages de défense ou de solutions de dépôt de sédiments (engraissement), les conséquences peuvent être critiques :

- Disparition de la plage.
- Erosion des falaises, provoquant éboulement et chutes de pierres
- Dégradation des habitations en front de mer (la route et les bâtiments).
- Altération des routes, des chemins...etc

CHAPITRE II :

Présentation de la zone d'étude

II PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

II.1 Situation géographique du site d'étude :

La baie de Annaba forme l'aile orientale de la côte algérienne, il est situé à environ 670 km d'Alger, elle est délimité par Ras El Hamra à l'ouest : ($36^{\circ}58'02''N - 7^{\circ}47'49''E$) et Ras Rosa à l'est ($36^{\circ}57'03''N - 8^{\circ}14'35''E$) (figure 5).



Figure 5: Situation géographique de la baie d'Annaba (Google Earth 2017)

La baie d'Annaba s'étend sur 2.337 km², le plateau continental du rivage à 100 mètres de profondeur représente une superficie de 1.048 km², le bord supérieur du talus continental de 100 à 500 mètres de profondeur s'étend sur 733 km² et la partie inférieure du talus continental de 500 à 1.000 mètres de profondeur représente 556 km².

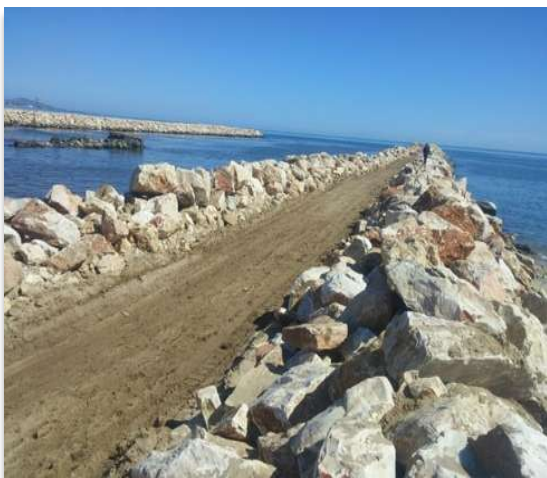
Le linéaire côtier s'étend sur 80 km, où il forme un demi-cercle de Ras El Hamra à l'oued Boukhmira ouvert aux houles nord-est et de l'oued Boukhmira à Ras Rosa, il est orienté sud sud-ouest à nord nord-est. (Refes W, 2011)

Le site d'étude est situé au Sud-Ouest de cette baie, plus exactement au sud du Port de Annaba, il s'étend sur 7 km environ et comprend les deux Oueds Seybouse et Boukhmira.

II.1.1 Oued Seybouse:

Oued Seybouse est situé à 3 km du Port d'Annaba, plus précisément à l'Est du débouché canalisé de l'Oued Boujimah à proximité du complexe Asmidal.

Cet oued est un des plus importants oueds de la côte algérienne avec une longueur de 255 km drainant un bassin versant de 5.900 km² avec débit liquide moyen de 13,4 m³/s. Cet oued constitue l'un des collecteurs de tous les polluants issus des activités humaines de l'agglomération d'Annaba.



a) *Vue vers la mer*



b) *Vue vers l'arrière-pays*

Figure 6 : Vues de l'oued Seybouse (le 26/03/2017)

II.1.2 Oued Boukhmira :

Oued Boukhmira, qui s'étend sur une longueur de 2 km et il est l'aboutissement de l'oued Bounamoussa qui le prolonge sur 15 km à travers une vaste dépression de marécage et de terres basses de 15.000 hectares.

La ville d'Annaba produit une pollution hydrique d'origine domestique et industrielle affectant directement le milieu marin. L'ANAT (Agence National pour l'Aménagement du Territoire) a recensé 26 points de rejets domestiques et industriels entre Ras El Hamra et l'oued Seybouse, qui se déversent directement dans la baie d'Annaba sans traitement préalable dans une station d'épuration.

II.2 Données hydrologiques :

Les principaux oueds qui débouchent dans la baie d'Annaba sont l'Oued Mafragh, l'Oued Seybouse et Boukhmira.

L'Oued Seybouse est alimenté principalement par l'oued Bouhamdane, l'oued Cherf et l'oued Mellah.

L'Oued Seybouse a été dévié de son cours normal d'environ 2.5 Km au Sud-Est du Port de Annaba. Entre le port et l'actuelle embouchure de l'oued Seybouse débouche l'oued Boudjimah, de moindre importance par rapport au précédent et vient déverser ses eaux dans la baie.

L'oued Seybouse situé à la limite orientale du site d'étude a de par son important bassin versant (5488Km²) et son débit solide de l'ordre de 1.300.00 tonnes/an, un impact sur le régime sédimentaire du site d'étude et probablement sur le régime sédimentaire de toute la baie.

En comparaison avec l'Oued Seybouse, l'Oued Boudjimah n'a pas une grande importance du point de vue apport en mer. Cela est dû au fait que le bassin versant de cet oued n'est pas très important et ne donne donc pas lieu à des débits importants. Toutes fois, l'état actuel de cet oued fait que ce dernier participe à l'inondation des zones voisines en raison de la capacité d'écoulement limitée en aval de l'oued due à la présence d'une barre sableuse entravant la circulation des eaux.

L'apport moyen annuel de l'oued Seybouse est estimé à 400 Hm³, compte tenu des volumes régularisés par les deux barrages édifiés à l'amont à savoir :

- Barrage de Hammam DEBAGH (ex-Hammam Maskhoutine) sur l'oued BOUHAMDANE, d'une capacité de 220 Hm³ et régularise un volume de 55 Hm³/an. Il est mis en service en 1987.
- Barrage de FOUM EL-KHANGA sur l'oued Cherf, d'une capacité de 157 Hm³ et régularise un volume de 30 Hm³/an. Il est mis en service en 1995. (**Agence Nationale des Barrage**).

Le seul projet d'aménagement prévu à l'avenir par les services de l'hydraulique concerne un barrage de prise d'eau au niveau de site de CHIHANI.

Le régime hydraulique de l'oued Seybouse et notamment de ses principaux affluents fait l'objet de mesures régulières (apports, débit et transport solide) par les services spécialisées de l'Agence National des Ressources Hydrauliques (ANRH) au niveau des stations hydrométriques.

II.3 Cadre géologique :

Le cadre géologique de la zone d'étude peut être subdivisé en deux ensembles bien définis (figure 7)

- Le massif de l'Edough au Nord-Ouest
- Le massif de Bouteldja dans toute la partie Est et Sud-Est.

II.3.1 Le massif de l'Edough :

Le massif de l'Edough est un élément du socle de la zone interne des Maghrébines située immédiatement à l'ouest d'Annaba. Il culmine à 1008 mètres d'altitude.

Ce massif est caractérisé par la présence de roches métamorphiques particulièrement bien développées parmi lesquelles il est possible de distinguer des séries des gneiss et des micaschistes.

Sur les plages situées au Nord d'Annaba, on trouve des sables à forte concentration en minéraux grenadières et titanifères qui proviennent de la désagrégation des gneiss et micaschistes de la bordure côtière.

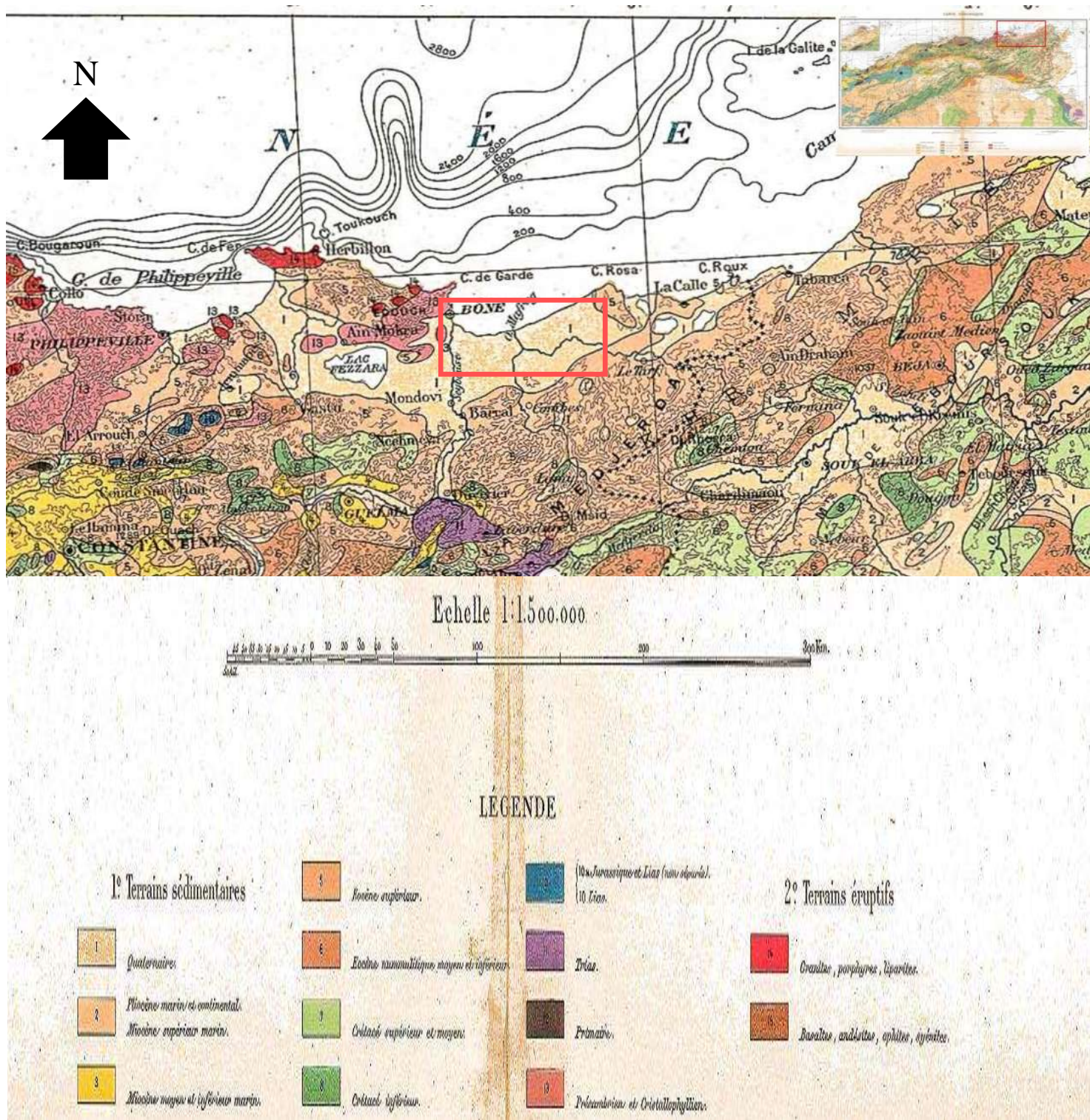


Figure 7 : La carte géologique de la zone Nord-Est Algérien (BERNARD A, Atlas d'Algérie et la Tunisie, 1923)

II.3.2 Le massif de Bouteldja :

Le massif de Bouteldja occupe tout le littoral depuis Annaba jusqu'au Cap Rosa, dans la partie Ouest de la baie. Il présente un cordon dunaire bien développé dont la prolongation vers l'Est donne naissance au système dunaire de Bouteldja (**A.C. Toubal ; 1983**).

Ce dernier s'étend considérablement à l'intérieur des terres, jusqu'aux environs de Ain-Assel.

Les régions méridionales du système dunaire de Bouteldja constituent la plaine alluviale d'Annaba. Celle-ci est traversée par les oueds Seybouse, Bounamoussa et El-Kebir.

II.4 Données météorologiques:

La région d'Annaba est régie par une alternance de deux saisons nettement contrastées, une saison chaude et sèche et une saison froide et humide.

II.4.1 Pluviométrie :

La répartition spatiale de la pluviométrie indique une augmentation de la pluviométrie d'Ouest en Est et du Nord au Sud.

Le tableau ci-dessous donne les moyennes mensuelles de la pluviométrie (en millimètres) collectées au niveau de la station d'Annaba-aéroport « les Salines » pour une période de 5 ans (2011-2016).

Tableau 1: Valeurs de la précipitation du mois de Mars (2011-2016) (**ONM Annaba**) :

Année	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Précipitation (mm)	85	51	55.4	152	94.9	96.2

II.4.2 Les températures :

Les températures constituent avec les précipitations les éléments majeurs qui caractérisent le climat d'une région.

Les données dont nous disposons sont relatives à la période (2011-2016) de l'ONM ANNABA.

Le tableau ci-après résume les résultats des températures mensuelles relevées au niveau des stations.

On remarque une diminution des températures de Septembre à Janvier, suivi de leur croissance à partir de Février.

Par ailleurs, l'analyse de la répartition des températures mensuelles révèle une bonne corrélation entre les deux stations. Cette similitude est marquée par la coïncidence des valeurs extrêmes (minimum en Janvier et maximum en Aout) (tableau 4).

Tableau 2 : Températures mensuelles moyennes mesurées à la station ONM Annaba (2011-2016) (O.N.M ANNABA) :

Année \ Mois	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Janvier	12,3	11,2	11,7	12,8	12	12,9
Février	11,2	9	10,5	13,1	10,5	13,1
Mars	13,3	13,8	14,5	12,8	13,4	13,2
Avril	16,5	16,2	15,5	15,8	15,2	16
Mai	18,6	18,2	17,65	18	20	18,6
Juin	25,1	24,1	20,3	23	22,5	22
Juillet	21,5	26	24,5	24,6	25,79	24,8
Aout	25,3	27	25,5	25,8	31,5	24,3
Septembre	24	23,4	23,5	25,3	24,6	23,5
Octobre	20,2	20,5	22,8	22,15	21,5	22,05
Novembre	16,1	17,5	15,7	18,5	16,3	17
Décembre	12,9	13,1	12,6	12,8	12,9	14,5

II.4.3 Les vents :

La force du vent est estimée d'après l'échelle suivante (échelle de **BEAUFORT**)

- 0 = calme
- 1 à 2 = vent faible
- 3 à 4 = vent modéré
- 5 à 6 = vent assez fort
- 7 à 8 = vent fort
- 8 à 9 = vent violent, ouragan

Tableau 3 : Moyennes mensuelles des degrés de forces des vents observés (Seltzer 1913-1938.) :

Stations	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Année
Cap de Garde	2.3	2.6	2.8	3.1	3	3.1	3	3	2.5	2.4	2.3	3	2.75

Ainsi les vents observés sont faibles à modérés sur toute l'année. Ils sont légèrement plus forts en hiver qu'en été.

II.4.4 Données de l'US Naval Weather Service Command (S.S.M.O) :

Les données de l'US Naval Weather Service Command tirées du document intitulé (Summary of Synoptic Meteorological Observation(S.S.M.O)) permettent d'établir la relation entre les fréquences des vents par intensité et par directions (voir tableau ci-dessous)

Tableau 4 : Fréquence d'apparition des vents au large (S.S.M.O) (L.E.M).

Directions	Est	Nord- Est	Nord	Nord- Ouest	Ouest
Fréquences d'apparition des vents au large de vitesses supérieures à 17m/s	0.1	0.1	0.1	0.8	1.1
Fréquences d'apparition totales des vents au large	16.7	10.9	9.0	16.4	31.0

On constate ainsi que les vents les plus fréquents au large proviennent des secteurs Ouest, Nord-Ouest et Est, suivi des secteurs Nord-Est et Nord.

II.5 Données océanographiques :

II.5.1 La Houle :

Le principe de l'analyse de la houle au large est basé sur les observations faites à bord des navires. Les données sont reprises d'un document de l'U.S.Naval Weather Command intitulé ' Summary of Synoptic Météorological Observations' (S.S.M.O tome 4 zones Annaba) s'étalant sur une période de 8 ans (1963-1970).

Les données couvrent la partie orientale de la côte algérienne. Une analyse statistique de ces données de base permet de définir les secteurs de houles prédominants et les amplitudes respectives.

Les observations de la houle sont classées dans le S.S.M.O par mois et par an, en précisant les éléments suivants :

- Hauteur des houles par direction suivant la force de vent ;
- Hauteur des houles toutes directions confondues suivant la force du vent ;
- Hauteur des houles avec leurs périodes respectives toutes directions confondues.

II.5.2 Les Courants :

Les instructions nautiques signalent l'existence d'un courant général dirigé vers l'Est pouvant atteindre 1 à 2.5 nœuds passant à quelques milles au large et d'un courant de 0.5 à 1.5 nœud qui circulerait plus près de la côte entre le Cap de garde et l'oued Mafragh.

CHAPITRE III :

Etude hydrodynamique

III ETUDE HYDRODYNAMIQUE :

L'étude de l'évolution de la plage de Sidi Salem nécessite la détermination du régime des houles et hydro-morphologique, les effets des vagues, des courants sur cette évolution en hiver et en été. Cela fait appel à l'application de modèles mathématiques et numériques pour simuler les processus de l'accrétion et de l'érosion dans le site d'étude.

Le modèle numérique nous permet d'illustrer les houles, le courant du aux vagues et les modes de transport du littoral. Le modèle morphodynamique repose sur un couplage des modèles de propagation de la houle et du modèle de circulation et du modèle de transport sédimentaire dans MIKE21 (Than, 2015).

III.1 Matériel utilisé

III.1.1 Description du logiciel de calcul Mike Zero

MIKE Zéro est le nom commun des implémentations Windows de DHI intégrant l'interface utilisateur graphique pour la mise en place des simulations, la pré-analyse et le post-traitement, la présentation et la visualisation dans un environnement de projet orientée (DHI, 2014).

III.1.2 Description du logiciel de calcul MIKE 21 :

MIKE 21 est un système logiciel développé par le Danish Hydraulics Institut (DHI) et reposant sur un maillage structuré (grille rectangulaire ou curviligne) ou, pour certain modules, sur un maillage non structuré.

Le modèle MIKE est bidimensionnel horizontal, utilisant une méthode de volumes finis. Il a trois principaux modules tels que l'hydrodynamique (HD), le spectre de la houle (SW), et le transport sédimentaire (ST) (Than, 2015).

a. Le modèle Hydrodynamique (HD) :

Le modèle hydrodynamique MIKE21 HD résolve les équations bidimensionnelles classiques de Navier Stokes par la méthode en volume fini sur une grille à maillage flexible et par la méthode des différences finies sur une grille à maillage rectangulaire. Il traite le

frottement sur le fond, l'effet des événements météorologiques (vent et pression atmosphérique), la force de Coriolis, etc...

Il nous permet de simuler les courants côtiers dus à l'action de la houle dans la zone de déferlement (DHI, 2014)

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}}{\partial y} = hS \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial h\bar{u}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}^2}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}u}{\partial y} = f\bar{v}h - gh \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho_w}{\partial x} + \frac{\tau_{sx}}{\rho_0} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \right) \\ + \frac{\partial}{\partial x} (hT_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (hT_{xy}) + hu_s S \end{aligned}$$

→ Equation de continuité de mouvement horizontal (2)

$$\begin{aligned} \frac{\partial h\bar{v}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{v}u}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}^2}{\partial y} = f\bar{u}h - gh \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho_w}{\partial y} + \frac{\tau_{sy}}{\rho_0} - \frac{\tau_{by}}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial S_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} \right) \\ + \frac{\partial}{\partial x} (hT_{xy}) + \frac{\partial}{\partial y} (hT_{yy}) + hv_s S \end{aligned}$$

→ Equation de continuité de la profondeur (3)

Où :

- t : le temps.
- x, y, z : les coordonnées cartésiennes.
- η : la hauteur de la surface. d : la hauteur d'eau.
- h : la profondeur totale de l'eau, $h = \eta + d$;
- u, v, w : les composantes de la vitesse dans les directions x, y et z.
- f : la force de Coriolis, $f = 2\Omega \sin \phi$.
- Ω : la vitesse angulaire de révolution.
- ϕ : la latitude géographique.
- g : l'accélération gravitationnelle.
- $S_{xx}, S_{yy}, S_{xy}, S_{yx}$: des composantes du rayonnement tenseur.
- p_a : la pression atmosphérique.

- T_{xx}, T_{xy}, T_{yy} , le tenseur
- ρ_0 : la densité de référence de l'eau.
- S : l'amplitude de la décharge causée par des sources ponctuelles.
- u_s, v_s : la vitesse par laquelle l'eau est déchargée dans l'eau ambiante.
- $\tau_{sx}, \tau_{sy}, \tau_{bx}, \tau_{by}$: composantes du vent de surface et des contraintes de fond.

b. Le modèle spectre de la houle (SW) :

Le module d'analyse spectrale de la houle est l'un des outils de modélisation numérique pour l'étude de modèle spectral vent-vague. Le modèle est basé sur une grille à maillage flexible (DHI, 2014a) et est particulièrement applicable pour l'analyse des vagues simultanée à la fois à l'échelle régionale et locale. Le maillage flexible permet une résolution spatiale grossière pour la zone au large et une haute résolution en eau peu profonde et sur le littoral. Le modèle SW simule la croissance des vagues par l'action du vent, l'interaction non-linéaire vague-vague, la dissipation due au 'white-capping', la dissipation due au frottement de fond, la dissipation due au déferlement de la vague, la réfraction de la houle par les changements de profondeur, l'interaction vague-courant et l'effet de profondeur d'eau variant dans le temps (DHI, 2014k).

c. Le modèle de transport sédimentaire (ST):

Le calcul du transport de sable se fait selon deux périodes tempétueuses et saisonnières : Dans MIKE21 nous pouvons calculer ces cas en utilisant les données d'entrée tels que les vagues, les vents, et les caractéristiques des sédiments des fonds. Les transports sédimentaires sont calculés dans deux conditions telles que pur et combinaison des houles et des courants. Deux méthodes de simulation sont disponibles dans les conditions combinées de la houle et du courant : la méthode STP « Sediment Transport Program » de DHI et la méthode de Bijker. Elles utilisent l'équation du transport sédimentaire qui est calculé comme suit (DHI, 2014c).

$$q_{tb} = q_b + q_s \quad (4)$$

Où q_{tb} , q_b , q_s représentent le transport total des sédiments, le transport par charriage, et le transport par suspension, respectivement.

La méthode STP traite les différences de phase de l'écoulement oscillatoire, la tension du cisaillement sur le fond et la concentration sédimentaire en suspension dans sa formulation pour le calcul du transport sédimentaire. Deux méthodes de simulation sont disponibles : modèle 2DH et modèle STPQ3D.

Le modèle 2DH est une approche de plan bidimensionnel horizontal (2DH). Les transports sédimentaires sont calculés dans le sens du courant moyen, avec une composante transversale résultante de la pente des fonds (DHI, 2014).

III.2 Création de la Bathymétrie de la zone d'étude :

L'étude bathymétrique est une étude primordiale dans notre domaine afin de reconnaître et interpréter la morphologie sous-marine, pour cela nous avons procédé à une analyse bathymétrique pour essayer d'obtenir un résultat fiable et précis et cela en adoptant deux méthodes à savoir : la méthode numérique et la récolte sur terrain.

III.2.1 Méthodologie de travail

Les étapes de cette étude sont résumées dans l'organigramme suivant (figure 8) :

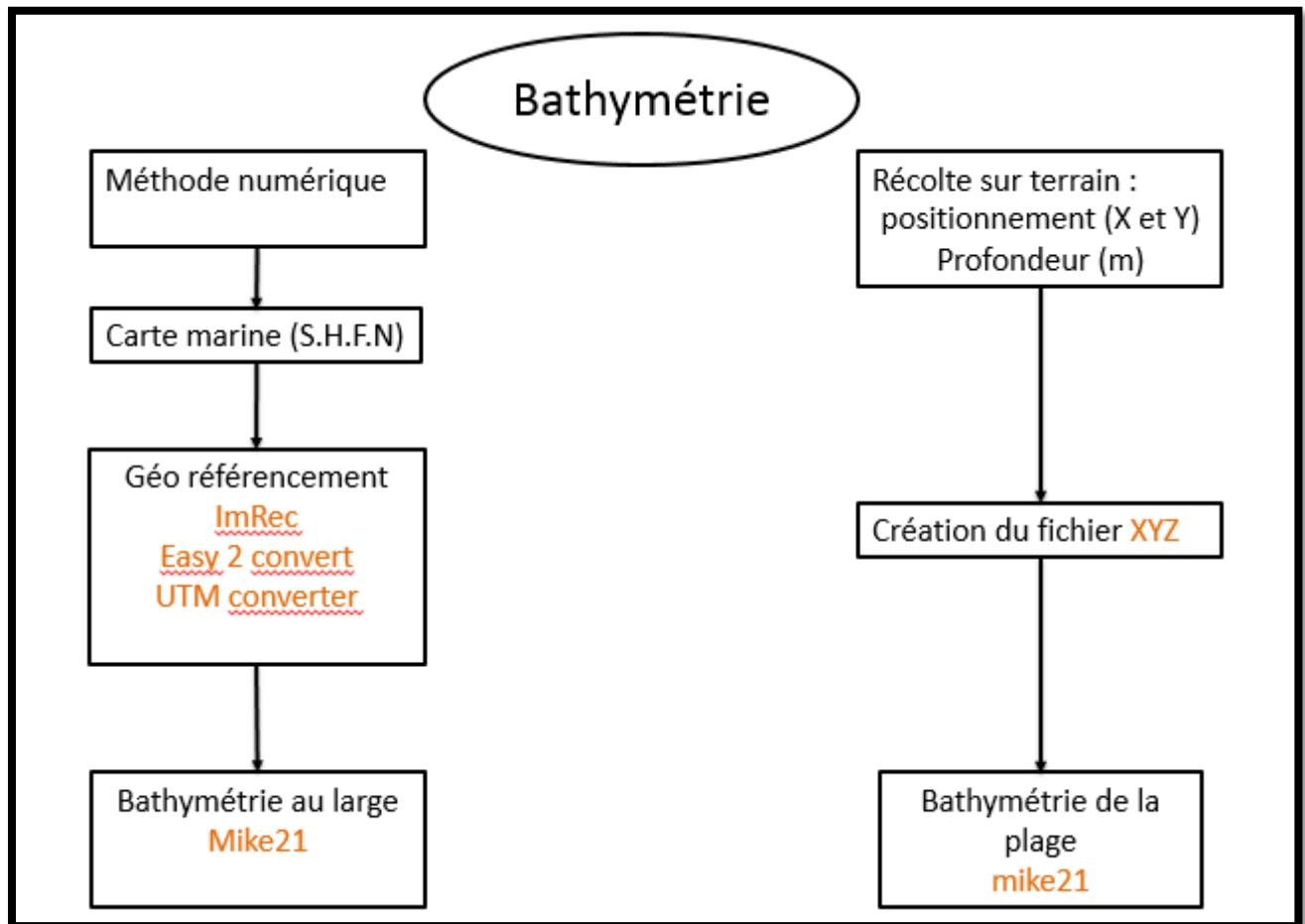


Figure 8 : Organigramme de l'étude bathymétrique

Pour créer un maillage simple qui va montrer le contour de la surface ; on a suivi les étapes susmentionnées.

- Création d'un espace de travail où il faut spécifier le système de projection.
- Importation des données XYZ du Trait de côte ainsi que la bathymétrie.
- Définir le domaine de travail par la spécification des limites (frontières) par des arcs qui entourent la zone d'études.
- Génération du maillage (Mesh) (figure 9).

Le modèle local des zones d'étude intègre l'utilisation du maillage triangulaire uniquement. La configuration du maillage a été faite en fonction de la spécificité de chaque zone (la bathymétrie, la nature du trait de côte, si il y'a des îlots ou non, l'existence d'un port ou ouvrage de protection dans la zone). Pour notre zone d'étude on a 1650 éléments et 1026 nœuds.

- Lissage du maillage (*Mesh Smoothing*).
- Configuration de l'interpolation.
- Lancement de l'interpolation.
- Exportation du maillage.

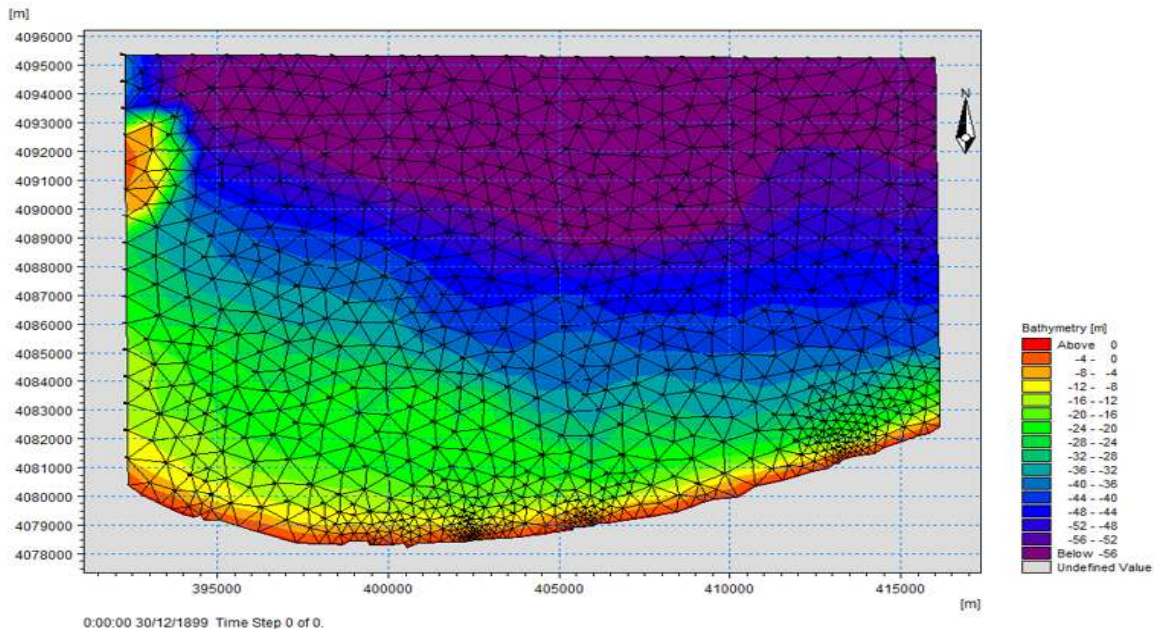


Figure 9 : Maillage de la baie d'Annaba

III.2.2 Résultats

Les calculs précédents ont permis la génération d'une carte bathymétrique (figure 10)

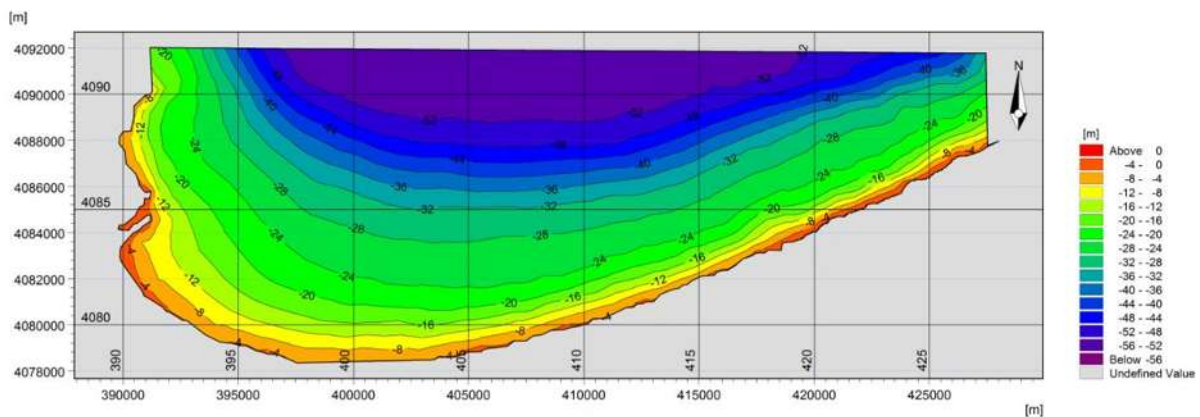


Figure 10 : Carte bathymétrique de la baie d'Annaba

III.3 Simulation des courants et de la houle

III.3.1 Choix des modèles couplés :

Le logiciel MIKE comprend certains modules spécialisés pour calculer le champ des courants, des vagues, du transport sédimentaire, etc... . En particulier, le modèle intégré MIKE21/3 FM couplé avec le module ST intègre des modèles professionnels pour étudier les questions liées au transport du sable et au dépôt-érosion. Le modèle couplé MIKE21/3 FM est un nouveau produit (développé en 2004-2009) et le logiciel spécialisé plus avancé MIKE21 comprend de nombreux modules intégrés pour l'utilisation dans quatre grands domaines tels que l'hydraulique de la rivière et de la mer, les vagues, les processus d'accumulation et 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 des vagues, des courants et le transport de matériel (**Than, 2015**).

Dans la dernière version de MIKE 21, qui a été 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.

III.3.2 Méthodologie de travail

Les étapes de cette étude sont résumées dans l'organigramme suivant

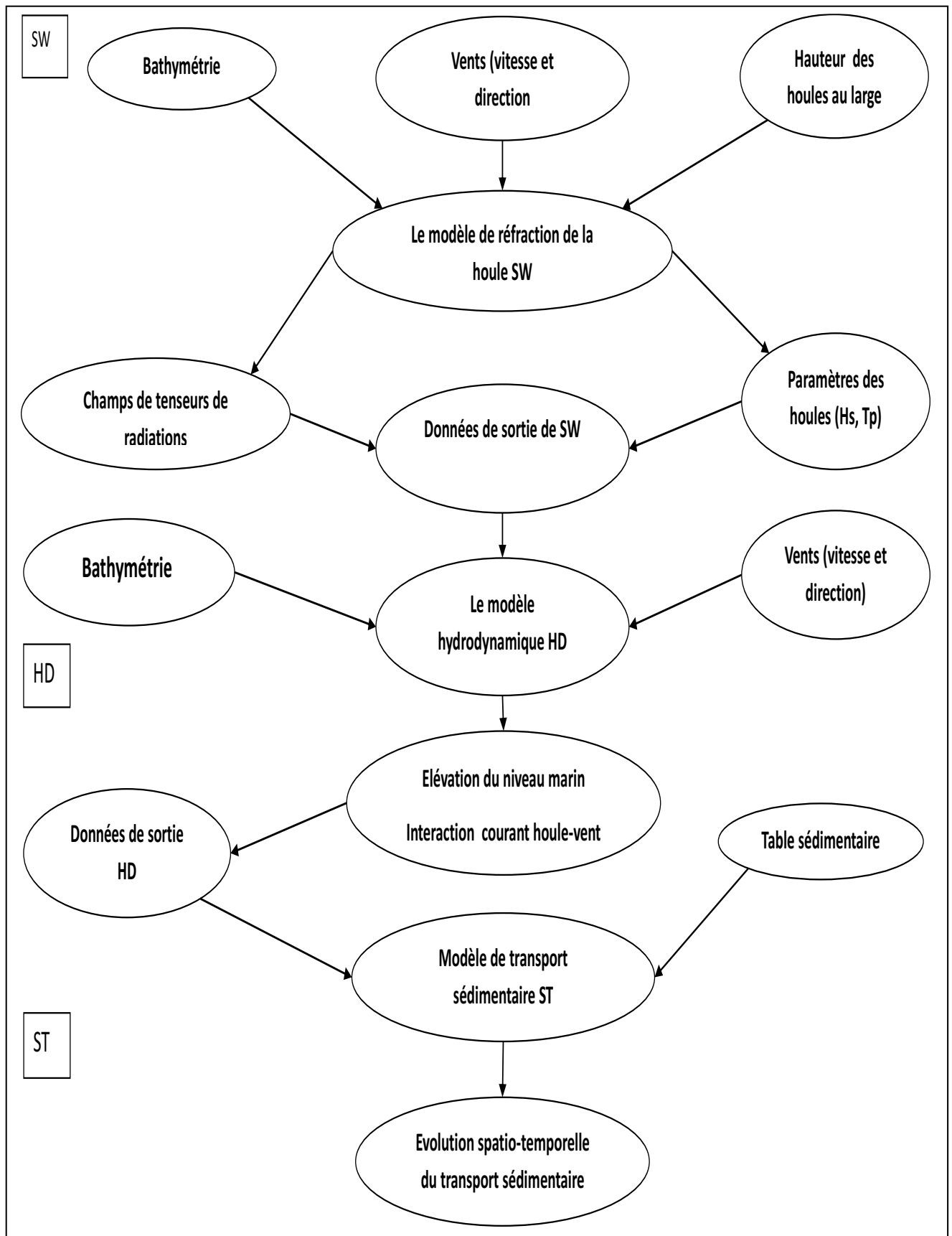


Figure 11 : Méthodologie de travail pour la simulation des courants et de la houle (Madi, Meciaf.2017)

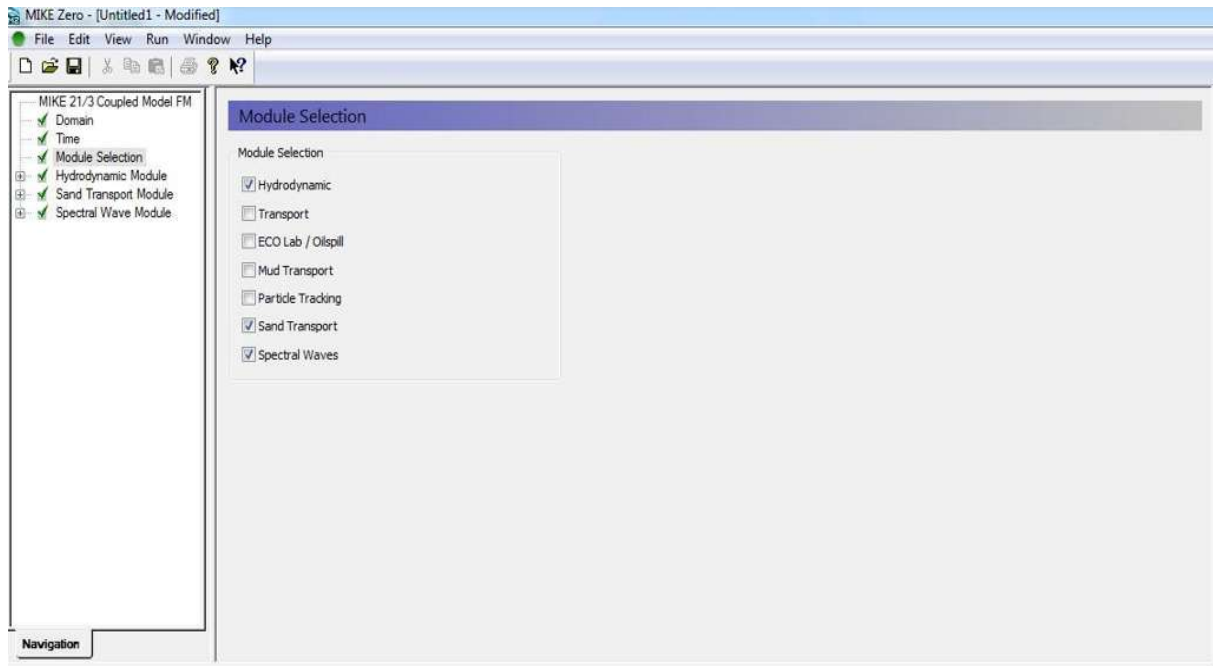


Figure 12 : Interface du modèle couplé MIKE21/3 FM

III.3.3 Modèle SW :

a. Les conditions de 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.

b. Les conditions de courant :

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

c. Rupture de vagues :

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

d. Conditions initiales et conditions aux limites :

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

Le secteur angulaire considéré correspond aux limites naturelles imposées d'une part, par la configuration géographique du site d'étude, et d'autre part, par le secteur d'intérêt des houles au large.

Les données de houle au large utilisées pour le calcul de la réfraction de la houle au L.E.M sont celles du *Summary of Synoptic Meteorological Observations* (SSMO) de 1963 à 1970

Un traitement statistique de ces données a permis de déterminer les fréquences d'apparitions de houle par direction et par période.

$H_s=5.9\text{m}$, $T_p=11.91\text{s}$, $\text{Dir}=45^\circ\text{N}$ (1)

$H_s=5.97\text{m}$, $T_p=12\text{s}$, $\text{Dir}=90^\circ\text{N}$ (2)

$H_s=8.48\text{m}$, $T_p=14\text{s}$, $\text{Dir}=360^\circ\text{N}$ (3)

e. Résultats et discussion:

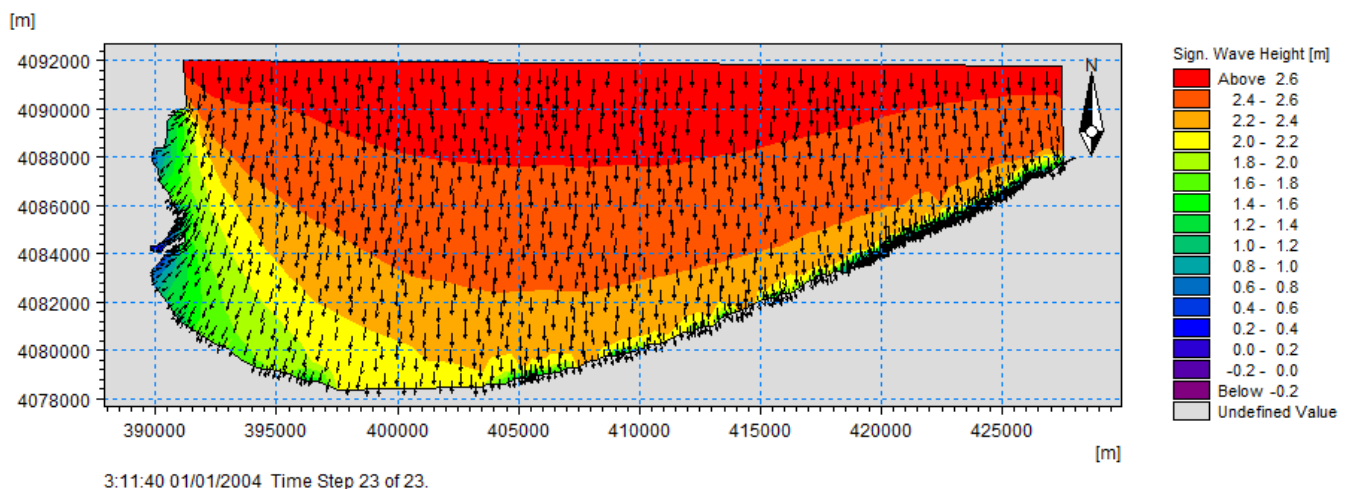


Figure 13 : Champs des houles dans la baie d'Annaba ($H_s = 5.9\text{m}$, $T_p = 11.91\text{s}$, $\text{Dir} = 45^\circ\text{N}$)

La figure 13 représente la simulation numérique de la diffraction de la houle pour le champ de direction Nord-Est (45°N). Cette simulation de la diffraction de la houle montre que le champ de houles se dégrade en approchant la côte, au fur et à mesure la profondeur diminue, la hauteur de la houle diminue. Les houles de large arrivent perpendiculaire au rivage.

Au large, la hauteur de la houle est supérieure à 2.6m, en arrivant à la côte la hauteur devient de 1.8m jusqu'à 2m.

La diffraction des houles dans la partie Ouest de la baie d'Annaba est due à la présence du Cap Rass Hamra.

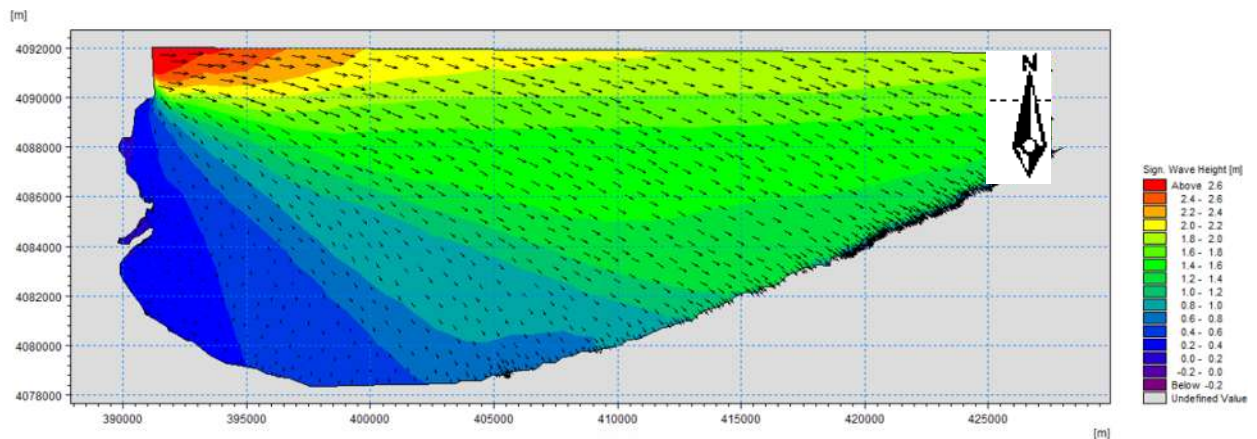


Figure 14 : Champs des houles dans la baie d'Annaba ($H_s = 8.48\text{m}$, $T_p = 14\text{s}$, $Dir = 360^{\circ}\text{N}$)

La figure 14 représente la simulation numérique de la diffraction de la houle pour le champ de direction Ouest (360°N). Le résultat obtenu par cette simulation montre qu'à la profondeur de -20 m on observe un gradient important de champ des houles et de hauteur de vague qui diminue jusqu'à 0.2m de hauteur sur la cote de la plage Sidi Salem.

Ce changement est dû à la présence du Cap Rass Hamra, ce qui fait de la zone d'étude (la plage Sidi Salem) une zone relativement calme et à l'abri des houles agressives de secteur Ouest ($H_s = 8.48\text{m}$ une énergie importante).

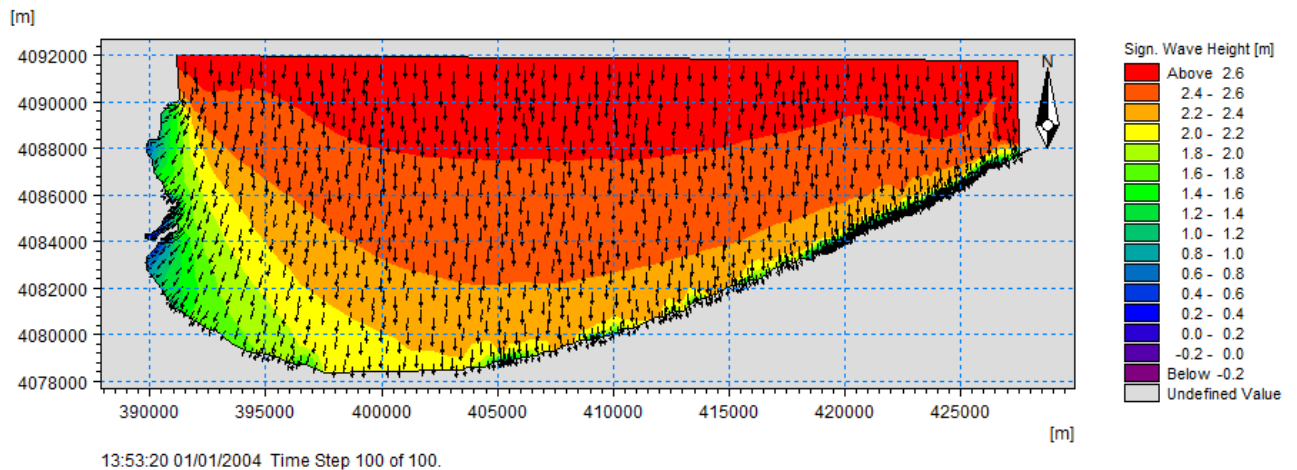


Figure 15 : Champs des houles dans la baie d'Annaba ($H_s = 5.97m$, $T_p = 12s$, $Dir = 90^\circ N$)

La figure 15 représente la simulation numérique de la diffraction de la houle de direction Nord ($90^\circ N$). A l'approche de la côte, la houle perd la majorité de sa hauteur jusqu'à atteindre 2m, cela justifie l'effet du fond sur la propagation et la diffraction de la houle.

En comparant entre les deux simulations du Nord et du Nord-Est, on observe que la houle se manifeste de la même façon, cela est dû à la bathymétrie et à la morphologie du fond de la baie d'Annaba. La houle du secteur Nord-Est arrive à la profondeur de -20m avec la même hauteur que la houle du secteur Nord et atteint la côte de la plage Sidi Salem avec une hauteur de 2m.

III.3.4 Modèle HD :

Le modèle MIKE21 HD a été configuré comme suit :

a. 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.

b. Force de Coriolis :

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

c. Force des vents :

Les forces des vents sont introduites par une grille de données qui varient dans le temps et dans le domaine, les données utilisées sont celle de 2016 de la station météorologique d'Annaba (ONM).

d. Les radiations des champs de houle :

Les radiations des champs de houle sont obtenues grâce à la formulation spectrale du module Mike 21 SW.

e. Conditions initiales :

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

f. Résultats et discussion :

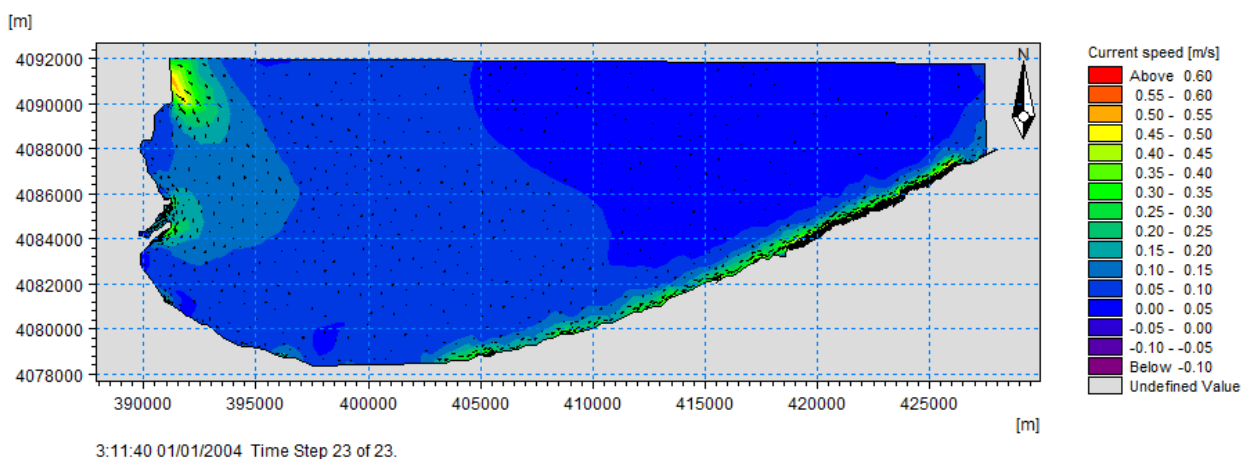


Figure 16 : Champs de courants dans la baie d'Annaba (Direction de houle=45°N)

La figure 16 représente les champs des courants de direction de houle de 45°N dans la baie d'Annaba, on observe clairement que la propagation des courants dans la baie est presque constante de l'ordre de 0.15 m/s. Et près du rivage Est de la baie, on marque une augmentation de vitesse des courants (0.4m/s à 0.45m/s) et cela est due probablement à l'influence de la morphologie du fond et l'interaction houle-houle, houle-vent ou bien houle-courant.

A l'Ouest de la baie, les courants sont intenses (0.40 à 0.55m/s), la réfraction par les ouvrages du port et la nature des cotes (côtes rocheuses) qui fait augmenter la vitesse des courants.

Les valeurs négatives indiquées dans la palette sont des valeurs de la projection sur l'axe des vitesses et en vérité et pas la vitesse qui est négative.

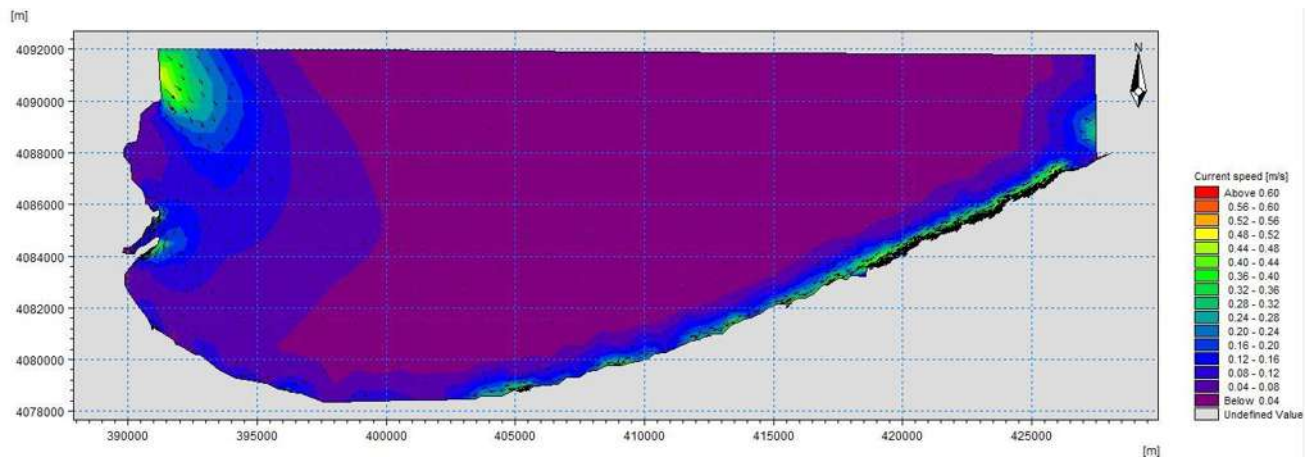


Figure 17 : Champs des courants dans la baie d'Annaba (direction de houle : 90°N)

Le courant de direction du Nord (90°N) est faible dans toute la zone, à l'exception des zones de contact (les côtes Est et la zone Ouest), la réfraction de la houle provoque ce champs de courant.

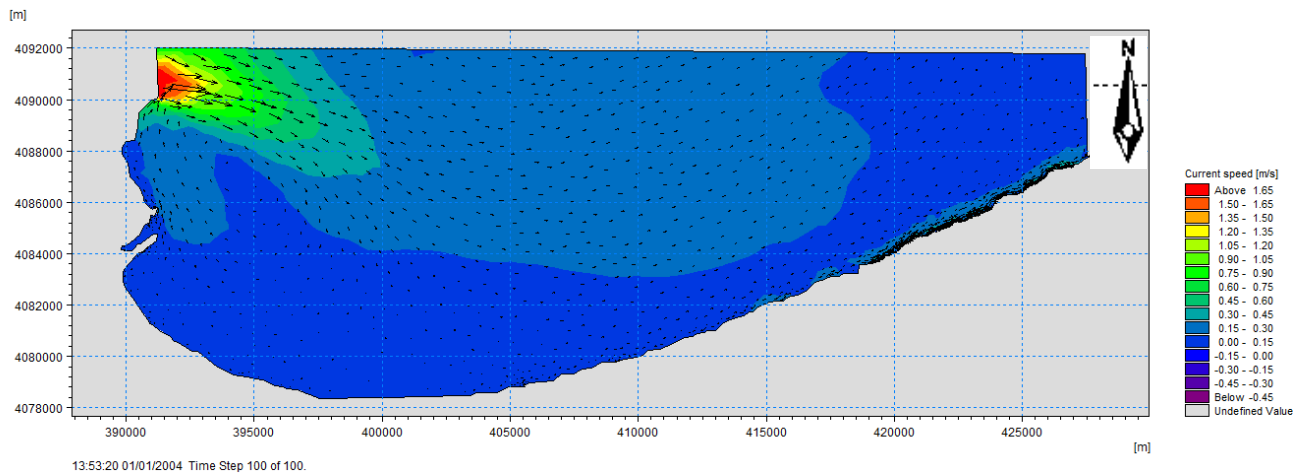


Figure 18 : Champs des courants dans la baie d'Annaba (direction de houle : $360^{\circ}N$)

La figure 18 représente les champs des courants dans la baie d'Annaba formé de secteur Ouest ($360^{\circ}N$). On y observe une propagation des courants parallèle au trait de côte avec une vitesse majoritaire entre 0.30m/s et 0.15m/s . cela signifie que la zone est protégée des courants du secteur Ouest par son positionnement géographique (face au courant de l'Ouest), ce qui donne une zone calme.

A l'Ouest de la zone, la réfraction de la houle par la côte (rocheuse) provoque des changements de directions des courants et une dissipation de l'énergie.

CHAPITRE IV :
Etude sédimentologique

IV ETUDE SEDIMENTOLOGIQUE

L'étude granulométrique a comme but la mesure et la détermination de la taille des particules élémentaires. Plusieurs méthodes reproductibles ont été utilisées pour réaliser cette étude suivant des normes strictes.

Pour notre étude on a choisi le tamisage qui a deux parties :

- Le tamisage à sec ($> 40 \mu\text{m}$)
- Le tamisage sous eau ($< 40 \mu\text{m}$)

L'observation de gradients granulométriques mène à la détermination de la direction et du sens des transits sédimentaires

L'utilisation de ces gradients, des indices ponctuels ou globaux et des courbes granulométriques a longtemps été le meilleur moyen d'appréhender les mouvements sédimentaires responsables de la zonéographie des faciès et de caractériser les environnements de dépôt (**Ehrhold, 1994**).

IV.1 Méthodologie de travail

Les étapes de l'étude sédimentologique sont résumées dans l'organigramme suivant

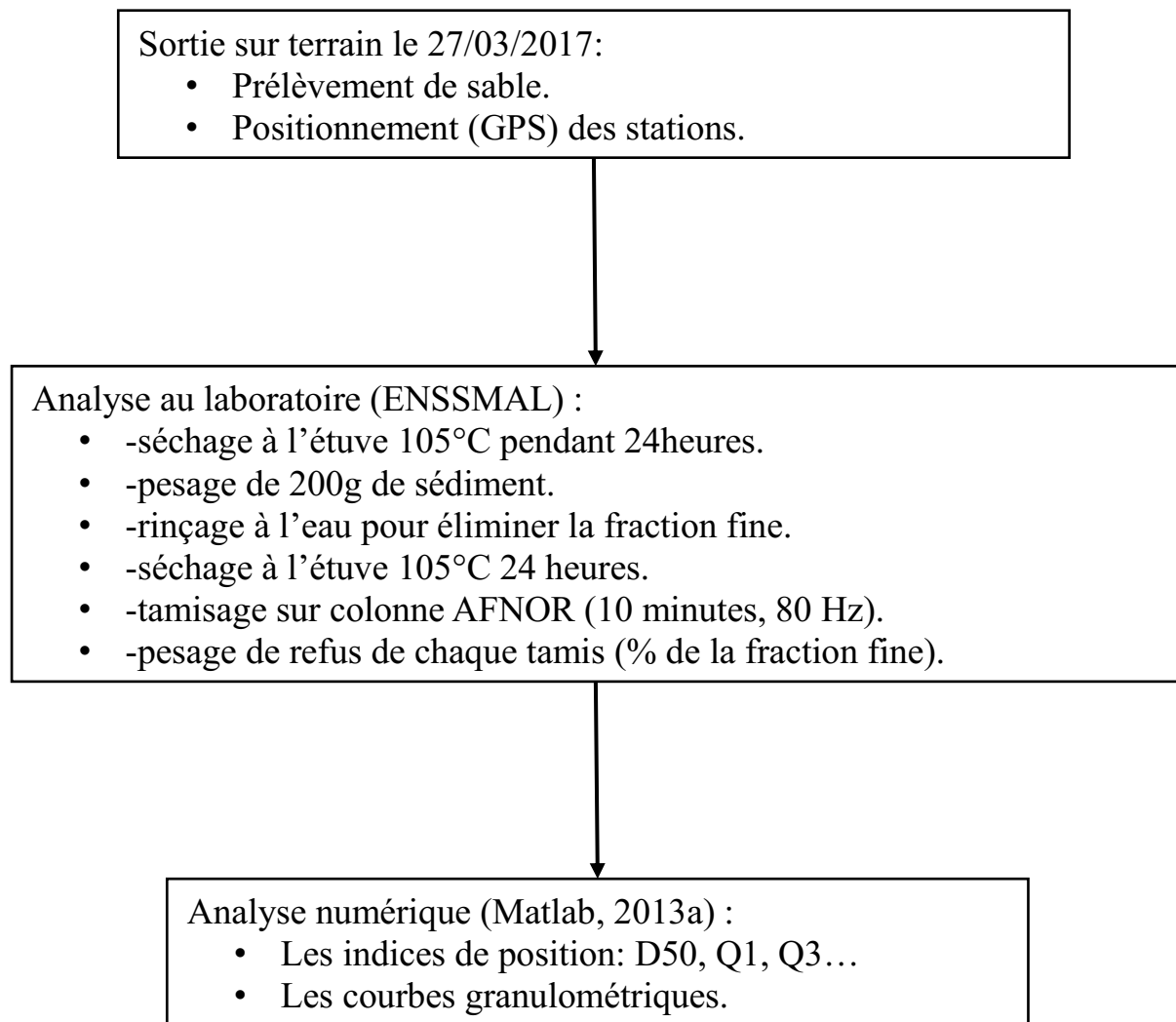


Figure 19 : Méthodologie de travail de l'étude sédimentologique

IV.2 Prélèvements sur le terrain :

IV.2.1 Les stations de haut de plage :

Le prélèvement s'effectue directement sur la plage aérienne. Le matériel et la méthode utilisée et la quantité de sédiment sont conditionnés par la nature du sédiment, dans notre cas (sable). Les prélèvements se font manuellement sur la plage on utilisant des gonds afin d'éviter la perte des particules fins et la conservation se fait dans des sachets de congélations étiquetés. La présence d'un GPS est obligatoire pendant notre sortie pour prendre les coordonnées de chaque station.

La sortie sur terrain a été faite le 26/03/2017 sur la plage de Sidi Salem, on a prélevé 27 échantillons répartie sur neuf profils (figure 20).



Figure 20 : Répartition des stations de haut de plage.

IV.2.2 Les stations immergées :

Le prélèvement au niveau des stations immergées est plus complexe que dans la partie aérienne de la plage. Les sédiments marins peuvent être très variables selon leurs localisations (océan, littoral, lac ...).

Le prélèvement nécessite une embarcation (pour sortir en mer), un GPS (GARMIN 72H) pour le positionnement des stations et une benne preneuse de type VAN VEEN, on a prélevé 27 échantillons répartie sur neuf profils (figure 21).

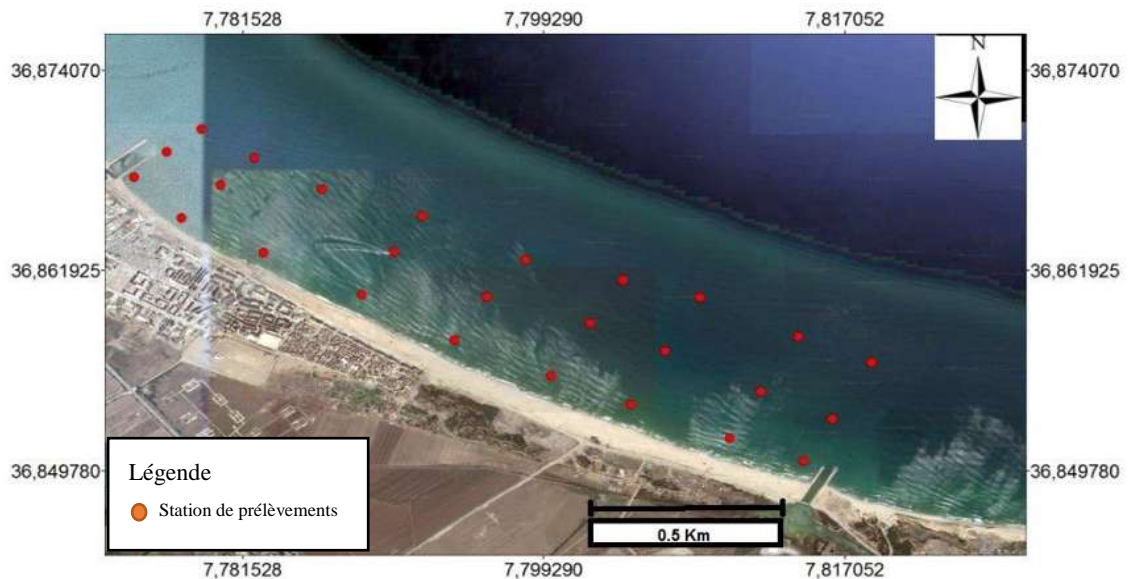


Figure 21 : Répartition des stations immergées

IV.3 Traitement des échantillons (analyse granulométrique) :

Chaque échantillon est mis dans le fond d'une boîte de pétri, et placé dans une étuve à 105°C pendant 24h. Une fois séchés, les échantillons sont passés sous un courant d'eau dans un tamis de 50µm de diamètre afin de soustraire les fractions fines (**Otmani 2014**).

IV.3.1 Principe du tamisage à sec :

Le tamisage consiste à faire passer la quantité du sable des échantillons prélevés à une série de tamis calibrés. Chaque tamis est superposé par taille de maille décroissante selon des normes (AFNOR). La quantité de sédiment piégée dans chaque tamis (le refus de tamis).

La granulométrie permet de préciser les conditions de sédimentation, elle offre une définition quantitative d'un des caractères fondamentaux des sols, la texture. L'analyse granulométrique permet de déterminer les dimensions des grains constituant un granulat.

Tout laboratoire de géologie et de sédimentologie doit contenir le matériel nécessaire destiné à l'analyse granulométrique. Parmi les instruments nécessaires:

- Balance de précision.
- Une tamiseuse.
- Les tamis.

- Un outil informatique.
- L'étuve.

A la fin de la phase de prélèvement, les échantillons vont être déplacés vers le laboratoire afin de les analyser. Il faut prendre des précautions lors de transport des prélèvements afin d'éviter toutes pertes du sédiment.

Le réglage du matériel de travail est primordial : la précision de la balance, les paramètres de l'étuve et le bon fonctionnement de la tamiseuse ainsi l'état des tamis.

IV.3.2 Les avantages :

- Pratique dans des situations de courants forts (<1 à 1,5m/s).
- Un bon piégeage des sédiments fins.
- Elle est la benne la plus polyvalente et la plus représentative.

IV.3.3 Les inconvénients :

- Elle n'est pas pratique dans le cas des sédiments consolidés.
- La vitesse de descente doit être constante et contrôlée afin d'éviter les perturbations et la perte des sédiments.
- Le système de fermeture peut être coincé par des débris.
- Nécessite une force de levage importante dans les cas des profondeurs importantes ou un système de levage.

IV.4 Les paramètres granulométriques :

IV.4.1 Les paramètres de position :

Les paramètres de position sont extraits à partir des courbes de fréquence cumulative sachant que le pourcentage des tamis cumulés est présenté en ordonnée avec une échelle arithmétique, ainsi que les diamètres des tamis en abscisse avec une échelle logarithmique, ces derniers nous permettent le calcul des différents indices. Il correspond au diamètre du tamis qui représente la fraction sédimentaire dominante dans un même échantillon. Il est déduit à partir de l'histogramme de fréquences. (**Riviere, 1977**).

- Les quartiles :
 - Q1 :25% : diamètre du grain à l'ordonnée 25% (quartile)
 - Q2 :50% : diamètre du grain à l'ordonnée 50% (médiane)
 - Q3 :75% : diamètre du grain à l'ordonnée 75% (quartile)
- Les quantiles :
 - D10 :10% : diamètre du grain à l'ordonnée 10% (décile)
 - D50 :50% : diamètre du grain à l'ordonnée 50% (médiane)
 - D90 :90% : diamètre du grain à l'ordonnée 90% (décile)

IV.5 Résultats et discussion:

IV.5.1 L'analyse de la fraction grossière :

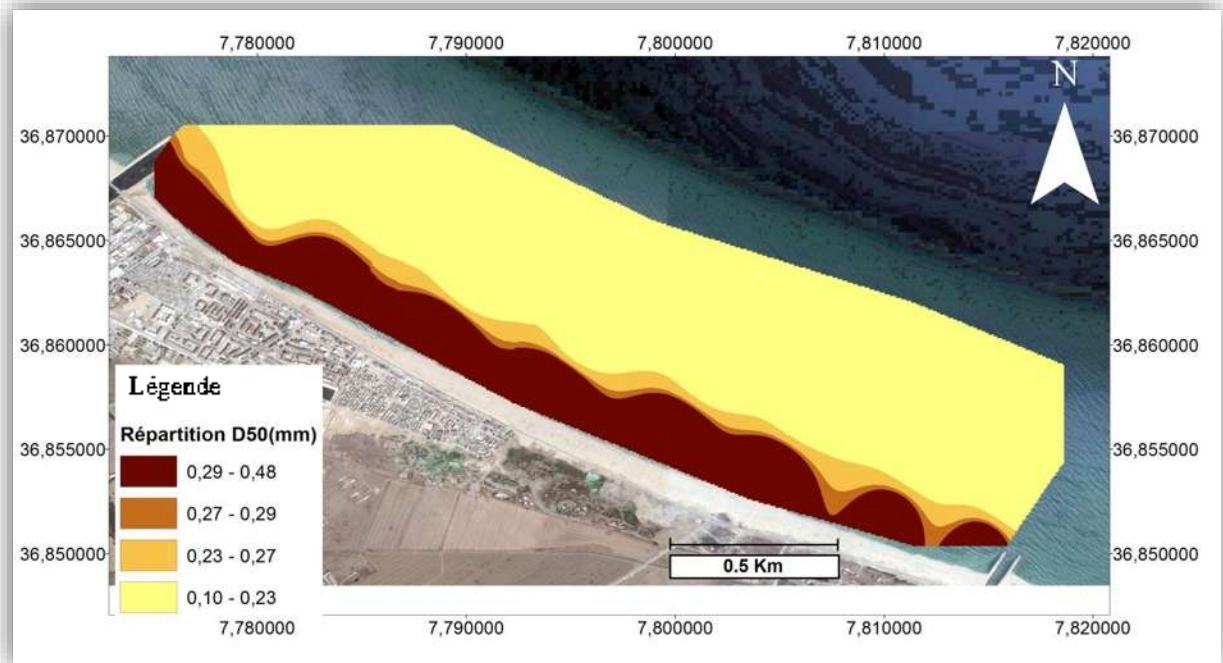


Figure 22 : Répartition de la fraction grossière (D50) dans la plage sous-marine Sidi Salem

La carte de la répartition de la fraction grossière (le D50) dans la plage sous-marine de Sidi Salem (figure 22) montre que les diamètres les plus grossiers se situent dans la zone la plus proche du rivage dont la profondeur est de 3 à 1m.

Le diamètre des grains diminue jusqu'à 0.10 mm dans la zone profonde (-10m), cela est dû à l'effet de l'hydrodynamisme dans la zone et à la morphologie de la plage sous-marine.

IV.5.2 L'analyse de la fraction fine :

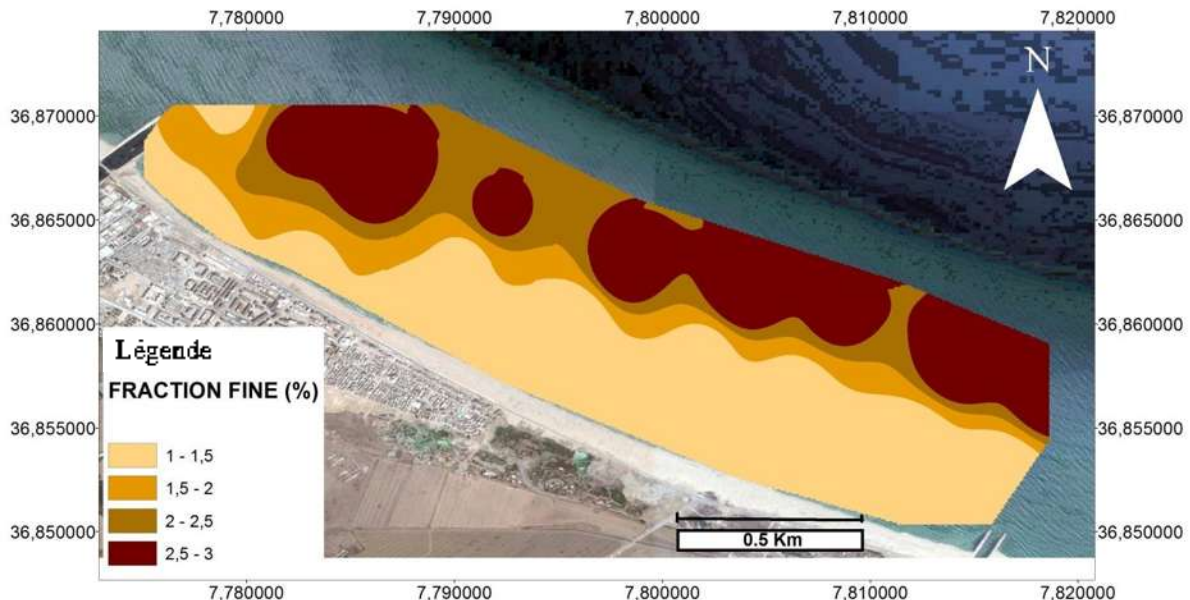


Figure 23 : Répartition de la fraction fine dans la plage sous-marine de Sidi Salem (Annaba)

Tel que représenté dans la figure 23, une forte concentration des pélites se trouve dans les grands fonds de la plage avec des teneurs de 2.5 à 3%, cela peut être expliqué par la dynamique sédimentaire qui fait déplacer les particules les plus fines dans les zones les plus profondes (-10m) donc généralement calme (pas de déferlement dans cette zone).

Vers la côte, dans des petits fonds, la présence de la fraction fine varie de 1.5 à 1%. Le fort hydrodynamisme (déferlement) et le transport sédimentaire qui se produit de la côte vers le large est la cause de cette répartition.

IV.5.3 Modélisation du transport sédimentaire :

La modélisation du transport sédimentaire a été réalisée par le MIKE21/3 COUPLED MODEL FM, qui est un couplage de trois modèles : modèle SW, modèle HD et le modèle ST du MIKE21/3.

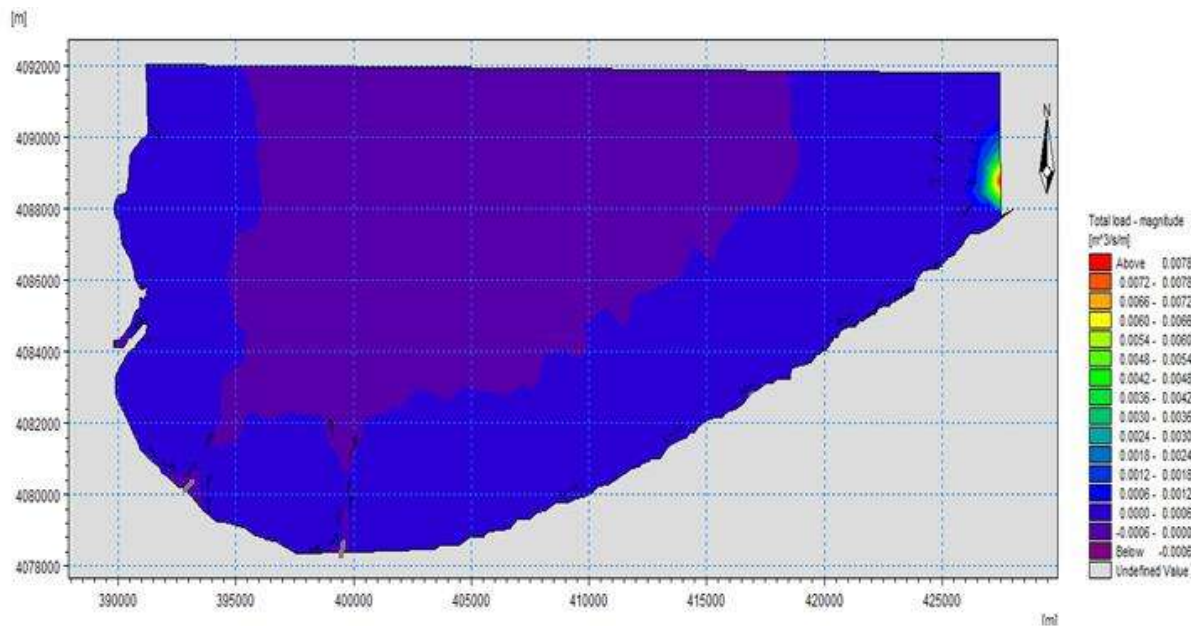


Figure 24 : Modélisation du transport sédimentaire dans la baie d'Annaba

La modélisation du transport sédimentaire dans la baie d'Annaba nous indique la direction du transit sédimentaire qui se fait de l'Est vers l'Ouest. On remarque clairement (figure 24) la quantité importante des sédiments fins reçus par les deux oueds (Oued Seybouse et Oued Mafragh), cette quantité est estimée de $0.0006 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$

Les sédiments reçus par les oueds se déplacent vers le large (profondeur -20m) à cause de l'installation des ouvrages des oueds.

Dans les petits fonds, la quantité est de 0.0012 à $0.0024 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$.

CHAPITRE V:
Evolution du trait de côte

V EVOLUTION DU TRAIT DE COTE

Le système d'analyse numérique de la ligne de rivage (DSAS : The Digital Shoreline Analysis System) est une extension de logiciel ArcGIS v.10 qui permet à un utilisateur de calculer les statistiques du taux de changement de littoral à partir de plusieurs positions historiques du littoral. Une interface conviviale de simples boutons et menus guide l'utilisateur à travers les grandes étapes de l'analyse des changements de littoral. Les composants de l'extension et du guide de l'utilisateur incluent des instructions sur la manière appropriée de définir une ligne de référence pour les mesures, la génération automatisée et manuelle des transects et des métadonnées de mesure en fonction des paramètres spécifiés par l'utilisateur et la production des taux calculés de changement de rivage et d'autres informations statistiques.

V.1 Méthodologie de travail

Les étapes de l'étude de l'évolution du trait de côte sont résumées dans l'organigramme suivant

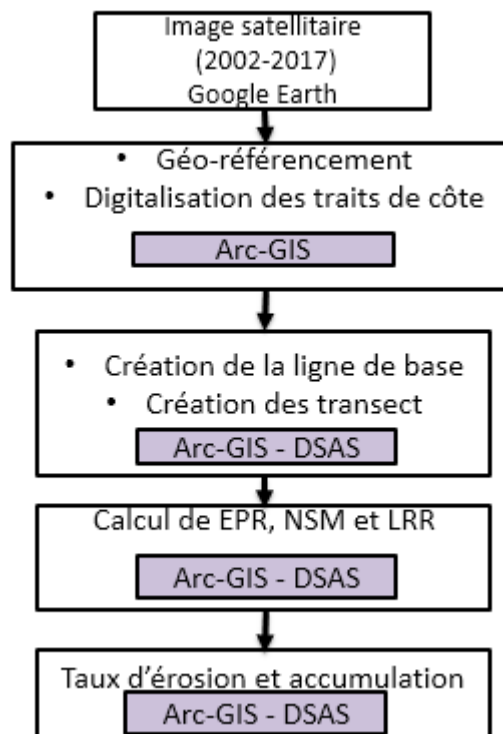


Figure 25 : Méthodologie de travail sur l'évolution du trait de côte (2017)

V.2 Résultats et discussion

V.2.1 Calcul des indices :

a. Mouvement net des rivages (NSM)

Le mouvement du littoral net signale une distance, pas un taux. Le NSM est associé aux dates de seulement deux rives. Il prend compte de la distance totale entre les rivages les plus anciens et les plus jeunes pour chaque profil (Faye, 2012).

Pour bien comprendre la dynamique de ces différents traits de côté selon l'échelle spatiotemporelle, on a projeté les données statistiques du mouvement net des rivages (NSM)

Avant l'aménagement :

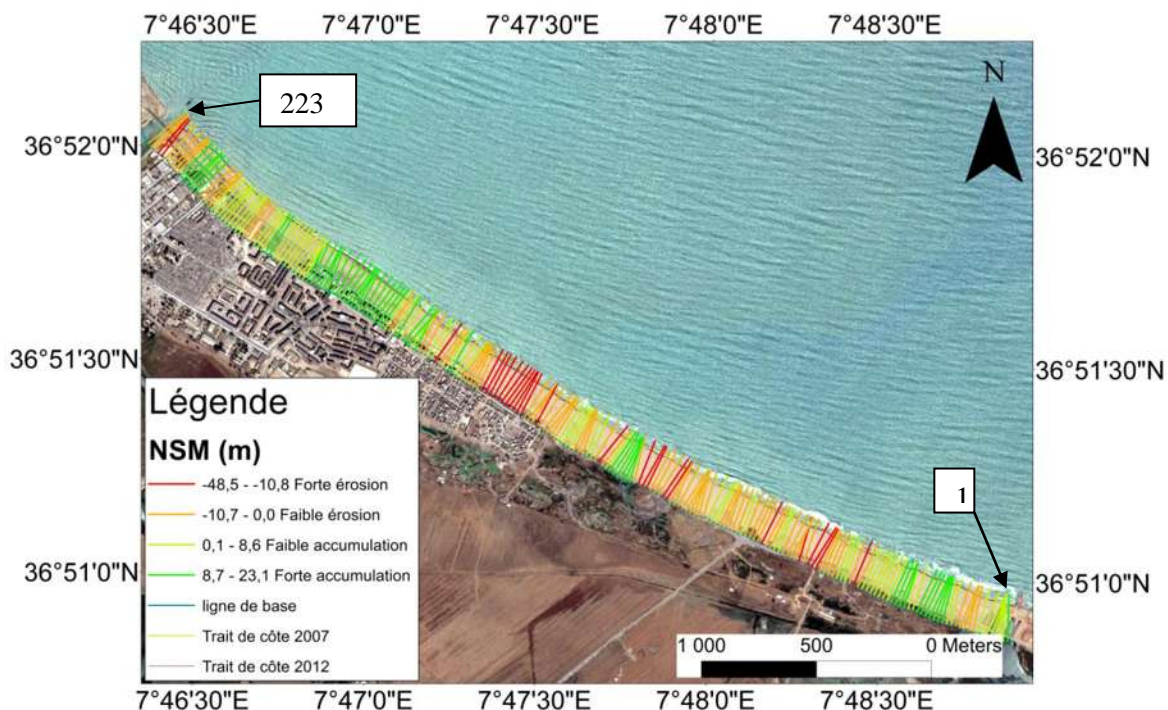


Figure 26 : Illustration du Mouvement net des rivages (NSM) de la plage de Sidi Salem avant la construction des épis

Le mouvement net des rivages (NSM) nous renseigne sur les distances de déplacement du trait de côte sur chaque transect entre 2007 et 2012 dans la plage de Sidi Salem, puisque le NSM ne prend en considération que deux traits de côté : le plus récent et le plus ancien.

L'érosion dans la plage de Sidi Salem ne figure que dans une petite partie st et centre, ce recul du trait de côte peut atteindre parfois de 0 à 48 m.

Par contre L'accrétion dans la plage couvre toute la partie Ouest et une petite partie dans l'est de la plage avec des distances de 0 à 23 m. (figure 26)

Après l'aménagement :

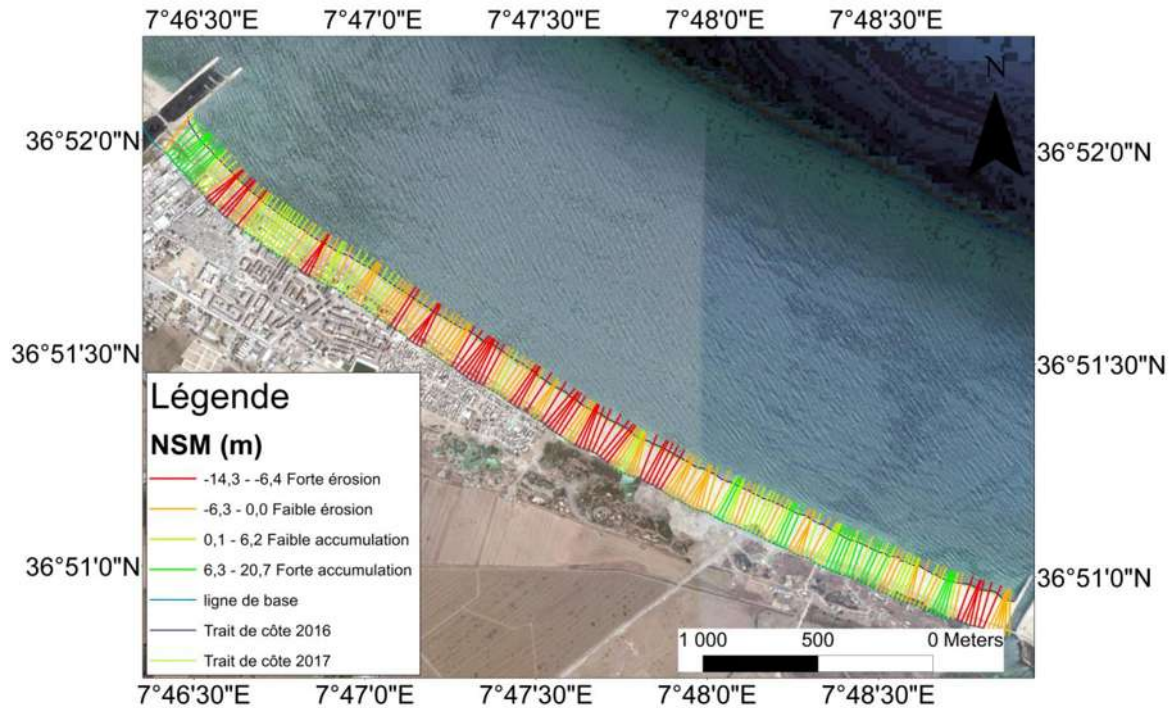


Figure 27 : Illustration du Mouvement net des rivages (NSM) de la plage de Sidi Salem après la construction des deux épis.

On remarque qu'il y a eu un changement dans les emplacements de l'érosion et de l'accumulation après l'aménagement. Les résultats de NSM sur la carte montrent qu'il y a une forte accumulation juste après le premier ouvrage (oued Seybouse) parce que ce dernier a créé une zone calme. Dans zone juste à côté, on marque une forte érosion (zone non abritée). Dans le centre de la plage, il n'y a pas eu de grand changement, par contre juste avant le deuxième ouvrage il y avait une forte érosion (hydrodynamisme important et apport de sédiments par l'oued sont orientés vers le large par l'ouvrage) (figure 27).

b. Le taux de point final (EPR)

Le taux de point final (EPR) est la distance sur le transect entre deux traits de côte le plus récent et le plus ancien divisé par le nombre d'années séparant ces traits de côte. (Himmelstoss, 2009;

Jamont, 2014). Les principaux avantages de l'EPR sont la facilité de calcul et exigence minimale de seulement deux dates du littoral (**Faye, 2012**)

Pour bien comprendre la différence entre l'état de la zone avant et après la construction des deux épis, on calcule et projeté l'EPR pour bien évaluer la différence entre les différents traits de côté selon l'échelle spatiotemporelle

Les résultats sont représentés sur deux cartes représentatives avant et après la construction des épis (figures 28 et 29).

Avant l'aménagement :

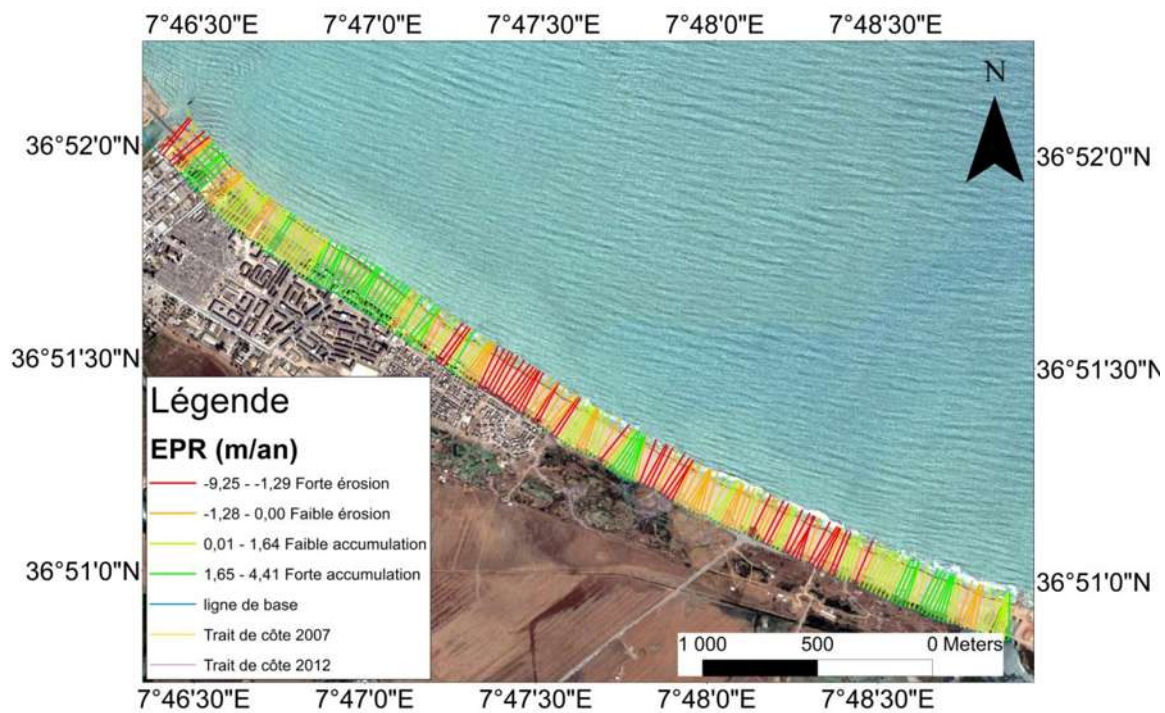


Figure 28 : Représentation de la vitesse d'évolution du trait de côte de la plage de de Sidi Salem entre 2007 et 2012.

Selon la figure 28 on constate une forte érosion dans la partie centre de la plage contre une forte accumulation dans les deux extrémités de la plage, cette accumulation est due aux deux embouchures.

Après l'aménagement :

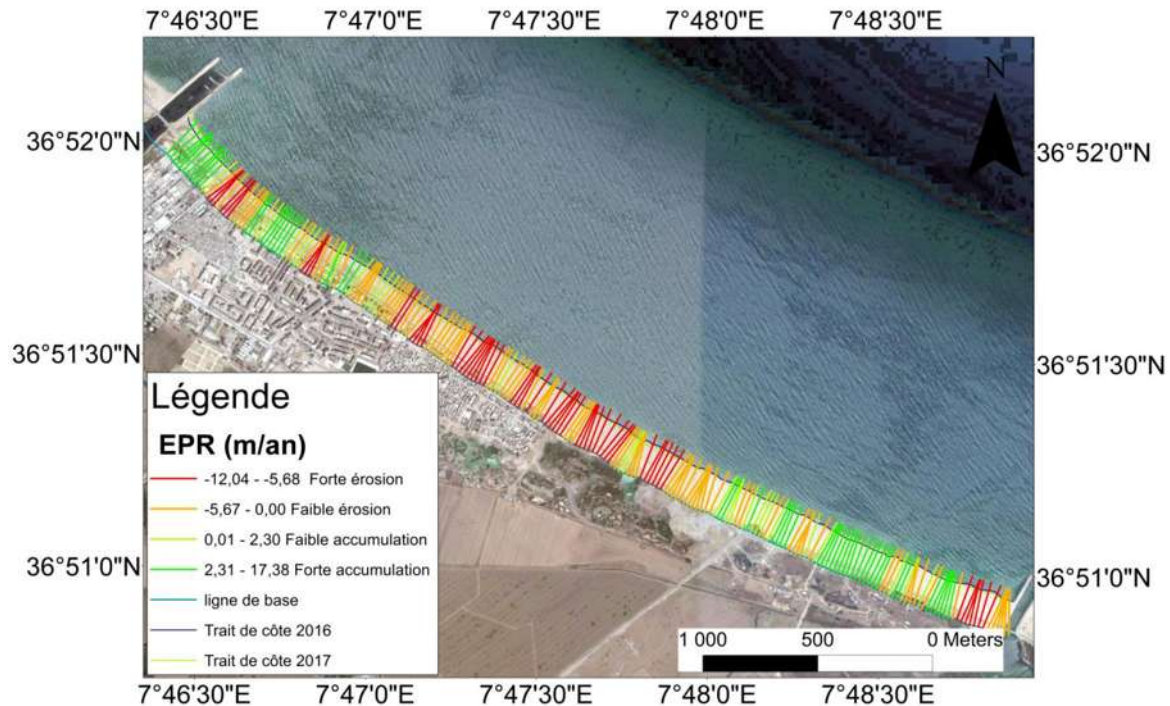


Figure 29 Représentation de la vitesse d'évolution du trait de côte de la plage de Sidi Salem entre 2016 et 2017.

D'après la figure 29 on remarque que le premier ouvrage (oued Seybouse) a causé une forte accumulation juste à côté (zone calme), ainsi qu'une forte érosion dans la partie centrale de la plage juste avant le deuxième ouvrage parce que l'épi a bloqué les sédiments qui alimentent ces zones.

c. Taux de régression linéaire (LRR)

Le taux de la régression linéaire est une droite de régression linéaire des moindres carrés est établie grâce à toutes les intersections des traits de côte historique pour un transect. La pente de cette droite est le taux de régression linéaire en mètres par an. (Himmelstoss, 2009 ; Jamont, 2014). Il traduit également le taux d'évolution annuelle de la ligne de référence le long de chaque transect, est intéressant si l'on analysera cinématique littorale pour plus de deux dates, car la méthode de calcul tient compte de la tendance évolutive du trait de côte sur toute la période considérée (Faye, 2012).

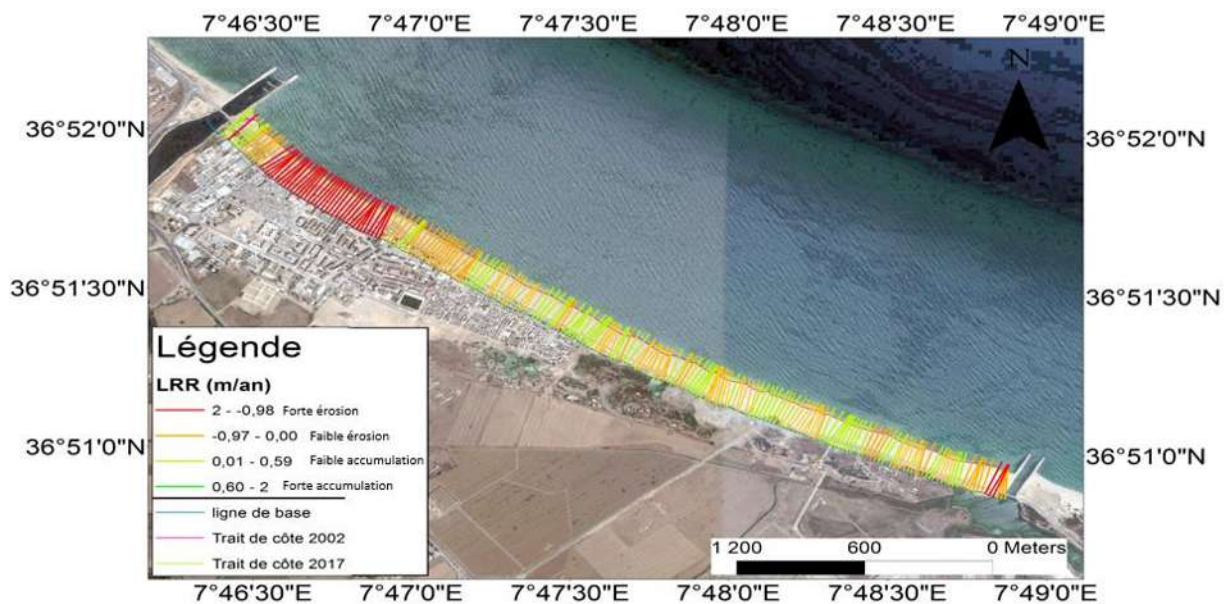


Figure 30 : Représentation du LRR selon chaque transect dans la plage de Sidi Salem entre 2002 et 2017

D'après les résultats du LRR et la carte (figure 30), on remarque que la majorité de la plage de Sidi Salem souffre de l'érosion surtout dans la partie ouest où il y a une forte érosion qui peut atteindre les 2m par an, cette érosion est causée par la construction du premier épi.

V.2.2 Analyse du bilan sédimentaire :

La carte de l'évolution de la surface de la plage de Sidi Salem a permis de calculer les surfaces d'érosion et d'accrétion pour faire des histogrammes des bilans sédimentaire.

L'analyse du bilan sédimentaire nous permet de quantifier les surfaces gagnées et les surfaces perdues et cela entre deux périodes 2002 et 2017.

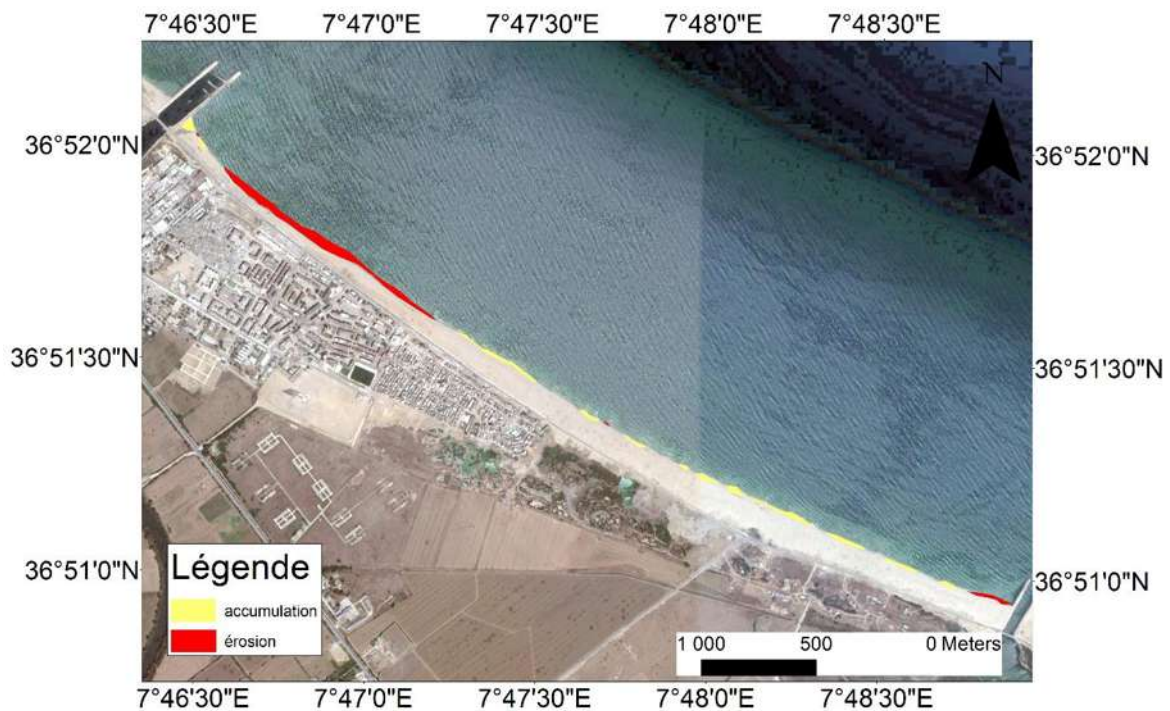


Figure 31 : Évolution de la surface perdue et gagnée entre 2002 et 2017

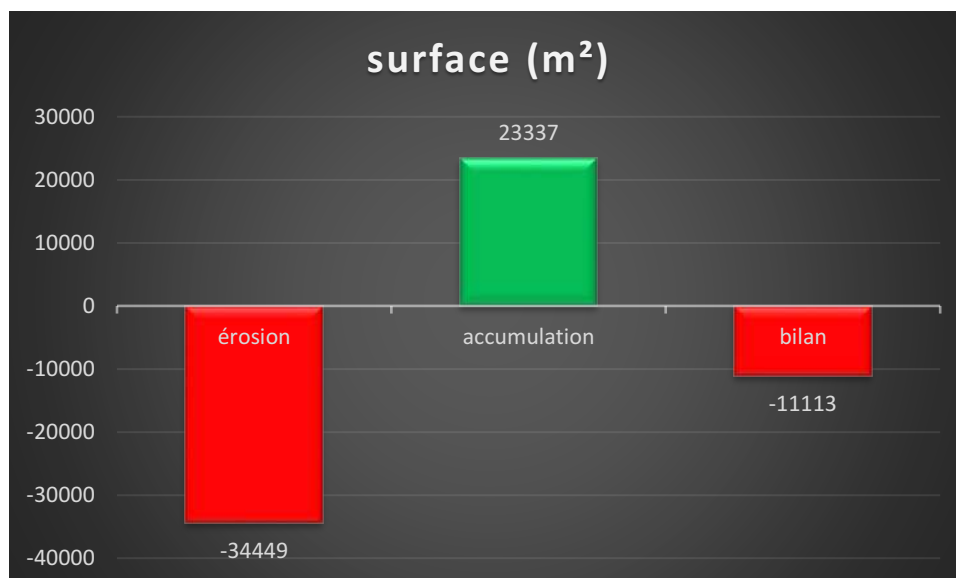


Figure 32 : Bilan sédimentaire de la plage de Sidi Salem entre 2002 et 2017. (Madi et Meciaf)

D'après le bilan sédimentaire on constate que la plage de Sidi Salem souffre d'un déficit sédimentaire et ce problème est causé par la construction des deux épis.

En général dans la plage de Sidi Salem c'est la zone centrale située à côté de la zone urbaine qui subit beaucoup d'érosion.

CONCLUSION

CONCLUSION

Au contact des terres et des mers, les plages représentent un milieu original, caractérisé par l'instabilité de son équilibre. Elles résultent du transfert de l'accumulation de sédiments. Une position d'abri est favorable (anses, fonds de baie) à leur genèse et, lorsque le littoral est subrectiligne, ce type de rivage a naturellement tendance à la régularisation en créant d'immenses plages (**Salomon J, 2008**).

Au cours de notre étude, qui est basée sur la modélisation numérique, on a pu déduire la dynamique sédimentaire et comprendre le fonctionnement des facteurs hydrodynamiques de la plage de Sidi Salem. L'étude hydrodynamique par le logiciel DHI-MIKE21 a montré que les effets des facteurs hydrodynamiques sur cette plage ne sont pas très importants car elle est abritée par le cap Rass Hamra, et le risque de l'érosion résulte de la construction des épis et non pas des facteurs hydrodynamiques (houle, courant,..).

L'évolution du trait de côte peut être extrêmement variable, le rivage peut soit reculer soit en progradation ou alors il reste stable, tout dépend des facteurs hydrodynamiques et de l'activité de l'homme. Cette étude montre que la modélisation numérique peut s'avérer extrêmement utile pour évaluer les variations du trait de côte dans la plage de Sidi Salem. Vu qu'on a étudié son évolution sur une période de 15ans, en utilisant les images satellitaires de Google Earth entre 2002 et 2017, on a constaté que cette plage souffre d'une forte érosion dans la partie Ouest à cause de la construction des ouvrages sur l'embouchure de l'oued Seybouse. Ce type de résultats peut constituer une aide significative pour une meilleure gestion de l'évolution du trait de côte en évoluant les surfaces sableuses perdues sur la haute plage et pour assurer une stabilité de la ligne du rivage.

Pour aller au-delà du cadre de la recherche, notre étude fait appel aux autorités locales pour s'intéresser à cette plage car elle constitue une zone importante et possède un potentiel tel qu'elle peut être exploitée comme un endroit touristique par excellence mais d'abord il faut remédier aux problèmes suivants :

- La construction de deux brise lames pour réduire les risques de l'érosion.
- Diminution de la longueur des épis.
- Assurer la sécurité car elle est quasiment nulle actuellement.
- La sensibilisation des citoyens de la zone sur l'importance de ce site.

Références

- **A C TOUBAL, (1983).** Etude hydrogéologique du massif dunaire de Bouteldja, Thèse de doctorat 3e cycle. Université des Sciences et de la Technologie de Bech Ezzouar, 500 p.
- **AMROUNI, Oula. (2008).** *Morphodynamique d'une plage sableuse microtidale à barres : côte Nord de Mahdia (Tunisie orientale). Thèse de doctorat. Sciences Géologiques. Tunis : l'Université Tunis-el Manar.*
- **Bayram, A, et al, 2001.** Cross-shore distribution of long shore sediment transport: comparison between predictive formulas and field measurements. *Coastal Engineering*, 44, 79-99.
- **BOURGOU, Mongi et MIOSSEC, Jean-Marie. (2010).** *Les littoraux Enjeux et dynamiques. France. PUF. 296p.*
- **Cowell, P, J , et thom.,1994.** Morphodynamics of coastal evolution. In: R.G.W., 33-86.
- **De Vriend et al 1993,** Approaches to long-term modeling of coastal morphology. *Coastal Engineering*, 23, 305-327.
- **DHI (2014) a.** MIKE 21 Spectral Wave Module Scientific Documentation. Denmark: Hørsholm, 385 p.
- **DHI (2014) c.** MIKE 21/3 Coupled Model FM. Scientific Documentation.
- **DHI (2014).** MIKE ZERO: Creating 2D Bathymetries. Bathymetry Editor & MeshGenerator. Denmark: Hørsholm, 114 p.
- **EHRHOLD, Axel. (1994).** Approche bidimensionnelle des transports sédimentaires à partir des variations granulométriques des sédiments superficiels : exemple de la partie occidentale de la baie du Mont Saint-Michel. IV^{ème} Journées Nationales Génie Civil- Génie Côtier. 1996. Acte de colloque, p277-284.
- **FAYE, Ibrahima. (2012).** Cartographie normalisée de l'évolution du trait de côte. Conférence de cartographie, Acte de colloque, pp 07-10.
- **Fenster et al. (1993).** A new method for predicting shoreline positions from historical data. *Journal of Coastal Research*, Vol. 9, pp. 147-171.
- **Hesp, P. A, 1999.** The beach backshore and beyond. In: A.D.Short (Ed), *Hand book of beach and shore face morphodynamics*, Chichester, Wiley, 145-175.
- **HIMMELSTOSS, E.A. (2009).** DSAS 4.0 Installation Instructions and User Guide. In: Thieler, E.R., Himmelstoss, E.A., Zichichi, J.L., and Ergul, Ayhan. 2009 Digital

Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0 — An ArcGIS extension for calculating shoreline changes: U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278. *updated for version 4.3. (p. 79).

- **Horn, D.P, 1993.** Sediment dynamics on a macrotidel beach: Isle of Man journal of Coastal Research, 9(1), 189-208.
- **Komar,P.D.,et Inman,D.L.,**Longshore sand transport on beaches.Journal of Geophysical Research,75,5914-5927.
- **Kraus, N.C, 2001.** On equilibrium properties in predictive modeling of coastal change. Proceedings of coastal dynamics'01, land, suede, 1-15.
- **Kroon, A.1994.** Sediment transport and morphodynamics of the beach and near shore zone, near Egmond, the Netherlands. These de doctorat, univ.utrecht (NL), 275p.
- **REFES, Wahid (2011).** Contribution à la connaissance de la biodiversité des fonds chalutables de la côte algérienne : les peuplements ichtyologiques des fonds chalutables du secteur oriental de la côte algérienne. Thèse. Science de la mer. Alger : ENSSMAL, p280.
- **SALOMON Jean-Noël, 2008 –** *Géomorphologie sous-marine et littorale*. Presses Universitaires de Bordeaux : Pessac, 387 p.
- **SELTZER P, (1946).** le climat de l'Algérie (Etude de l'institut de Météorologie et de physique de globe. p52.
- **STEPANIAN, A. (2002).** *Evolution morphodynamique d'une plage macrotidale à barres: Omaha Beach Normandie*. Thèse de doctorat. Science de la terre et de l'univers. France: Université de Caen / Basse Normandie, 217 p.
- **Than, V. (2015).**modélisation des d'érosion côtière : application à la partie Ouest du tombolo de Giens. Thèse de doctorat. Mathématique. Marseille : l'université d'Aix-Marseille.
- **VAN Rijin, L.C., 1998.** Principales of costal morphology. Aqua Publications, Amsterdam, p730.
- **Wright, L.D, et Short, A.D, 1984. 1985.** Morphodynamics of surf zones and beaches: synthesis. Marine geology.56,93-118
- **Wright, L.D, et Thom, G.B, 1977.**costal depositional landforms morpholodynamic approach. Progress in physical Geography, 1(3), 412-459.

Résumé

La plage de Sidi Salem est une plage sableuse appartenant au littoral Algérien Est dans la baie d'Annaba qui est une ville touristique ancienne connue pour ses paysages naturels et qui a connu ces dernières années de' importants aménagements sur son littoral. Ces aménagements ont été réalisés sur les deux oueds qui délimitent la plage (Oued Seybouse et oued Boukhmira).

Vu le manque d'informations et d'études sur cette partie de la baie d'Annaba, et dans le but de connaître l'effet de ces ouvrages sur la stabilité de la plage, une étude sédimentologique, hydrodynamique ainsi qu' une évolution du trait de côte ont été effectuées avec l'utilisation de SIG comme outil de suivi et le logiciel MIKE21 pour les différentes simulations. Cette étude contribue à la connaissance de la source du changement qui a touché cette portion côtière et de confirmer les résultats obtenus précédemment.

Pour pouvoir défendre cette plage contre ces changements et établir l'équilibre, des suggestions et des orientations ont été proposées.

Mots-clés :

Bathymétrie, dynamique sédimentaire, érosion, granulométrie, hydrodynamisme, MIKE21, morphologie, plage sableuse, sédimentologie, SIG.

Abstract

The beach of Sidi Salem is a sandy beach belonging to the Algerian coast. It belongs to the bay of Annaba which is an old tourist city known for its natural landscapes and which underwent many important coastal sites works these last years. These developments were carried out on the two Wadis that delimit the beach (Wadi Seybouse and Wadi Boukhmira). Considering the lack of information and studies on this part of bay of Annaba, and with an aim of knowing the effect of these works on the stability of the beach, a sedimentological, hydrodynamic, and coastline evolution studies were carried out with using GIS tools and numerical software like MIKE21 for various simulations. This study contributes to the knowledge of the source of the change that has affected this coastal portion and to confirm the results obtained previously.

To be able to defend this beach against these changes and to establish balance, some suggestions and the orientations were proposed.

Keywords:

Bathymetry, sediment dynamics, erosion, granulometry, hydrodynamism, MIKE21, morphology, sandy beach, sedimentology, GIS.

ملخص

شاطئ سيدي سالم هو شاطئ رملي ينتمي إلى الساحل الجزائري. وهو ينتمي إلى خليج عنابة التي هي مدينة سياحية قديمة معروفة لمناظرها الطبيعية والتي خضعت للعديد من الأشغال الهامة في السنوات الأخيرة. وقد أجريت هذه التطورات على الواديين اللذين يحددان الشاطئ (وادي سيبوس ووادي بوخميرة). وبالنظر إلى نقص المعلومات والدراسات حول هذا الجزء من خليج عنابة، ويهدف معرفة تأثير هذه الأعمال على استقرار الشاطئ، أجريت دراسات تطور الرسوبيات والهيدروديناميكية والساحل باستخدام أدوات نظم المعلومات الجغرافية و البرامج العددية مثل MIKE 21 لمختلف المحاكاة. وتساهم هذه الدراسة في معرفة مصدر التغيير الذي أثر على هذا الجزء الساحلي وتأكيد النتائج التي تم الحصول عليها سابقا. ليتمكن على الدفاع عن هذا الشاطئ ضد هذه التغييرات وتحقيق التوازن، واقترحت بعض الاقتراحات والتوجهات.

المصطلحات:

قياس الأعماق، ديناميات الرواسب، تآكل، حبيبات، الهيدروديناميكا، مايك 21، التشكل، الشاطئ الرملي، الرواسب، نظم المعلومات الجغرافية.